



بررسی تأثیر استفاده از سپر کامپوزیتی در برخورد یک خودروی سواری از روبرو با جسم صلب

جلیل جمالی

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر - شوشتر - ایران

Email: jalil.jamali@iau.ac.ir

چکیده

سپر مهمترین سازه برای جذب انرژی ناشی از برخوردها است. به دلیل اینکه مقاومت در برابر ضربه مهمترین توقع از این سازه می‌باشد، در این تحقیق مطالعه جامعی از پارامترهایی که تأثیر مستقیم بر خصوصیات ضربه در سپرهای موجود دارند، انجام گرفته است. شرایط برخورد با توجه به شرایط بیان شده در Economic Commission Europe انجام شده است. همچنین تلاش شده است تا میزان بهبود حاصل از آن در رفتار خودرو در برخورد از جلو، در اثر جایگزینی سپرهای فلزی با سپر ساخته شده از مواد کامپوزیت ترمو پلاستیک GMT بررسی شود. برای این هدف، شرایط مرزی و عوامل مؤثر در برخورد در نرم افزار ABAQUS تعریف شده‌اند. برای افزایش دقت در نتایج حاصل از آن، مدل اجزاء محدود سپر خودرو، به گونه‌ای دقیق مدلسازی شده است.

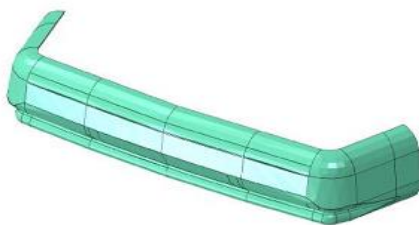
کلمات کلیدی: سپر، ABAQUS، مواد کامپوزیت، GMT، برخورد از جلو، سپر کامپوزیتی، مدل اجزاء محدود

مقدمه

خودروهای امروزه نقش بسیاری در زندگی انسان‌ها ایفا می‌کنند به طوری که زندگی بدون خودرو امری بسیار مشکل به نظر می‌رسد. اما خطر مهم برخورد که جان سرنشینان را تهدید می‌کند صرفنظر از عواملی که باعث برخورد خودروها به یکدیگر می‌شود طراحی خودروهای ایمن را ایجاب می‌کند. رشد و حضور بیشتر ماشین‌ها در جاده‌ها همراه با افزایش تصادفات بود، مخصوصاً با افزایش سرعت خودروها تصادفات رو به فزونی می‌رفت. بنابراین آمار تلفات ناشی از تصادفات خودروها در جهان بالا می‌رفت به طوری که زمان آن رسیده بود که طراحان راهی را برای تولید وسایل ایمن تر پیدا کنند [30].

سپر اتومبیل یکی از سازه‌های کلیدی در خودروها می‌باشد که طراحی و ساخت آن بایستی به منظور دستیابی به رفتار مناسب خودرو در برخورد با دقت صورت گیرد [19]. از طرفی سپر سازه اصلی برای جذب انرژی ناشی از برخورد است. به دلیل اینکه استحکام مناسب در برخورد، مهمترین توقع از چنین سازه‌هایی است، بنابراین در این تحقیق پارامترهایی را که تأثیر مستقیم بر خصوصیات برخورد دارند و ممکن است منجر به اصلاحاتی در رفتار سپرهای معمولی در برخورد گردند، مورد مطالعه و بررسی قرار می‌دهد [16]. با تدوین قوانین ایمنی برای اتومبیل‌ها، احتمال آسیب جدی در برخوردها و همچنین ایمنی در خودرو باید به عنوان یک پیش شرط در طراحی سپرهای سبک مورد توجه قرار گیرد. وزن سپرها را می‌توان با استفاده از مواد کامپوزیتی و ورق‌های فلزی

سازی می‌شود [1]. در این مدل سطوح غیر ضروری نظیر سوراخ‌های تعبیه شده برای چراغ راهنما و یا محل ایجاد شده برای پلاک خودرو حذف می‌گردند. این محل‌های حذف شده تأثیری بر نتایج تحلیل نداشته و فقط به منظور سهولت در مرحله مش بندی اعمال شده‌اند. در غیر این صورت طراحی هندسی و مش بندی سازه سپر را در محیط نرم‌افزار المان محدود ABAQUS به شدت پیچیده می‌نمایند. در شکل (۲) مدل جدید اصلاح شده سپر مورد بررسی با متریکال، در مازول Property نمایش داده شده است.



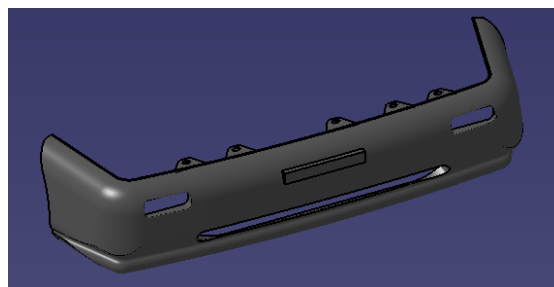
شکل ۲: مدل هندسی سطوح بیرونی سپر در نرم افزار آباکوس

در این تحقیق یک نمونه سپر کامپوزیتی GMT برای بررسی رفتار در حین برخورد مورد مطالعه قرار می‌گیرد. مواد GMT متریکال کامپوزیتی ساخته شده از الیاف کوتاه شیشه به طول 12-25 میلی‌متر است که به صورت رندمی با رزین ترموپلاستیک مخلوط می‌گردند. خواص این ماده در جدول (۱) آورده شده است. مواد GMT معمولاً به صورت ورقه‌هایی به ضخامت متنوع، با الیاف‌هایی از جنس‌های مختلف با الگوهای پیوسته، بریده بریده، یک جهته و یا ترکیبی از این ساختارها که دارای خصوصیات تسلیم ویژه‌ای می‌باشد، تولید می‌گردد. همچنین رزین ترموپلاستیک برای چسباندن و شکل‌دهی الیاف در کنار هم مورد استفاده قرار می‌گیرد. سرانجام سپر را با استفاده از گرم کردن و فرم دهی توسط پرس در قالب شکل می‌دهند [29]. قابلیت نرم شدن و استفاده مجدد از رزین‌های ترموپلاستیک دو دلیل عمده برای استفاده روز افزون صنعتی از این رزین‌ها است و از عیوب آنها می‌توان به محدودیت در رعایت دقیق تolerانس‌ها اشاره کرد.

استحکام بالا با ضخامت پایین کاهش داد. تلاش‌هایی برای طراحی و ساخت چنین سپرهایی به صورت واقعی و کاربردی صورت گرفته است. طراحی به کمک کامپیوتر (CAD) در این خصوص بسیار پیشرفت کرده است. انجام تست‌های برخورد نیازمند استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی پیچیده‌ای می‌باشد بنابراین، استفاده از مدل سازی‌های المان محدود روز افزون شده است. در این راستا برنامه‌های تجاری المان محدودی نظیر ABAQUS برای انجام شبیه سازی‌های مختلف تولید شده است.

مدل سازی

نخستین گام در تحلیل المان محدود یک سازه، ایجاد مدل هندسی آن است. کاربر باید بتواند مدل هندسی مورد نظر را ایجاد نموده و آن را در صورت نیاز اصلاح نماید و یا قسمت‌های نامطلوب را حذف کند. بنابراین پس از اعمال تغییرات می‌توان هندسه مورد نظر را به صورت نهایی ایجاد کرد. برای انجام این کار روش‌های مختلفی وجود دارد که در نرم‌افزارهای مدل‌سازی تعبیه شده است. لازم به ذکر است که در این تحقیق برای مدل سازی هندسی از نرم‌افزار CATIA استفاده شده است. سپس فایل‌های ایجاد شده با فرمت IGS ذخیره می‌گردند. این فایل‌ها به نرم‌افزار ABAQUS، منتقل شده و جهت مش‌زدن و تولید المان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار CATIA در ایجاد سطوح پیچیده تولید گردیده است. دستوراتی مانند loft و sweep با قابلیت بسیار مفید در این نرم‌افزار برای ایجاد مدل هندسی به کار گرفته شده است. در شکل (۱) مدل ایجاد شده از سپر در نرم‌افزار CATIA نشان داده شده است.



شکل ۱: مدل هندسی سپر در نرم‌افزار catia

در این مدل، طبق استاندارد ECE-R 94 برخورد خودرو به یک دیوار صلب با سرعت ۵۶ کیلومتر بر ساعت شبیه

در شکل (۳)، E و σ_y به ترتیب، مدول ارتجاعی و تنش تسلیم اولیه، E_1 و σ_1 و غیره، مدول مماسی و تنش تسلیم بعدی است. بنابراین، با تعریف دو مدول مماسی E_1 و E_2 و تنش‌های پلاستیک مؤثر σ_1 و σ_2 نمودار شکل (۳) بیانگر خواص الاستوپلاستیک ماده خواهد بود. در این زمینه، تنش پلاستیک مؤثر σ_{eff} بر پایه تنسور تنش انحرافی S تعریف می‌شود:

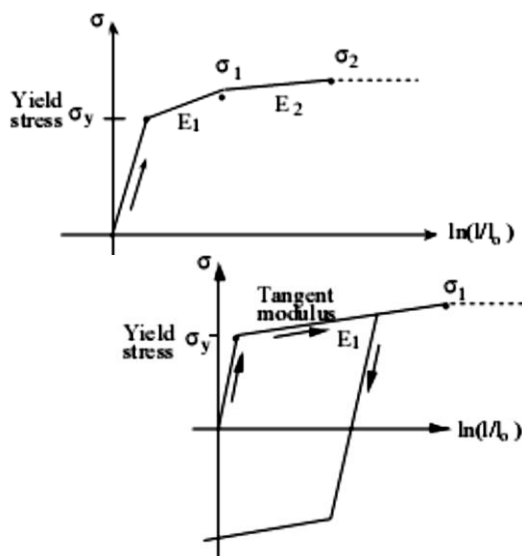
$$s_{ij} = \sigma_{ij} - (1/3)\sigma_{kk}\delta_{ij} \quad (1)$$

$$\sigma_{eff} = \sqrt{3/2 s_{ij}s_{ij}} \quad (2)$$

و کرنش پلاستیک مؤثر به این ترتیب بیان می‌شود:

$$\varepsilon_p = \int_0^t \sqrt{2/3 D_{ij}^p D_{ij}^p} dt \quad (3)$$

که در آن t زمان، D_{ij}^p جزء پلاستیک نرخ تنسور تغییر شکل، σ_{ij} تنسور و δ_{ij} دلتای کرونیکر است.



شکل (۳) مدل سازی رفتار الاستوپلاستیک مواد

ماده GMT

همان گونه که اشاره شد، مواد GMT مورد استفاده در این تحقیق، از الیاف کوتاه شیشه به طول 12-25 میلی‌متر است که به صورت رندمی با رزین ترموپلاستیک مخلوط شده و از این رو رفتار ماده، ایزوتروپیک است. مواد کامپوزیت به طور معمول از خود رفتار پلاستیک نشان نمی‌دهند، بنابراین در مدل‌سازی این گونه مواد در نرم افزار ABAQUS، واماندگی ایزوتروپیک (شکست ترد) در

جدول ۱: خصوصیات مکانیکی متریال کامپوزیتی GMT

Material	$E(GPa)$	ν (Poisson Ratio)	$S_y(MPa)$	$\rho(\frac{kg}{m^3})$
GMT	12	0.41	230	1280

فولاد، منیزیم و آلومینیوم سه متریال متعارف هستند که برای سپر خودروها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این متریال‌ها در مدل‌های عددی به سپر اعمال می‌گردند. خصوصیات این متریال‌ها جداگانه و در تحلیل‌های مختلف بر سپر اعمال می‌گردد. در جدول (۲) خصوصیات مکانیکی متریال‌های فلزی مورد استفاده در تحلیل‌ها نشان داده شده است. لازم به ذکر است که ضخامت تمامی مدل‌های 4mm فرض شده است.

جدول ۲: خصوصیات مکانیکی متریال‌های فلزی مورد استفاده در تحلیل‌ها

Material	$E(\frac{N}{mm^2})$	ν (Poisson Ratio)	S_y	$\rho(\frac{kg}{m^3})$
steel	207E9	0.3	190 MPa	7860
Aluminum	68.90E9	0.33	193 MPa	2720
Magnesium	450E9	0.35	180 MPa	1740

تعریف ویژگی‌های مواد

ماده خنثی

به طور کلی برای سطوح تماسی که نیروهای داخلی و تغییر شکل نقاط تماس آنها مورد نظر نبوده در این تحقیق دیوار صلب، ماده بی اثر اختصاص داده می‌شود. مزیت استفاده از این نوع ماده این است که نیروهای داخلی المان‌ها محاسبه نشده و در نتیجه زمان کمتری برای تحلیل صرف خواهد شد.

ماده ایزوتروپیک الاستوپلاستیک

این ماده بر اساس مدل پلاستیسیته سخت شدن ایزوتروپیک ون میسز برای المان‌های پوسته نازک تعریف می‌شود. همه المان‌های پوسته با این ماده مدل شده‌اند. ویژگی‌های ارتجاعی این ماده بر حسب عوامل مدول ارتجاعی E ، مدول برشی G ، ضریب پواسون ν و ضخامت t ورق بیان می‌شده‌اند.

خواص الاستوپلاستیک مواد با مدل‌سازی منحنی تنش-کرنش مواد و انتخاب عوامل مواد مانند آنچه در شکل (۳) نشان داده شده، تعریف شده‌اند.

جدول ۳: خصوصیات مکانیکی متریال‌های فلزی مورد استفاده در تحلیل‌ها

Material	$E \left(\frac{N}{m^2} \right)$	v(Poisson Ratio)	Sy	$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$
steel	207E9	0.3	190 MPa	7860
Aluminum	68.90E9	0.33	193 MPa	2720
Magnesium	450E9	0.35	180 MPa	1740

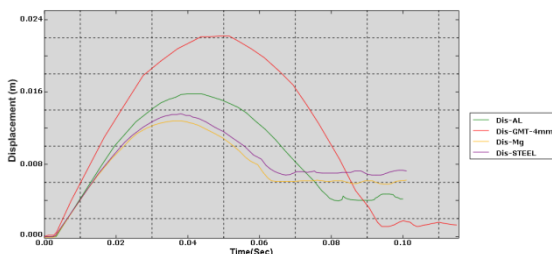
مطابق جدول (۳) برای مطالعه اثر مدول الاستیسیته روی رفتار ضربه‌ای سپر، سه آلیاژ فلزی ذکر شده با مدول‌های الاستیسیته مختلف انتخاب می‌گردند که دارای تنش تسلیم تقریباً یکسان می‌باشند. خصوصیات مکانیکی کامپوزیت GMT ایزوتروپیک در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ۴: خصوصیات مکانیکی متریال کامپوزیتی GMT

Material	$E(GPa)$	v(Poisson Ratio)	Sy(MPa)	$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$
GMT	12	0.41	230	1280

همچنین سپر به صورت عمودی با دیوار صلب با سرعت 56km/h برخورد می‌کند. در نمودار (۱) مقایسه‌ای بین تغییر شکل طولی میانگین سپر GMT با سپرهای فلزی با جنس‌های آلومینیوم، استیل و منیزیم نشان داده شده است. این تغییر شکل‌ها روی نود وسط سپر ثبت شده است که در این شبیه‌سازی‌ها بیشترین برخورد و تغییر شکل را تجربه می‌نماید.

مطابق نمودار ارائه شده، مشاهده می‌گردد که بیشترین تغییر شکل در سپر GMT اتفاق افتاده که مقدار آن 22.20mm می‌باشد. سپس ماکزیمم مقدار تغییر شکل 15.82mm، 13.51mm و 12.80 mm به ترتیب در آلومینیوم، استیل و منیزیم ایجاد می‌گردد.



نمودار ۱: مقایسه‌ای بین تغییر شکل طولی میانگین سپر GMT با سپرهای فلزی با جنس‌های آلومینیوم، استیل و منیزیم

طبق نمودار برای سپرهای فلزی بیشترین مقدار تغییر شکل در سپر آلومینیومی برابر 15.82mm محاسبه می‌

نظر گرفته می‌شود. قانون آسیب ایزوتروپیک به این ترتیب است:

$$\sigma = [1 - d(\varepsilon_p)]\sigma_0 \quad (4)$$

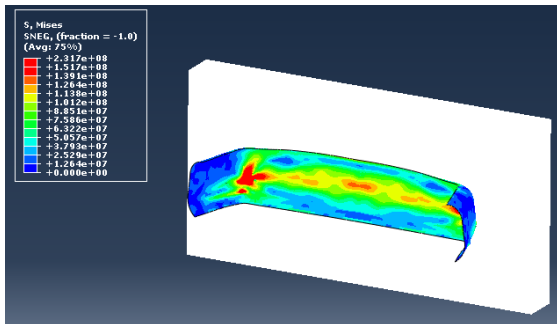
که در آن، σ تانسور تنش آسیب، $d(\varepsilon_p)$ تابع آسیب اسکالر ایزوتروپیک، ε_p کرنش پلاستیک و σ_0 تانسور تنشی است که بر اساس رابطه الاستوپلاستیک حاکم بر مواد (بدون در نظر گرفتن اثرات نرخ کرنش) به دست آمده است.

تابع آسیب اسکالر ایزوتروپیک، $d(\varepsilon_p)$ از صفر تا d_1 در بازه $\varepsilon_{p1} \leq \varepsilon_p \leq \varepsilon_{p1}$ و از d_1 تا $d_u \leq 1$ در بازه $\varepsilon_{pu} \leq \varepsilon_p \leq \varepsilon_{pu}$ در صورتی که کرنش پلاستیک از کرنش آسیب پلاستیک نهایی تجاوز کند، تابع آسیب ایزوتروپیک ثابت خواهد ماند، $\varepsilon_p > \varepsilon_{pu}$ اگر رفتار ماده الاستوپلاستیک با قانون آسیب مدل شوند، کشش طولی ساده‌تر توصیف خواهد شد [31].

در این پایان‌نامه به سؤالاتی در خصوص تغییر چند پارامتر اساسی و تأثیر آنها در برخورد سپر با مانع صلب پاسخ داده می‌شود. نخست متریال، اینکه چگونه نوع متریال می‌تواند خصوصیات ضربه‌ای را تحت تأثیر قرار دهد و چه متریالی در برخورد سپرها با مانع صلب رفتار مناسبی را نشان می‌دهد؟ همچنین تأثیر پارامترهایی مانند میزان مدول الاستیسیته و تنش تسلیم بر رفتار برخورد سپر چگونه است؟ ضخامت سپر چه تأثیری می‌تواند بر خصوصیات سپر در برخورد داشته باشد؟ همچنین استفاده از متریال‌های کامپوزیتی چه تأثیراتی بر رفتار سپر در برخورد خواهد داشت.

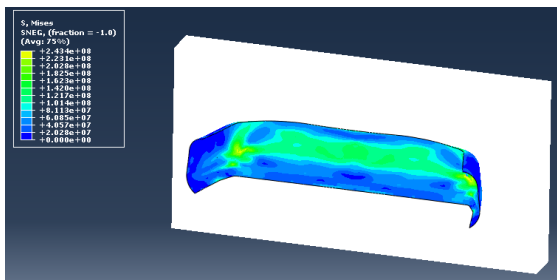
نتایج تحلیل برخورد

فولاد، منیزیم و آلومینیوم سه متریال متعارف هستند که برای سپر خودروها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این متریال‌ها در مدل‌های عددی به سپر اعمال می‌گردند. خصوصیات این متریال‌ها جداگانه و در تحلیل‌های مختلف بر سپر اعمال می‌گردد. در جدول (۳) خصوصیات مکانیکی متریال‌های فلزی مورد استفاده در تحلیل‌ها نشان داده شده است. لازم به ذکر است که ضخامت تمامی مدل‌های فلزی 4mm فرض شده است.



شکل ۴: نواحی شکست در سپر کامپوزیتی GMT با ضخامت 4mm

برای افزایش استحکام سپر GMT، و جلوگیری از آسیب دیدگی در این نواحی، بایستی ضخامت سپر را افزایش داد. بنابراین در مرحله بعد ضخامت سپر GMT به 5mm افزایش پیدا می‌کند. با نگاهی به کانتور توزیع تنش ون‌مایز سپر GMT، مشاهده می‌گردد که ماکزیمم تنش ایجاد شده در این حالت به 223MPa رسیده است که کمتر از تنش تسلیم بوده و بنابراین هیچ گونه شکستی در سپر GMT دیده نمی‌شود. در شکل (۵) توزیع ماکزیمم تنش ون‌مایز در سپر کامپوزیتی GMT، زمانی که تنش به مقدار 223MPa رسیده، نشان داده شده است.

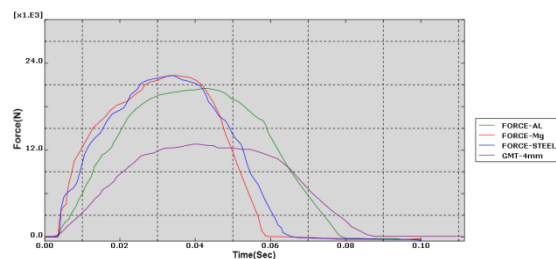


شکل (۵) کانتور تنش ون‌مایز سپر کامپوزیتی GMT بدون شکست با ضخامت 5mm

در نمودارهای (۳) و (۴) تغییرات زمانی انرژی کرنشی، انرژی جنبشی و انرژی کل مربوط به سپرهای آلومینیوم و کامپوزیتی GMT در هنگام برخورد نشان داده شده است. مطابق نمودار، انرژی داخلی و جنبشی دارای شیب تندی بوده و در ضمن برخورد تبدیل می‌گردند. همچنین سپر خودرو بیشترین سهم را در جذب انرژی برخورد دارد، به طوری که پارامترهای ضخامت و جنس سپر بر جذب انرژی برخورد توسط سپر، بسیار تأثیر گذار هستند. مطابق نمودارهای زیر مقدار انرژی جنبشی سپر آلومینیومی از سپر کامپوزیتی GMT بالاتر است. این بدان معناست که

گردد. بنابراین سپر GMT نسبت به آلومینیومی در حدود 28.82% بیشتر، تغییر شکل قابل ملاحظه‌ای را در برخورد تجربه می‌نماید. این پدیده به علت صلبیت پایین متریل GMT در مقایسه با فلزات قابل توجه است. همچنین نقطه جدایش برای متریل‌های GMT، آلومینیوم، استیل و منیزیم به ترتیب در زمان‌های 0.0941، 0.082، 0.073 و 0.062 ثانیه اتفاق می‌افتد که در دیاگرام تغییر شکل-زمان دیده می‌شود، جایی که مقدار تغییر شکل سپر بعد از آن ثابت شده است.

سپس در ادامه کار نیروی برخورد سپر با متریل GMT نسبت به متریل‌های فلزی مورد مطالعه قرار گرفته است. در نمودار (۲) نمودار تغییرات نیروی برخورد سپر با متریل‌های مختلف نشان داده شده است. بر اساس منحنی‌های زیر، نیروی برخورد در سپر منیزیمی 22.30KN، سپر استیل 22.19KN، سپر آلومینیومی 20.50KN و در سپر GMT برابر 12.80KN می‌باشد. بنابراین مشاهده می‌گردد که کمترین نیروی برخورد با سپر GMT ایجاد می‌گردد به طوری که میزان نیروی ناشی از برخورد سپر GMT نسبت به سپر آلومینیومی 42.31% کاهش نشان می‌دهد.



نمودار ۲: نمودار تغییرات نیروی برخورد سپر با متریل‌های مختلف

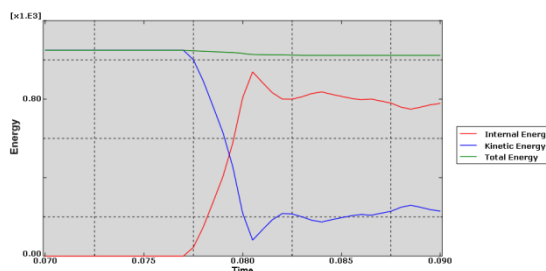
همان طور که در بخش قبل بیان گردید، ضخامت سپر GMT در تحلیل برابر 4mm فرض شده است. در شکل (۵) کانتور تنش ون‌مایز سپر کامپوزیتی GMT در مرحله پس از برخورد نشان داده شده است. بر طبق کانتورهای زیر مشاهده می‌گردد که در لحظه برخورد ماکزیمم تنش ون‌مایز در برخی نواحی سپر کامپوزیتی به سپر GMT می‌رسیده است. بنابراین در برخی نواحی سپر GMT میزان تنش‌ها از استحکام تسلیم متریل بیشتر شده که حکایت از آسیب دیدگی و شکست موضعی در این نواحی از سپر دارد.

به طور کلی، می‌توان چنین بیان کرد که ماهیت پدیده برخورد تبدیل انرژی جنبشی به انرژی داخلی ماده می‌باشد. با دقت در این پدیده متوجه می‌شویم که انرژی جنبشی سپر قبل از برخورد ماکزیمم بوده که ناشی از سرعت اولیه سپر می‌باشد. با گذشت زمان، در اثر برخورد رفته رفته از انرژی جنبشی آن کاسته شده و مقداری از آن به انرژی کرنشی داخلی ماده تبدیل می‌گردد. قسمتی از انرژی کرنشی به شکل الاستیک و قسمتی دیگر به شکل پلاستیک خواهد بود. بنابراین با گذشت زمان، انرژی جنبشی کل سیستم کاهش یافته و در مقابل انرژی کرنشی افزایش می‌یابد تا اینکه به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد. بعد از این لحظه، با توجه به اینکه رفته رفته تغییر شکل‌های الاستیک از بین می‌رود، انرژی کرنشی سیستم به دلیل بازگشت انرژی کرنشی الاستیک، کاسته می‌شود. بنابراین با مقایسه فلزات، انرژی کرنشی آلومینیوم از استیل و منیزیم بالاتر می‌باشد. همچنین بهترین رفتار جذب انرژی در مورد سپر کامپوزیتی GMT مشاهده می‌شود.

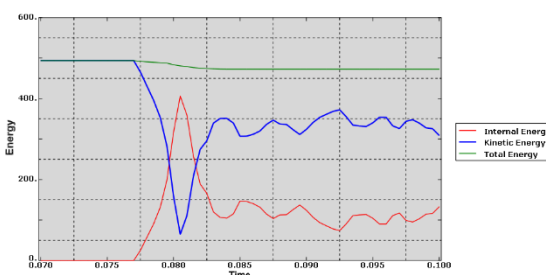
نتیجه گیری

بر اساس مطالعات صورت گرفته در این تحقیق، در طراحی سپر اتومبیل، الزامات مورد نیاز با توجه به دو قید تغییر شکل ماکزیمم و تنش‌های ماکزیمم مورد مطالعه قرار گرفته است. نخست تغییر شکل سپر مورد بررسی قرار گرفته و تغییرات آن در طول زمان برخورد ارزیابی شده است. سپس نشان داده شد که تغییر شکل‌های پلاستیک ماندگار به صورتی در سپر ایجاد می‌گردد که تنش‌های ماکزیمم کمتر از تنش تسلیم باشد. از سوی دیگر، با توجه به اینکه سپر در خودروها، به عنوان سازه اصلی جذب نیروهای ضربه‌ای در ضمن برخورد تلقی می‌گردد، بنابراین به جهت تضمین امنیت سرنشینان خودرو، کاهش میزان نیروهای برخورد با استفاده از متریال‌های کامپوزیتی مورد تأیید قرار گرفته است. مطالعات نشان داد که متریال‌های با خصوصیات مدول الاستیسیته پایین (که دارای صلبیت پایین می‌باشند) و استحکام بالا منجر به رفتار بسیار خوب در برخورد می‌گردند که در نتیجه استفاده از آن، ماکزیمم تنش ایجاد شده در سازه سپر از تنش تسلیم پایین‌تر می‌باشد. بنابراین آلومینیوم نسبت به سایر فلزات بهترین انتخاب به حساب می‌آید. همچنین نشان داده شد که

تفاوت سرعت در سپر آلومینیومی، قبل و بعد از برخورد به مراتب بالاتر از سپر کامپوزیتی GMT می‌باشد.

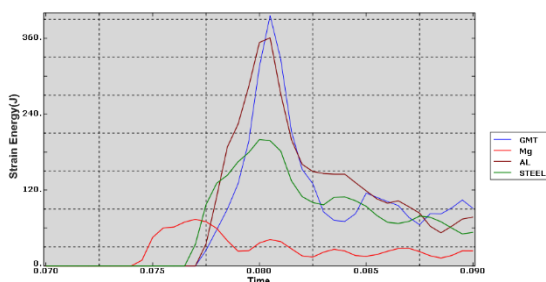


نمودار ۳: تغییرات انرژی کرنشی، انرژی جنبشی و انرژی کل سپر آلومینیوم در ضمن برخورد



نمودار ۴: تغییرات انرژی کرنشی، انرژی جنبشی و انرژی کل سپر GMT در ضمن برخورد

در نمودار (۵) تغییرات انرژی کرنشی سپرهای آلومینیومی، استیل، منیزیمی و کامپوزیتی GMT در برخورد نشان داده شده است. مطابق نمودار زیر، انرژی کرنشی سپر کامپوزیتی GMT از سپرهای فلزی بالاتر است. دلیل این امر را می‌توان این گونه بیان کرد که انرژی کرنشی رابطه‌ای مستقیم با مقدار تغییر شکل پلاستیک سپر دارد. بنابراین همان طور که در بخش‌های قبل نشان داده شد میزان تغییر شکل پلاستیک سپر کامپوزیتی GMT از سپرهای فلزی بیشتر بود، لذا بالاتر بودن انرژی کرنشی سپر GMT تأیید می‌گردد.



نمودار ۵: تغییرات انرژی کرنشی سپرهای آلومینیومی، استیل، منیزیمی و کامپوزیتی GMT در برخورد

بسیار پایین تر است. ارزیابی و مقایسه نتایج مورد مطالعه، در این پایان نامه، فواید استفاده از مترال‌های کامپوزیتی در سپر کامپوزیتی GMT را مورد تأکید قرار می‌دهد:

- ساخت سپرهای کامپوزیتی به مراتب ساده و آسان-تر است.
- وزن سپرهای کامپوزیتی از سپرهای فلزی به میزان قابل توجهی کمتر است.
- تولید سپرهای کامپوزیتی با هزینه پایین صورت گرفته و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است.
- با استفاده از مترال‌های کامپوزیتی GMT، می‌توان از سپرهای با ضخامت متوسط پایین استفاده نمود.

افزایش ضخامت سپر باعث بالا رفتن صلبیت و در نتیجه نیروهای ناشی از برخورد می‌گردد. کاهش میزان تغییر شکل‌ها و تنش‌های ایجاد شده در سپر از دیگر نتایج مهم افزایش ضخامت سپرهای فلزی و کامپوزیتی است. سرانجام GMT به عنوان ماده اصلی سپر کامپوزیتی مورد مطالعه قرار گرفت. ملاحظه گردید که این سپر کامپوزیتی GMT دارای خصوصیات بسیار خوب و قابل قبول در مقایسه با سایر سپرهای فلزی می‌باشند. تغییر شکل بالا و نیروی پایین برخورد، از بهترین خصوصیات سپرهای کامپوزیتی GMT به شمار می‌رود. همچنین سپر کامپوزیتی GMT بهترین رفتار جذب انرژی را نشان می‌دهد. بنابراین طراحی بهینه با در نظر گرفتن تمامی این شرایط و مینیمم سازی جرم کلی سپر میسر است. وزن سپر GMT مورد مطالعه در مقایسه با سپرهای فلزی

مراجع

[1]. UNITED NATIONS AGREEMENT, Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regards to their front and rear protective devices (bumpers, etc.), E.C.E., 1994.

[2].ANSI/ASSE Z15.1-2006 American Standard: Safe Practices for Motor Vehicle perations, American National Standards Institute (ANSI)/American Society of Safety Engineers (ASSE) Accredited Standards Committee, Z.15, March 2006.

[3] C.Ponzo & F.Renzi , 2004, " Parametric multi-body analysis of kart dynamics ", FISITA.

[4] Lee Ovenshire & Ted Belytschko, 1996, Nonlinear Finite Element, Northwestern, University Copyright.

[5] Huhges, H., Kang, W.J., 2002, "Crashworthiness assessment of thin-walled structures with the high-strength steel sheet", Int. J. of Vehicle Design, Vol. 30, and Nos. 1/2.

[6].Matthew Keep & Tom Rutherford , Reported Road Accident Statistics ,Social and General Statistics Section.

[7] Xiao A, Park S, Freiheit T. A comparison of concept selection in concept scoring and axiomatic design methods; 2007.

[8] Pahl G, Beitz W, Feldhusen J. Engineering design: a systematic approach. Springer; 2007.

[9] Huthwaite B. Manufacturing competitiveness and quality by design. In 4th

international conference product design for manufacture and assembly,

Stockholm, Sweden; 1989.

[10] Fung R, Chen Y, Tang J. A quality-engineering-based approach for conceptual product design. Int J Adv Manuf Technol 2007;3211:1064–73.

- [11] Hsu W. Woon IMY current research in the conceptual design of mechanical products. *Comput Aided Design* 1998;30:377-89.
- [12] Pugh S. Total design: integrated methods for successful product engineering. UK: Addison-Wesley Wokingham; 1995.
- [13] Qiu S, Fok S, Chen C, Xu S. Conceptual design using evolution strategy. *Int J Adv Manuf Technol* 2002;209:683-91.
- [14] Wang L, Shen W, Xie H, Neelamkavil J, Pardasani A. Collaborative conceptual design-state of the art and future trends. *Comput Aided Design* 2002;3413:981-96.
- [15] Cars P. US Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration; 1989.
- [16] Marzbanrad J, Alijanpour M, Kiasat M. Design and analysis of an automotive bumper beam in low-speed frontal crashes. *Thin-Walled Structures* 2009;478-9:902-11.
- [17] Feng ZS, feng SQ. Research of CA1092 automotive body lightening. *J Automob Technol Mater* 2002;58-62:8-9.
- [18] Eller R, Kirsch MA, Materials Substitution Trends in Global Automotive Bumper Systems. *SAE* 88.
- [19] Maeda R, Ueno S, Uda K, Matsuoka T. Strength test of aluminum alloy bumper for automobile. *Furukawa Review* 1994(13).
- [20] Williams DA, Parkin CC, European new car assessment programme (Euro NCAP), Testing protocol, Transport Research laboratory, version 2, May 1999.
- [21] O.C.Zienkiewicz & R.L. Taylor, 1999, "The Finite Element Method", (Volume1) Forth Edition, McGraw-Hill.
- [23] Ted Belytschko, 1996, Nonlinear Finite Element, Northwestern, University Copyright.
- [24]. C.Ponzo & F.Renzi , 2004, " Parametric multi-body analysis of kart dynamics ", FISITA.
- [25] Wong J. Y. , 2001, " Theory of ground vehicles ", John Wiley & Son.
- [26] Wolfgang Matschinsky, 2000, " Road vehicle suspensions ", Professional engineering publishing.
- [27] Joseph E. & Charles R. mischke, 2001, " Mechanical engineering design, 6th edition", McGraw Hill.
- [28]. K.-J. Bathe, 2007. Finite element procedures, Prentice Hall.
- [29] Cheon SS, Choi JH, Lee DG. Development of the composite bumper beam for passenger cars. *J Compos Struct* 1995;32:4919
- [30] Kirkpatrick, S. W. (2000). "Development and validation of high fidelity vehicle crash simulation models." SAE Tech. Paper Series, paper No.2000-01-0627.

[31] محمد شرعیات وعباس گنجی پور "بررسی برخورد از جلوی یک خودروی سواری و آثار استفاده از سپر کامپوزیتی"، نشریه دانشکده فنی، دوره ۴۳، شماره ۴