

بررسی و تحلیل قابلیت جذب انرژی در مقاطع جدارنازک چندسلولی دایره و مربعی جهت استفاده در سپر خودرو

حمید دهقان طرزجانی
مربی دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پرند

مجتبی شهرامیار
استادیار دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پرند
mshahramyar@yahoo.com

غلامعلی علایی*
کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پرند
alae52056@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۲۴

چکیده

براساس نظرسنجی انجام شده در دوازده کشور اروپایی، ایمنی مهمترین عامل اثرگذار در انتخاب و خرید خودرو است. استفاده از جاذب‌های انرژی راه‌حلی مناسب برای به حداقل رساندن ضربه وارده و ایجاد ایمنی است. خودروسازان برای رسیدن به این هدف، اقدام به کاهش وزن خودرو با جایگزینی آلومینیوم و مواد کامپوزیتی به جای فولاد نموده‌اند. از طرفی، لوله‌های جدارنازک به دلیل سبکی، ظرفیت بالای جذب انرژی، طول لهیدگی زیاد و نسبت بالای جذب انرژی به وزن به‌عنوان یکی از کارآمدترین سیستم‌های جذب انرژی مطرح است. طی سه دهه گذشته، آزمایش‌های متعددی به‌منظور ایجاد درکی بهتر از سازوکار له‌شدگی سازه‌های جدارنازک در قالب کمانش، نیروی متوسط له‌شدگی، نوع تاخوردگی و مقدار انرژی جذب شده توسط چین‌خوردگی‌ها برای برخی از مقاطع صورت گرفته است. در این مقاله برای مقاطع دایره و مربع چندسلولی از جنس آلومینیوم در هشت مقطع گوناگون شبیه‌سازی و تحلیل عددی انجام شده است. از نتایج این مقاله می‌توان به مقدار حداکثری جذب انرژی توسط مقطع دایره چهارسلولی اشاره کرد. به‌دست آوردن ابعاد و ضخامت بهینه بررسی مقاطع چندسلولی هندسه‌های مخروطی و هرمی به‌همراه فوم‌های پلیمری و ترکیب چندسلولی مربعی و استوانه‌ای در مرکز پیشنهاد می‌شود.

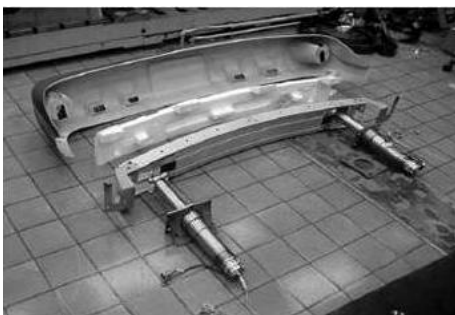
واژگان کلیدی: جاذب‌های انرژی، سپر خودرو، مقاطع دایره و مربع، نیروی متوسط لهیدگی

۱. مقدمه

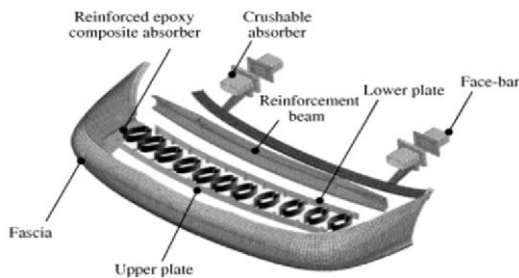
حدود ۴۵ درصد از تصادفات در ناحیه جلو و عقب خودرو اتفاق می‌افتند؛ این مقدار بیشترین سهم در آمار تصادفات را به‌خود اختصاص داده است. بنابراین برای کاهش خسارت ناشی از تصادفات، تحقیق و بررسی در زمینه ایمن‌سازی



هیبریدی و جاذب‌های بیضوی اشاره کرد [۳]. سپر نئوپولن، که نمونه‌ای از سپرهای نوین است، به‌علت وزن کم، جذب انرژی زیاد و قابلیت شکل‌پذیری خوب نئوپولن، حتی پس از بارهای ضربه‌ای نیز مورد استقبال خودروسازان قرار گرفته است. سپرهای جاذب انرژی بیضوی از جنس اپوکسی با الیاف کربن جایگزین مناسبی برای جاذب‌های ای. ای. پی. می‌باشند [۴]. مطابق شکل ۳، این نوع سپرها از ۱۱ جاذب بیضوی تشکیل شده و هر جاذب توان جذب ۷۷ ژول انرژی را دارد.



شکل ۲. دمپرهای روغنی مورد استفاده در سپر خودرو به‌عنوان جاذب انرژی



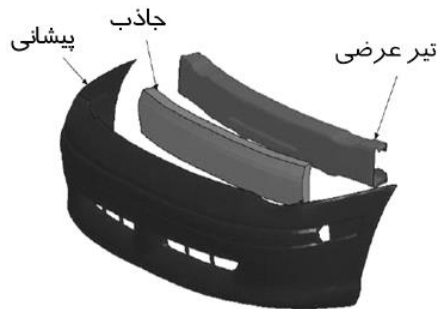
شکل ۳. سپر جدید با یازده جاذب انرژی بیضوی کامپوزیتی

در برخی از سپرها از ادوات جاذب انرژی استفاده می‌شود. برای این منظور، در پشت سپر از ادوات مکانیکی جاذب انرژی همچون انواع فنر، دمپرهای روغنی و یا لاستیک‌ها و پنل‌های مختلف استفاده شده است.

۲. اصول کلی جاذب‌های انرژی در سپر

به‌هنگام وقوع تصادف، انرژی جنبشی اتومبیل به‌طریقی باید دفع شود تا به سایر قسمت‌های مهم آسیب نرسد.

ساختار کلی خودرو، خصوصاً سازه سپر از اهمیت بسیاری برخوردار است. با ایجاد پارهای تغییرات در قسمت جاذب انرژی سپر خودرو می‌توان توانایی جذب انرژی ضربه تصادف را افزایش و در نتیجه شتاب وارده به سرنشینان را کاهش داد. سپر خودرو و عملکرد آن در تصادفات با سرعت کم تأثیر مستقیمی بر حفظ کارایی بخش‌هایی از خودرو دارد که به ایمنی سرنشین مربوط می‌شود [۱].



شکل ۱. نمای از سپر جلو خودرو

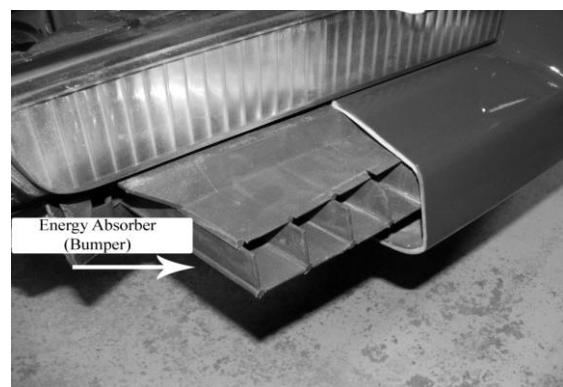
مطابق شکل ۱ سپر از پیشانی، تیر عرضی و جاذب تشکیل شده است. اصولاً پیشانی از جنس پروپیلن، پلی‌اورتان و پلی‌کربن است که علاوه بر جنبه زیبایی، کاربرد ائرودینامیکی نیز دارد. تیر عرضی اصلی‌ترین المان سازه سپر است که در پشت پوسته قرار دارد؛ تیر عرضی سازه‌های کلیدی است که به جذب انرژی جنبشی ناشی از ضربه‌های بزرگ کمک کرده، مقاومت خمشی را در ضربه‌های کوچک تأمین می‌کند. جذب‌کننده انرژی بین پوسته و تیر سپر قرار دارد و به‌عنوان عامل اصلی جذب انرژی استفاده می‌شود.

در ساخت انواع سپر، رعایت استانداردها الزامی است. یکی از استانداردهای اجباری در ارتباط با طراحی سپر ارتفاع سپرهای جلو خودرو است. ارتفاع استاندارد سپر ۴۴۵ میلی‌متر از سطح زمین می‌باشد. اگر ارتفاع سپر کمتر از این باشد، استخوان ساق پا بیشترین حادثه را می‌بیند و اگر ارتفاع بیشتر باشد، به زانو و ران بخش اعظم ضربه وارد می‌شود.

از انواع سپرها می‌توان به سپرهای نوین، که از جنس پلی‌پروپیلن منبسط‌شده ساخته شده، سپرهای کامپوزیت

بخش مهم در خودرو از نظر حفظ ایمنی، فضای داخل یا کابین سرنشینان است. برای کاهش صدمات ناشی از برخوردها باید انرژی تصادف به طریقی کنترل شود. یکی از روش‌های کنترل، استفاده از جاذب انرژی است. در واقع جاذب‌های انرژی قطعاتی هستند که کل انرژی جنبشی یا بخشی از آن را به شکل دیگری تبدیل می‌کنند. این جاذب‌ها باید به اندازه کافی محکم و در عین حال انعطاف‌پذیر باشند تا از طریق تغییر شکل، که عموماً تاخوردگی است، انرژی جنبشی را جذب و از صدمه دیدن مسافران و بخش‌های حساس جلوگیری کنند. از طرف دیگر، جاذب‌ها باید از لحاظ وزن نیز بهینه باشند تا با کمترین افزایش وزن برای سازه، بیشترین قابلیت جذب انرژی را داشته باشند.

از آلیاژهای آلومینیوم به عنوان جاذب انرژی در شکل‌های گوناگون استفاده می‌شود که مهم‌ترین دلیل آن نسبت بزرگ مقاومت به وزن آنهاست. به دلیل چگالی پایین آلیاژ آلومینیوم نسبت به فولاد، می‌توان با جایگزینی قطعات آلومینیومی با قطعات فولادی، وزن سازه را تا حدود زیادی کاهش داد. به همین دلیل، در خودروهای امروزی از آلیاژهای آلومینیوم به‌طور گسترده‌ای در ساخت سپر جلو و عقب استفاده می‌شود.



شکل ۴. جاذب انرژی در سپر عقب خودرو [۵]

در دهه اخیر، استفاده از مقاطع جدارنازک به شکل چندسلولی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته و آزمایش‌های

متعددی همراه با شبیه‌سازی‌های عددی و بررسی‌های نظری به منظور درک بهتری از سازوکار له‌شدگی این مقاطع و ویژگی‌های آنها در قالب کمانش، نیروی متوسط له‌شدگی، نوع تاخوردگی و مقدار انرژی جذب‌شده توسط چین‌خوردگی‌های خمیری تحت بارهای محوری شبه‌استاتیکی و دینامیکی انجام شده است. با توجه به موارد ذکرشده، بهبود بازدهی سوخت خودرو و کاهش وزن آن، در حالی که ایمنی خودرو نیز برآورده شود، زمانی قابل دستیابی است که از مواد سبک در ساخت سازه خودرو استفاده شود. به همین منظور، سیستم‌های جاذب انرژی گوناگونی ارائه شده است که از آن میان، لوله‌های جدارنازک به دلیل سبکی، ظرفیت بالای جذب انرژی، طول لهیدگی زیاد و نسبت بالای جذب انرژی به وزن، به عنوان یکی از کارآمدترین سیستم‌های جذب انرژی کاربرد روزافزون یافته است. یکی از جنبه‌های اصلی شبیه‌سازی مواد سبک به کار رفته در سازه خودرو، تعیین قابلیت جذب انرژی این مواد در اثر نیروی ناشی از برخورد می‌باشد.

در ارتباط با جاذب انرژی، با دو نوع فرایند پایه مواجهیم که در تیرهای جدارنازک به کار رفته در خودرو نیز قابل مشاهده می‌باشد. این فرایندها عبارت‌اند از بارگذاری خمشی و محوری که لهیدگی محوری تنها در مواردی که ضربه محوری به سازه اعمال گردد، به وجود می‌آید. تبدیل انرژی توسط سازه‌ها و مواد باید به صورت برگشت‌ناپذیر باشد، بدین معنا که ساختار سازه باید به گونه‌ای باشد که حداکثر تبدیل انرژی جنبشی به انرژی غیرالاستیک (غیر ارتجاعی) با ایجاد تغییر شکل پلاستیک یا سایر فرایندهای اتلاف انرژی انجام پذیرد.

در واقع اگر انرژی جنبشی اولیه به انرژی کرنشی الاستیک سازه تبدیل شود، آنگاه پس از حصول تغییر شکل ماکزیمم الاستیک، این انرژی کرنشی الاستیک کاملاً آزاد خواهد شد و موجب وارد آمدن آسیب‌های ثانویه به سازه یا سرنشین خواهد شد. به عنوان مثال فرض کنید خودرویی با سرعت زیاد به یک فنر الاستیک بزرگ برخورد می‌کند. در



مرحله اول، فنر فشرده شده و شتاب خودرو کاهش می‌یابد و همه انرژی جنبشی خودرو به انرژی الاستیک در فنر تبدیل می‌شود. پس از حصول حداکثر جابه‌جایی الاستیک در فنر مرحله دوم شروع می‌شود، به گونه‌ای که فنر به تدریج تغییر شکل خود را بازمی‌یابد و خودرو شتاب می‌گیرد و همه انرژی کرنشی الاستیک به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود و در نتیجه سرنشین خودرو کاهش شتاب شدیدی را در اثر افزایش شتاب خودرو تحمل می‌کند.

جاذب‌های انرژی باید به اندازه کافی سبک باشند، تا ظرفیت جذب انرژی بالایی داشته باشند (ظرفیت جذب انرژی بر واحد وزن)؛ زیرا هرگونه افزایش وزن موجب افزایش مصرف سوخت و همچنین افزایش آلاینده‌گی محیط زیست می‌شود. همان‌طور که بیان شد طراحی ابزارهای جذب انرژی در مقوله ایمنی غیرفعال قرار می‌گیرد. یکی از سئوالات مهم هنگام طراحی بخش جلویی شاسی و سپر و سائل نقلیه، توانایی آنها در جذب انرژی است؛ به گونه‌ای که در تصادفات، کاهش سرعت خودرو با حفظ یکپارچگی سازه اتاق و اعمال حداقل شتاب، مجموعه خودرو صورت گیرد. به بیان دیگر، در تصادفات شدید، انرژی جنبشی خودرو تنها با تغییر شکل پلاستیک محوری و خمشی قطعات سازه خودرو میرا می‌شود. بدین صورت طراحی اعضای جلویی به گونه‌ای که در محدوده خاصی از نیروی محوری، تغییر شکل قابل ملاحظه و مداوم داشته باشند، محکم‌ترین صدمه به سرنشینان را تضمین می‌نماید. امروزه

مقاطع جدارنازک وظیفه اصلی جذب انرژی در بدنه خودرو را برعهده دارند. طراحی صحیح این مقاطع با توجه به اینکه شاسی و محورهای کناری آن توانایی جذب ۸۰ درصد انرژی جنبشی اولیه را در محدوده قابل قبولی از شتاب و نیروی اعمالی به سازه خودرو دارند، حیاتی به نظر می‌رسد. چنانچه این مقاطع درست طراحی نشده باشند، تحت بار دینامیکی ناشی از برخورد کمانش پیدا می‌کند.

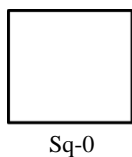
۳. شبیه‌سازی

در این مقاله هشت نمونه آلومینیومی، با استفاده از نرم‌افزار LS-DYNA بررسی و تحلیل شده است و نمونه‌های ساده را با کد Sq-0^۲ و Cr-0^۳ که بیانگر مربع و دایره می‌باشند، نامگذاری کرده، همچنین نمونه‌های چندسلولی با کدهای Sq-2، Sq-3، Sq-4، Cr-2، Cr-3 و Cr-4 معرفی شده‌اند. اعداد بعد از Sq و Cr نیز بیانگر تعداد سلول‌ها می‌باشند.

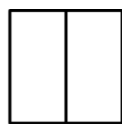
۳-۱- شبیه‌سازی فک‌ها و مدل‌های جاذب انرژی

۳-۱-۱- مدل‌سازی فک بالا و پایین

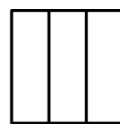
فک بالا و پایین با استفاده از المان‌های توپر Solid و به همراه قید مدل شده است. در شبیه‌سازی‌های انجام شده در حالت بارگذاری شبه‌استاتیکی هر دو فک به همراه قید برای جلوگیری از لغزش نمونه‌ها و در بارگذاری ضربه‌ای تنها فک پایین به همراه قید مدل شده است. شکل ۶ فک شبیه‌سازی شده را نمایش می‌دهد.



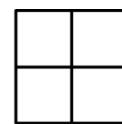
Sq-0



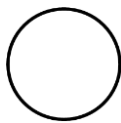
Sq-2



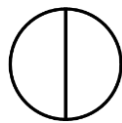
Sq-3



Sq-4



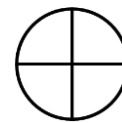
Cr-0



Cr-2



Cr-3

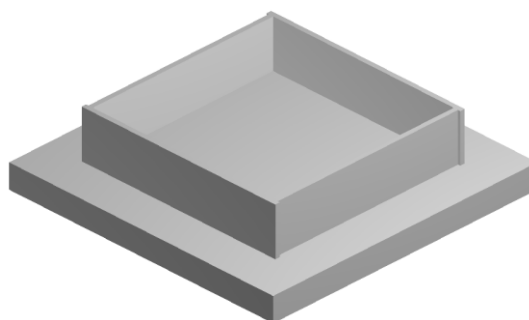


Cr-4

شکل ۵. مقطع نمونه‌های مدل شده

۲-۱-۳. مدل‌های جاذب انرژی و همگرایی

برای مدل کردن نمونه‌های جاذب انرژی به دلیل تنوع زیاد در هندسه آنها و به منظور افزایش سرعت مدل سازی، از نرم افزار سالیدورکس^۴ جهت ایجاد نمونه‌های جاذب انرژی استفاده شده است. به عبارت دیگر، مدل‌ها در نرم افزار مذکور تولید و سپس با پسوند IGS وارد محیط شبیه سازی FEMB شدند تا المان بندی شوند. نوع المان بندی برای قطعات در جدول ۱ ذکر شده است.



شکل ۶. فک شبیه سازی شده در نرم افزار LS-DYNA

برای المان بندی فک‌ها از اندازه ۱۰ میلی متر استفاده شد و دلیل آن عدم تغییر شکل به سبب صلب بودن فک‌ها بود. بر همین اساس به منظور کاهش زمان تحلیل از اندازه بزرگتری برای المان بندی فک‌های بالا و پایین استفاده شد. به منظور انتخاب اندازه المان مناسب برای نمونه‌های جاذب انرژی، از هفت اندازه مختلف استفاده شد تا اندازه بهینه استخراج شود. برای مدل سازی جاذب‌های انرژی طبق شکل ۷ از المان‌های مربعی استفاده شده است. در نمودار ۱ پس از مدل سازی و تحلیل با هفت اندازه متفاوت برای المان‌های جاذب Sq-0 انرژی جذب شده بر حسب تعداد و اندازه المان‌های مورد استفاده نشان داده شد. همان طور که ملاحظه می‌شود، اندازه المان ۱، ۲ و ۳ میلی متر در محدوده همگرایی قرار دارد. بر همین اساس می‌توان از اندازه‌های ۱، ۲ یا ۳ میلی متر استفاده نمود. در این شکل تعداد المان با اندازه ۱۰ میلی متر ۴۸۰ عدد است و به ترتیب برای المان با اندازه ۱ میلی متر ۲۴۱۳۲ المان می‌باشد. با توجه به نمودار ۱ که نشان می‌دهد اندازه‌های المان ۱، ۲ و ۳ در ناحیه

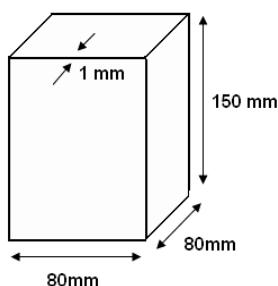
همگرایی قرار داشته، همچنین با توجه به نمودار ۲ که نشانگر مدت زمان تحلیل المان‌های مختلف است و بیانگر زیاد بودن مدت زمان تحلیل المان با اندازه یک می‌باشد و تأثیر چندانی در نتیجه تحلیل ندارد، به منظور صرفه جویی در زمان تحلیل و زوج بودن مقدار عددی اندازه ضلع نمونه‌های چندسلولی - که ۸۰ میلی متر می‌باشد - المان ۲ میلی متر برای المان بندی نمونه‌های جاذب انرژی انتخاب شد.

۲-۳. جنس و مشخصات هندسی

خصوصیات مکانیکی مواد تشکیل دهنده جاذب‌های انرژی و فک‌ها، طبق جدول‌های ۲ و ۳ می‌باشد.

۳-۳. ابعاد هندسی نمونه‌ها

ابعاد هندسی نمونه‌ها به طول و عرض ۸۰ و ارتفاع ۱۵۰ میلی متر به صورت یکسان انتخاب شدند. برای اینکه بتوانیم مقایسه‌ای منطقی مبنی بر میزان جذب انرژی بین نمونه‌ها ایجاد کنیم، باید وزن تمامی مقاطع یکسان در نظر گرفته شود. برای این منظور با تغییر ضخامت نمونه‌ها وزن یکسان در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر، هدف این است تا با یک میزان مشخص وزنی از یک ماده با انتخاب مقاطع مختلف به میزان جذب انرژی حداکثری دست یابیم.



شکل ۸. ابعاد هندسی نمونه مربعی بدون سلول (Sq-0)

۴-۳. تعیین خصوصیات رفتاری

در این بخش مدل رفتاری ماده تعریف شده است. به عبارت دیگر، خصوصیتی همچون توپُر بودن و یا رفتار ورق گونه مشخص شده است. خصوصیات استفاده شده برای اجزای مختلف نیز در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات المان‌ها

بخش مورد بررسی	فک بالا	فک پایین	نمونه جاذب انرژی مورد نظر
روش المان‌بندی	12-Line Mesh	12-Line Mesh	Topology Mesh
اندازه المان‌های مورد استفاده (میلی‌متر)	10	10	2

جدول ۲. مشخصات مکانیکی آلومینیوم

مدول یانگ	۶۰ گیگاپاسکال
تنش تسلیم	۹۰ مگاپاسکال
تنش نهایی	۱۱۵ مگاپاسکال
دانسیته	۲/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب
ضریب پواسون	۰/۳

جدول ۳. مشخصات مکانیکی فولاد

مدول یانگ	۲۰۰ مگاپاسکال
دانسیته	۷/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب
ضریب پواسون	۰/۳

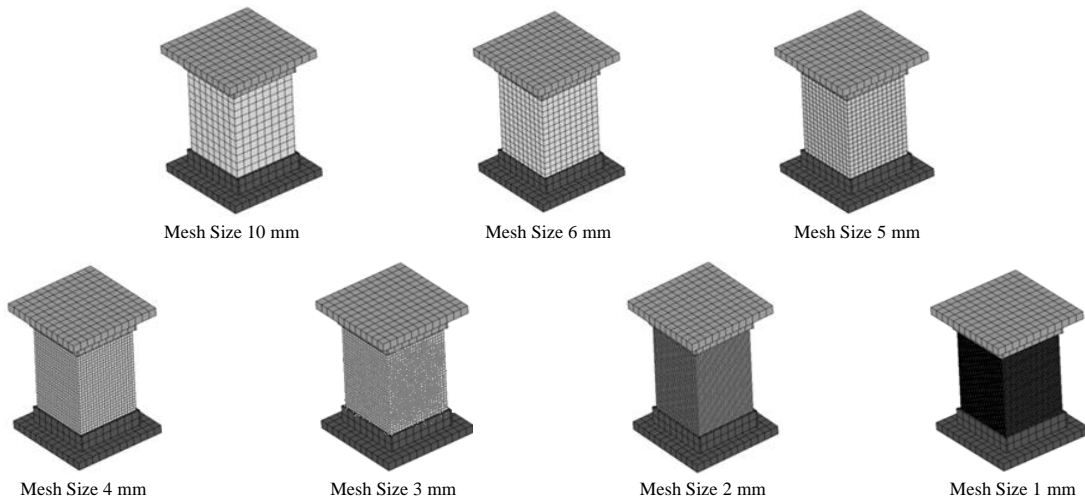
جدول ۴. ابعاد هندسی نمونه‌ها

Name	t (mm)	h (mm)	a (mm)	b (mm)
Sq-0	1	150	80	80
Sq-2	0.8	150	80	80
Sq-3	0.66	150	80	80
Sq-4	0.5	150	80	80
Cr-0	1.25	150	80	80
Cr-2	0.95	150	80	80
Cr-3	0.85	150	80	80
Cr-4	0.75	150	80	80

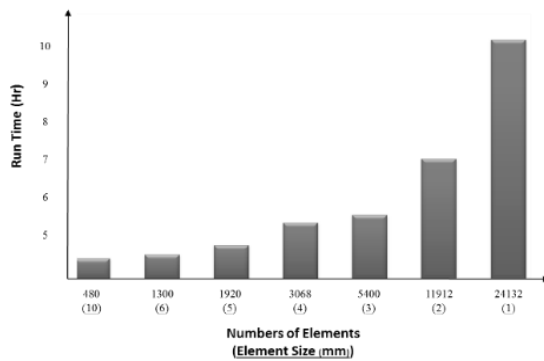
جدول ۵. خصوصیات رفتاری قطعات

قطعه	خصوصیت رفتاری	فرمول	تعداد نقاط انتگرال‌گیری	ضخامت (میلی‌متر)
فک بالا و پایین	Solid	Constant Stress Solid Element	-	۱۰
نمونه جاذب انرژی	Shell	Belytschko-Tsay	۳	۱

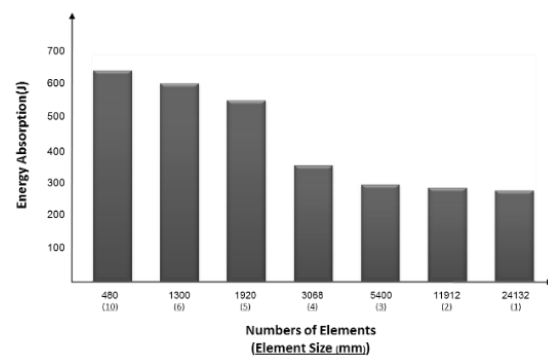




شکل ۷. اندازه مختلف المان بندی برای نمونه تک سلولی مربعی Sq-0



نمودار ۲. زمان تحلیل (ساعت) - تعداد المانها (اندازه المان)



نمودار ۱. نمودار انرژی جذب شده - تعداد المانها برای نمونه Sq-0

تغییر شکل جاذب انرژی در حالت خمیری رخ می‌دهد، مدل ماده ذکر شده در جدول ۶ انتخاب شده است.

جدول ۶. مشخصات مدل ماده استفاده شده

مدل ماده	قطعه
Rigid	فک بالا و پایین
Piecewise Linear Plasticity	نمونه جاذب انرژی

۴. نتایج شبیه‌سازی و نمودارها

در این بخش، نتایج تحلیل‌ها، که شامل نمودارها و شکل لهیدگی نمونه‌هاست، بررسی می‌شود. نمونه‌ها توسط یک فک ثابت در انتها و یک فک متحرک در بالا دربر گرفته شده است. فکها با داشتن لبه مانع از لغزش نمونه‌ها در

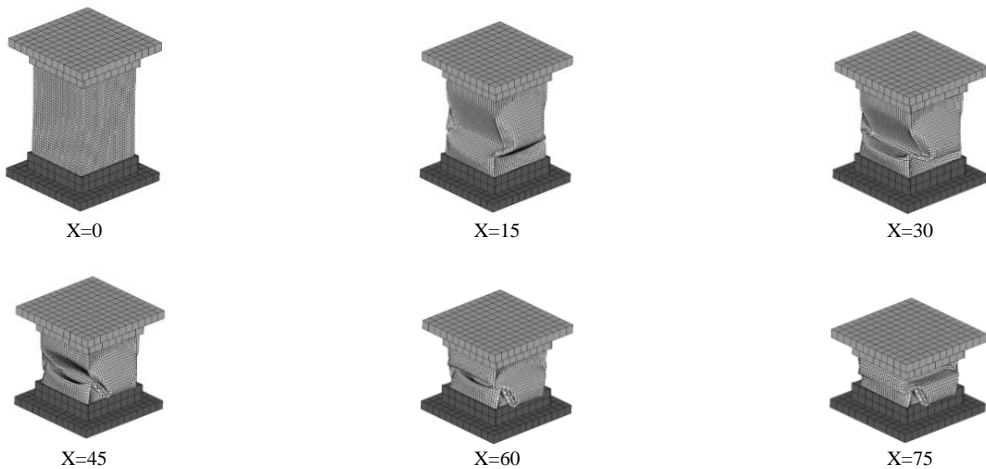
فرمول استفاده شده برای حالت ورق در نمونه‌های جاذب انرژی مربعی براساس دقت خوب این فرمول برای پیش‌بینی شکل نهایی چین‌خوردگی‌ها بوده است. علاوه بر این، در مقاله‌های متعددی که شبیه‌سازی عددی توسط LS-DYNA انجام شده، از فرمول مذکور استفاده شده است [۶، ۸، ۹ و ۱۰].

۳-۵. مدل ماده

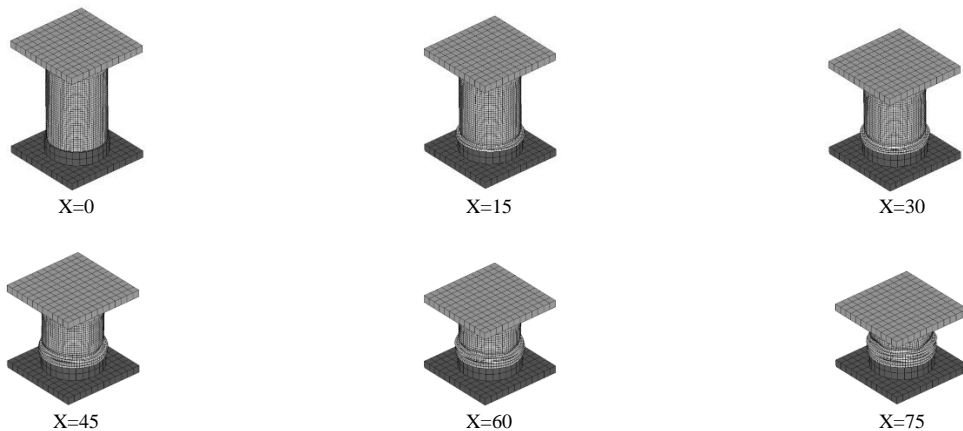
در این قسمت، جنس فکها و جاذب انرژی در نرم‌افزار تعریف شده است. در جدول ۶ مدل ماده مورد استفاده برای فکها و نمونه جاذب انرژی ارائه شده است. با توجه به مآخذ [۶] تا [۱۰] که از مدل ماده مذکور برای نمونه‌های ورق جاذب انرژی استفاده شده، همچنین با توجه به اینکه

حین بارگذاری می‌شود. در این بخش، هدف مقایسه نمونه‌ها با توجه به تفاوت‌های هندسی آنها می‌باشد. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، وزن نمونه‌ها یکسان است. اندازه المان فک‌ها ۱۰ میلی‌متر و اندازه المان جاذب‌های انرژی ۲ میلی‌متر انتخاب شده‌اند. در این بخش بررسی و تحلیل چگونگی بارگذاری و چین‌خوردگی مقاطع پرداخته شده و تأثیر چندسلولی در نحوه چین‌خوردگی و لهیدگی در تک‌تک نمونه‌ها بررسی شده، اما به‌علت شباهت نمونه‌ها به همدیگر فقط نمونه‌های Sq-0 و Cr-0 در شکل‌های ۹ و ۱۰ نمایش داده شده است. در شکل ۹ مقطع مربعی بدون سلول (sq-0) نمایش داده شده است. ضخامت مقطع ۱

میلی‌متر در نظر گرفته شده است. مورد $x=0$ حالت بدون بارگذاری و شکل‌های دیگر بعد از بارگذاری را نشان می‌دهند. در واقع بارگذاری به تدریج طی پنج مرحله به سازه اعمال شده است تا رفتار غیرخطی به درستی شبیه‌سازی شود. در این نمونه، ابتدا یک نمونه چین‌خوردگی نامتقارن ایجاد شده، به طوری که دو سطح دیگر به سمت بیرون چین می‌خورد. با ادامه بارگذاری چین‌خوردگی‌های دیگری نیز رخ می‌دهد. تا جایی که در $x=75$ ، بارگذاری به نهایت خود می‌رسد و نمونه توانایی جذب انرژی بیشتر از طریق چین‌خوردگی را نخواهد داشت.



شکل ۹. مقطع مربعی بدون سلول (Sq-0)

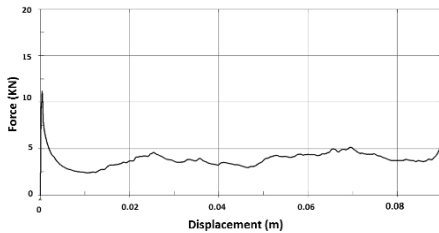


شکل ۱۰. مقطع دایره‌های بدون سلول (Cr-0)

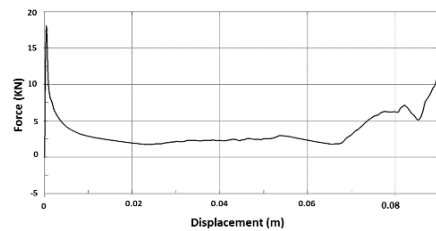
۱-۴. نمودار نیرو و جابه‌جایی نمونه‌ها

در نمودارهای ۳ تا ۱۰ نمودار نیرو و جابه‌جایی هشت مقطع نمودارها، در تمامی نمودارها، در ابتدای بارگذاری یک مقدار بیشینه نیرو وجود دارد و سپس یک روند ثابت و ارتعاشی دیده می‌شود و در نهایت یک مقدار بیشینه نهایی وجود دارد. مقدار بیشینه اولیه مربوط به گذار

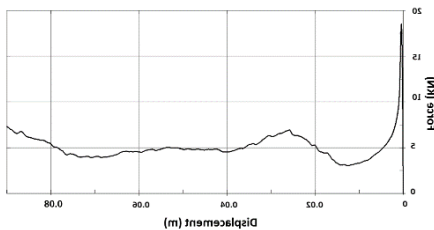
مقاطع از حالت الاستیک به پلاستیک می‌باشد و ارتعاشات پس از آن بیانگر چین‌خوردگی‌ها و اثر وجود سلول می‌باشد و پس از له‌شدگی کامل جاذب دیگر توان جذب انرژی از طریق تاخوردگی را ندارد و یک بیشینه با شیب تند در انتهای بارگذاری ختم می‌شود.



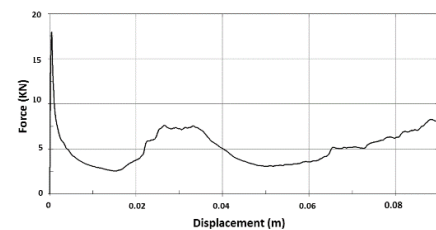
نمودار ۴: نمودار نیرو و جابه‌جایی برای مقطع مربعی دو سلولی



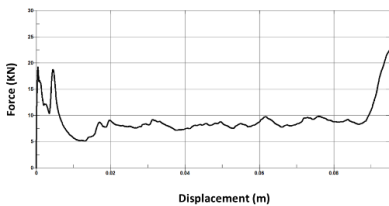
نمودار ۳: نمودار نیرو و جابه‌جایی برای مقطع مربعی بدون سلول



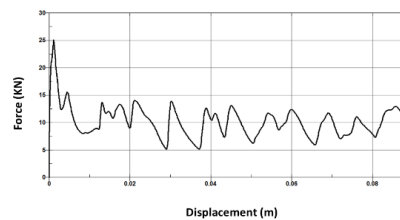
نمودار ۶: نمودار نیرو و جابه‌جایی برای مقطع مربعی چهارسلولی



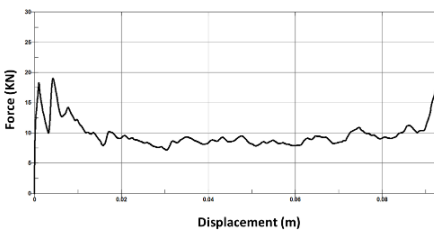
نمودار ۵: نمودار نیرو و جابه‌جایی برای مقطع مربعی سه‌سلولی



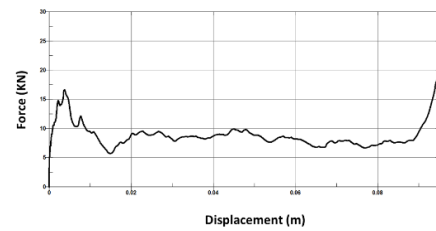
نمودار ۸: نمودار نیرو و جابه‌جایی برای مقطع دایره‌ای دو سلولی



نمودار ۷: نمودار نیرو و جابه‌جایی برای مقطع دایره‌های بدون سلول

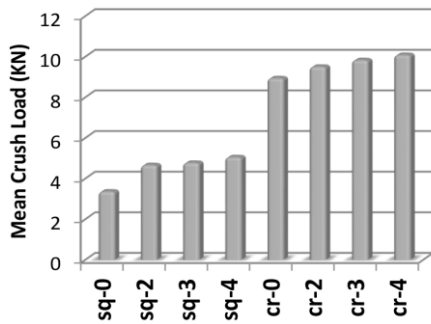


نمودار ۱۰: نمودار نیرو و جابه‌جایی برای مقطع دایره‌ای چهار سلولی



نمودار ۹: نمودار نیرو و جابه‌جایی برای مقطع دایره‌ای سه‌سلولی

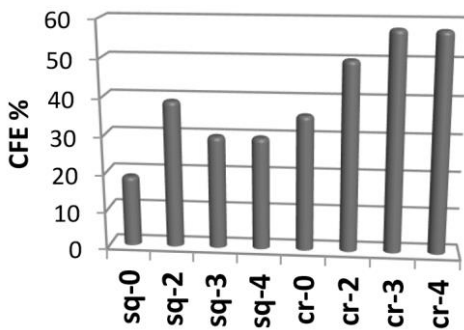




نمودار ۱۲. نمودار مقدار نیروی متوسط لهیدگی در کلیه مقاطع

۴-۳. درصد بازدهی نیروی لهشدهگی

کاهش مقدار بیشینه نیروی اولیه سبب یکنواختی روند تغییر نیروی لهشدهگی می‌شود و نیازی به ایجاد یک نیروی زیاد برای شروع لهشدهگی نیست. نسبت نیروی متوسط لهشدهگی به مقدار بیشینه نیروی اولیه توسط پارامتری به نام CFE یا درصد بازدهی نیروی لهشدهگی معرفی شده است که نزدیکی این مقدار به ۱۰۰ مطلوب می‌باشد.



نمودار ۱۳. درصد بازدهی نیروی لهشدهگی

۵. نتیجه‌گیری

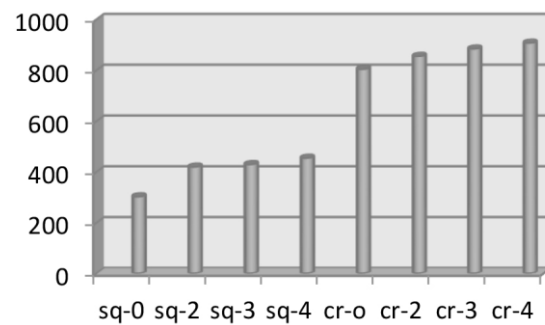
در این مقاله نمونه‌های جاذب انرژی از جنس آلومینیوم در هشت مقطع با وزن‌های یکسان مورد بررسی و تحلیل عددی قرار گرفت و نتایج زیر استخراج شد.

جذب حداکثری انرژی در مقاطع مورد بررسی طبق نمودار ۱۱ مربوط به نمونه Cr-4 است که بیانگر یک نمونه استوانه‌ای چهارسولوی است با مقدار ۹۰۸ نیوتن متر دارای بیشترین جذب انرژی و نمونه Sq-0 مربع بدون سلول، با مقدار ۳۰۳ نیوتن متر دارای کمترین جذب انرژی می‌باشد و

سطح زیر نمودار نیرو جابه‌جایی نشانگر مقدار جذب انرژی است که در Sq-0 حداقل و در Cr-4 حداکثر می‌باشد و مقدار بیشینه نیروی اولیه در Sq-2 حداقل و در Cr-0 حداکثر می‌باشد.

۴-۲. مقایسه میزان جذب انرژی مقاطع و مقدار نیروی متوسط لهیدگی در تمامی مقاطع

تمامی نمونه‌ها دارای یک بیشینه نیرو در ابتدای بارگذاری بوده، بیشترین نیروی بیشینه مربوط به مقطع Cr-0 می‌باشد. هر چقدر نیروی متوسط لهشدهگی افزایش یافته و مقدار نیروی اولیه کاهش یابد، جذب نیروی حداکثری و به مطلوب نزدیک‌تر است. نمودار ۱۱ مقدار جذب انرژی در کلیه مقاطع را نشان می‌دهد.



نمودار ۱۱. نمودار مقدار جذب انرژی در کلیه مقاطع

نمودار ۱۲ مقدار نیروی متوسط لهیدگی را در مقاطع مختلف نمایش می‌دهد. با توجه به این نمودار نوع چین‌خوردگی‌ها سبب افزایش نیروی متوسط لهیدگی در نمونه‌های چندسولوی شده است. در مجموع نمونه Cr-4 با توجه به دارا بودن بیشترین نیروی متوسط لهیدگی و با داشتن بیشترین مقدار جذب انرژی، به‌عنوان بهترین نمونه پیشنهاد می‌شود. مقدار نیروی متوسط لهشدهگی از طریق رابطه ۱ محاسبه شده است. در این رابطه p و δ به ترتیب بیانگر نیرو و جابه‌جایی می‌باشد:

$$P_m = \frac{\int_0^{\delta} P d\delta}{\delta} \quad (1)$$

مستقیم با مقدار سطح زیر نمودار نیرو جابه‌جایی دارد و در نمونه Cr-4 دارای بیشترین نیروی متوسط لهیدگی می‌باشد. درصد بازدهی لهشده‌گی، که بیانگر نسبت نیروی متوسط لهشده‌گی به مقدار بیشینه نیروی اولیه می‌باشد، در نمونه Cr-3 دارای بیشترین می‌باشد که علت آن کمبودن نیروی بیشینه اولیه نسبت به Cr-4 است و همچنین نمونه Sq-2 در بین مقاطع مربعی دارای بیشترین درصد بازدهی لهشده‌گی است که دلیل آن داشتن کمترین نیروی بیشینه اولیه نسبت به دیگر مقاطع می‌باشد. یکی از مزیت‌های چندسولوی شدن نمونه‌ها، علاوه بر افزایش قابلیت جذب انرژی، شکل لهیدگی را نیز متقارن می‌کند.

نمونه Cr-4 قابلیت جذب انرژی سه‌برابری نسبت به Sq-0 را دارد. این مقطع به‌عنوان بهترین مقطع از نظر جذب انرژی انتخاب شد.

از دیگر نتایج مهم این مقاله می‌توان به تأثیر چندسولوی در جذب انرژی در مقاطع اشاره کرد و طبق نمودار ۱۰ تأثیر چندسولوی در مقطع مربع بسیار بیشتر از دایره است، به‌طوری‌که مقدار جذب انرژی برای Sq-0 عدد ۳۰۳ و برای Sq-4 ۴۵۵ نیوتن متر می‌باشد.

نمودارهای نیرو جابه‌جایی، نمونه Cr-4 دارای بیشترین نیروی اولیه و نمونه Sq-2 دارای کمترین نیروی اولیه می‌باشد. مقدار نیروی متوسط لهیدگی برای مقاطع ارتباط

۶. مآخذ

- [1] Matthew, A. Important Considerations in the development of a test to promote stable bumper engagement in low speed crashes, Motor Insurance, Repair Research Centre, 2004.
- [2] Das, S. The Cost of Automotive Polymer Composites: Assessment of DOE's, 2001.
- [3] Automotive packaging innovation, Neopolen P. plastics plus, 2006, http://www2.basf.de/basf2/html/plastics/images/pdfs/engl/schaum/Neopolen_e.pdf (accessed March 13, 2015)
- [4] Schuster, P.J., "Pedestrian bumper design survey", American Iron and Steel Institute, 2004.
- [5] tech.corvettecentral.com/2011/08/c4-corvette-cutaway-car-parts-gallery/energy-absorber-bumper
- [6] Zhang, X. H. Zhang, Experimental and numerical investigation on crush resistance of polygonal columns and angle elements, Thin-Walled Structures, 2012, Vol. 57: 25-36.
- [7] AlaviNia, A., N. JamalHaddad Hamedani, Comparative analysis of energy absorption and deformations of thin walle, 2010.
- [8] Weigang Chen, Tomasz Wierzbicki, Relative merits of single-cell, multi-cell and foam-filled thin-walled structures in energy absorption-Weigang Chen, Tomasz Wierzbicki, 2001.
- [9] Xiong Zhang, Gengdong Cheng, Hui Zhang, Theoretical prediction and numerical simulation of multi-cell square thin-walled structures. Zhang.X. Cheng. C.Zhang, 2006.
- [10] Xiong Zhang, Hui Zhang, Numerical and theoretical studies on energy absorption of three-panel angle elements-Xiong Zhang, Hui Zhang, 2012.

پی‌نوشت

1. EPP
2. Square
3. Circle
4. SolidWorks

