

بررسی برخورد از جلوی یک خودروی سواری و آثار استفاده از سپر کامپوزیتی

محمد شرعیات^{۱*} و عباس گنجی پور^۲

^۱دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

^۲دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(تاریخ دریافت ۸۶/۸/۵، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۸/۴/۳۱، تاریخ تصویب ۸۸/۶/۲۵)

چکیده

در این پژوهش، با به کارگیری مدل المان محدود کامل یک خودروی سواری ملی، تلاش شده است که نقش اجزاء و مجموعه‌های گوناگون در جذب انرژی ناشی از برخورد از جلو، پیدا شده و با تغییر ضخامت برخی از اجزایی که سهم بیشتری در جذب انرژی دارند، ایمنی سرنشین بهبود یابد. همچنین تلاش شده است تا میزان بهبود حاصل از آن در رفتار خودرو در برخورد از جلو، در اثر جایگزینی سپر فلزی با سپر ساخته شده از مواد کامپوزیت ترمو پلاستیک GMT بررسی شود. برای این هدف، شرایط مرزی و عوامل مؤثر در برخورد در نرم‌افزار PAM-CRASH تعریف شده‌اند. برای افزایش دقت در نتایج حاصل از آن، مدل اجزای محدود همه زیر مجموعه‌های خودرو به همراه اتصالات میان اجزاء، به گونه‌ای دقیق مدل‌سازی شده است. پس از تحلیل برخورد از جلو، اجزایی که جذب انرژی آنها بیشتر است، تعیین و نتایج برخورد قبل و بعد از اعمال تغییرات پیشنهادی در اجزاء، مقایسه شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: برخورد از جلو، مدل کامل خودرو، PAMCRASH، مدل المان محدود، سپر کامپوزیتی

مقدمه

آنها، تحلیل برخورد با در نظر گرفتن تغییر شکل پلاستیک اجزاء، امکان‌پذیر است [۷-۴]. از جمله نرم‌افزارهای یادشده، نرم‌افزار PAM-CRASH است که تحلیل‌های آن بر روش اجزای محدود غیرخطی صریح استوارند. با توجه به اینکه اکثر اجزایی که در برخورد طولی خودرو نقش دارند، به فرم ورق یا پوسته با مقطع استوانه‌ای یا چهارگوش بوده و ضربه در امتداد طولی آنها روی می‌دهد، تحلیل‌ها و آزمایش‌های انجام شده در زمینه برخورد، اغلب برای این اجزاء انجام گرفته [۱۱-۸] و کمتر به مدل کامل خودرو پرداخته شده است. از سوی دیگر، سپر جلوی خودروهای سواری باید قابلیت میراسازی انرژی مناسبی داشته باشد [۱۲].

در مقاله کنونی سعی شده است تا با مدل‌سازی کلیه مجموعه‌ها و زیر سیستم‌های یک خودروی سواری ملی به کمک نرم‌افزار PAMCRASH، اثر اجزای گوناگون بررسی شده و سپس با تغییر ضخامت قطعاتی که سهم بیشتری در برخورد از جلو دارند، ایمنی خودرو بهبود داده شود. در این زمینه، رفتار خودرو بر پایه استاندارد ECE12، مورد مطالعه قرار گرفته و میرایی سازه‌ای نیز مد نظر بوده است. همچنین، اثر جایگزینی سپر فلزی جلو با سپر کامپوزیتی

با توجه به نازک کردن ورق‌های بدنه خودروهای سواری جدید برای سبک شدن بدنه و در نتیجه کاهش مصرف سوخت و افزایش سرعت و شتاب، بررسی ایمنی سرنشین در برخورد طولی، اهمیت بیشتری یافته است. تحلیل برخورد خودرو، اغلب بر پایه تئوری‌های المان محدود غیرخطی و از طریق نرم‌افزارهای ویژه‌ای انجام می‌شود. فرایند مدل‌سازی و تحلیل رفتار خودرو در برخورد طولی، بر پایه الگوریتم‌های گوناگونی امکان‌پذیر است [۱]. خواص مواد و رفتار الاستیکی سازه‌ها و اغلب عوامل مورد نیاز برای تحلیل، اغلب با روش مهندسی معکوس و از آزمایش قطعات خودرو به دست می‌آیند [۲]. در ارتباط با دنبال کردن رویدادهای زمانی، روش‌های عددی انتگرال‌گیری زمانی ضمنی و صریح متعددی ارائه شده‌اند [۳]. در این ارتباط، انتخاب نوع تئوری پلاستیسیته و روش به هنگام کردن ماتریس‌های غیر خطی سختی و نیرو نیز بر اهمیت است. بررسی رفتار برخورد خودرو از طریق آزمون، هزینه‌های زیادی به ویژه در ارتباط با تجهیزات آزمون‌های لازم در پی دارد. بنابراین، استفاده از روش‌های محاسباتی، مقرون به صرفه‌تر بوده و اعمال تغییرات طراحی لازم در آنها ساده‌تر است. در این راستا، نرم‌افزارهایی پدید آمده‌اند که به کمک

مواد GMT به شکل ورق‌های نازک با الگوی چیدمان الیاف مختلف از قبیل پیوسته، خرد شده، لایه چینی درهم، تک جهته یا ترکیبی از الگوهای یادشده، ساخته می‌شوند. سپر GMT از ۳ تا ۴ لایه از ورق‌هایی که الیاف آنها خرد شده، در قالب قرار داده شده و تحت حرارت پرس می‌شوند، ساخته می‌شود. رزین مایع نیز تزریق می‌شود تا حفره‌های قالب پر شده و سپر، شکل قالب را به خود بگیرد. ذوب شدن آسان و قابلیت بازیافت زرين‌های ترموپلاستیک، دو دلیل عمده برای استفاده از این زرين‌ها در صنعت است و از عيوب آنها می‌توان به محدودیت در رعایت دقیق تالرانس‌ها اشاره کرد [۱۲].

جدول ۱: ویژگی‌های مواد سپرهای فلزی و کامپوزیتی.

Material	E(GPa)	ν	Sy(MPa)	$\rho(kg/m^3)$
Steel	200	0.3	700	7850
GMT	12	0.41	230	1280

تعریف ویژگی‌های مواد

ماده خشی

به طور کلی برای سطوح تماسی که نیروهای داخلی و تغییر شکل نقاط تماس آنها مورد نظر نبوده و نیز سطوح دیوار صلب و تمام اجزایی که به طور صلب در نظر گرفته می‌شوند، 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 ایزو تروپیک الاستو پلاستیک

این ماده بر اساس مدل پلاستیسیته سخت شدن ایزوتروپیک ون میسر برای المان‌های پوسته نازک تعریف می‌شود. همه المان‌های پوسته اجزای بدنه 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 می‌شوند.

خواص الاستو پلاستیک مواد با مدل‌سازی منحنی تنش-کرنش مواد و انتخاب عوامل مواد مانند آنچه در شکل (۲) نشان داده شده، تعریف شده‌اند.

در شکل (۲)، 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

در جذب انرژی برخورد خودرو بررسی شده و نتایج سپرهای فلزی و کامپوزیتی مقایسه شده‌اند. روش انتگرال‌گیری زمانی اختیار شده در تحلیل‌های زمانی، از گونه ضمنی (کاسته‌های میانی) بوده و ماتریس‌های غیر خطی المان‌ها به روش لاگرانژ، به‌هنگام شده‌اند [۳].

مدل‌سازی

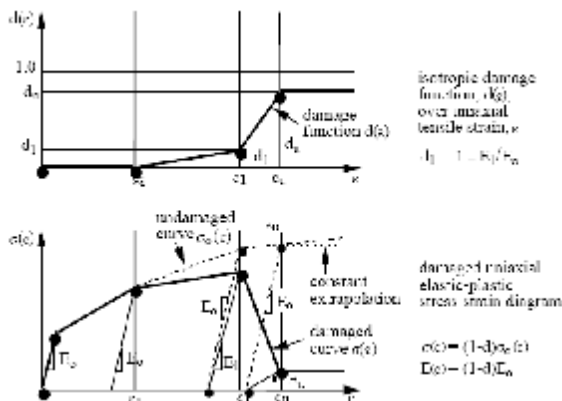
مدل اولیه خودرو ابتدا توسط یک بخش طراحی آماده شده و سپس توسط نویسندگان مقاله، در نرم‌افزار Hypermesh تکمیل و اصلاح شده است. مدل نهایی در شکل (۱) نشان داده شده است. در این مدل، طبق استاندارد ECE12، برخورد خودرو به یک دیوار صلب با سرعت ۴۸ کیلومتر بر ساعت شبیه‌سازی می‌شود. در این مدل که حاوی همه زیر مجموعه‌های خودرو، از جمله: سیستم انتقال قدرت، سیستم فرمان، سیستم تهویه و مجموعه‌های دیگر است، تنها اجزایی که در برخورد، سهمی ندارند حذف شده و اجزایی که تغییر شکل پیدا نمی‌کنند، مانند موتور، به صورت صلب مدل شده‌اند. اغلب اجزاء با المان پوسته مدل شده‌اند. ضمن آنکه تلاش شده است تا جرم اجزاء به طور دقیقی تأمین شود. به عنوان نمونه، جرم موتور خودروی مورد بررسی، ۱۶۳ کیلوگرم و جرم کل خودرو، ۱۰۲۸ کیلوگرم است. ضخامت و نوع ماده اجزای مختلف، متفاوت است. تایرها به گونه‌ای با المان غشایی مدل شده‌اند که سختی قائم هم‌ارزی برای آنها ایجاد شود. در این مدل، نقاط جوش به وسیله اتصال سخت مدل‌سازی شده‌اند.



شکل ۱. مدل ساخته شده جهت تحلیل برخورد طولی.

سپر GMT استفاده شده در این تحقیق، از الیاف شیشه کوتاه با طول ۱۲ تا ۲۵ میلی‌متر که در رزین ترموپلاستیک به طور نامنظم مخلوط شده‌اند، ساخته شده است. از این رو خواص مکانیکی آن به صورت ایزوتروپیک در نظر گرفته می‌شود. خواص این ماده در جدول (۱) آورده شده است.

تابع آسیب اسکالر ایزوتروپیک، $d(\epsilon_p)$ ، از صفر تا d_1 در بازه $\epsilon_{p1} \leq \epsilon_p \leq \epsilon_{pu}$ ، و از d_1 تا $d_u \leq 1$ در بازه $\epsilon_{p1} \leq \epsilon_p \leq \epsilon_{pu}$ در صورتی که کرنش پلاستیک از کرنش آسیب پلاستیک نهایی تجاوز کند، تابع آسیب ایزوتروپیک ثابت خواهد ماند، $d(\epsilon_p) = d_u$. اگر رفتار ماده الاستوپلاستیک با قانون آسیب مدل شوند، کشش طولی ساده‌تر توصیف خواهد شد (شکل ۳).



شکل ۳: رفتار مواد دارای آسیب الاستوپلاستیک [۱۳].

شکل (۳) بیانگر قانون آسیب بر پایه آزمایش کشش طولی است. بر این پایه، آسیب d_1 را می‌توان از این رابطه محاسبه کرد:

$$d_1 = 1 - E_1/E_0 \quad (5)$$

که در آن $E_1 \leq E_0$ مدولی است که در آزمایش کرنش تک محوری با کرنش متوسط ϵ_1 به دست می‌آید و E_0 مدول الاستیک اولیه است. آسیب نهایی، d_u ، مقداری کمتر از ۱ را اختیار می‌کند.

در ارتباط با بهینه‌سازی رفتار خودرو در برخورد، تغییرات گوناگونی را می‌توان در مدل بدنه خودرو انجام داد. همان گونه که روابط قبلی نشان می‌دهند برای تغییر رفتار ماده الاستوپلاستیک، می‌توان تنش تسلیم، مدول ارتجاعی، ضریب پواسون و ضخامت مواد را تغییر داد. تغییر جنس مواد اغلب یا امکان‌پذیر نبوده و استحکام اجزاء را تحت تأثیر قرار می‌دهد (برای مثال جایگزینی جزء فولادی حامل بار با جزء آلومینیومی) یا اگر در مواد هم‌خانواده (به طور مثال جایگزینی ورق‌های فریتی با ورق‌های فولادی با استحکام کششی بالا) انجام پذیرد، هزینه مواد، هزینه تجهیزات و پرس‌های تولید و قیمت تمام شده خودرو را افزایش داده و تغییر روش تولید و مسائلی دیگر را در پی خواهد داشت. در

E_2 و تنش‌های پلاستیک مؤثر σ_1 و σ_2 ، نمودار شکل (۲) بیانگر خواص الاستوپلاستیک ماده خواهد بود. در این زمینه، تنش پلاستیک مؤثر σ_{eff} بر پایه تانسور تنش انحرافی s تعریف می‌شود:

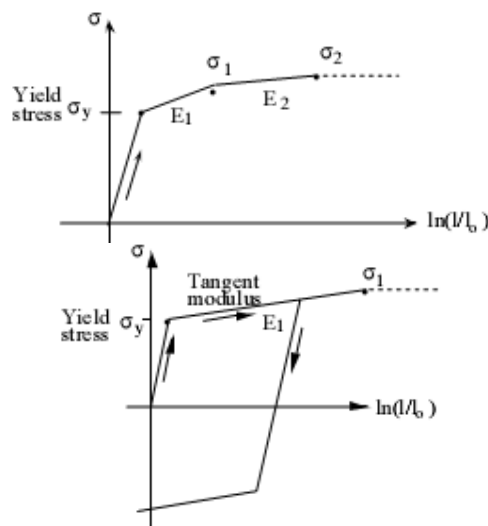
$$s_{ij} = \sigma_{ij} - (1/3)\sigma_{kk}\delta_{ij} \quad (1)$$

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

و کرنش پلاستیک مؤثر به این ترتیب بیان می‌شود:

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

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



شکل ۴: مدل‌سازی رفتار الاستوپلاستیک مواد.

ماده GMT

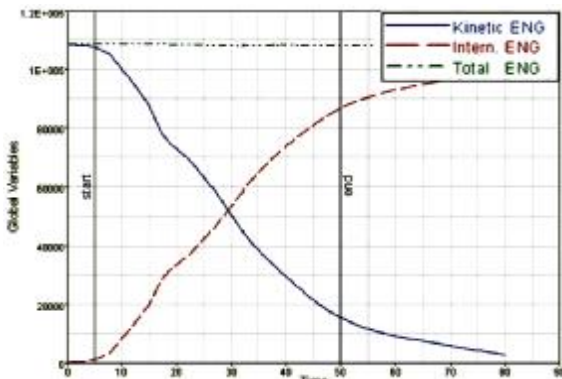
همان گونه که اشاره شد، مواد GMT مورد استفاده در این تحقیق، از الیاف خرد شده شیشه در رزین ترموپلاستیک تهیه شده و از این رو رفتار ماده، ایزوتروپیک است. مواد کامپوزیت به طور معمول از خود رفتار پلاستیک نشان نمی‌دهند، بنابراین در مدل‌سازی این گونه مواد در نرم‌افزار PAM-CRASH، واماندگی ایزوتروپیک (شکست ترد) در نظر گرفته می‌شود. قانون آسیب ایزوتروپیک به این ترتیب است [۱۳]:

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

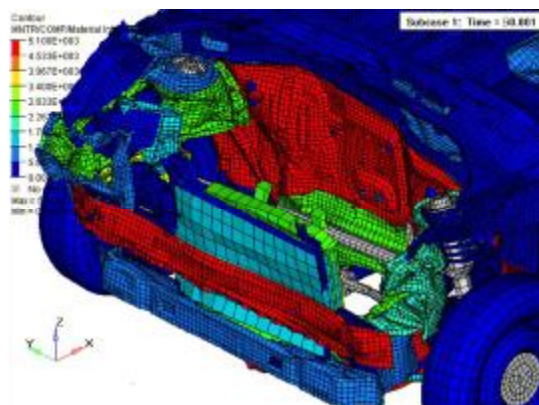
که در آن، σ تانسور تنش آسیب، $d(\epsilon_p)$ تابع آسیب اسکالر ایزوتروپیک، ϵ_p کرنش پلاستیک و σ_0 تانسور تنشی است که بر اساس رابطه الاستوپلاستیک حاکم بر مواد (بدون در نظر گرفتن اثرات نرخ کرنش) به دست آمده است.

شکل (۶)، کانتورهای انرژی جذب شده توسط اجزای جلو خودرو در لحظه انتهای برخورد و شکل ۷، نمودارهای نمونه رسم شده برای تعیین تغییرات میزان جذب انرژی برخورد توسط اجزای مختلف با زمان را نشان می‌دهد.

از بررسی کانتورهای انرژی شکل (۶) و نمودارهای شکل (۷)، آن دسته از اجزاء که بیشترین سهم را در جذب انرژی برخورد دارند را می‌توان یافت. قطعات و اجزای یاد شده در شکل (۸) نمایش داده شده‌اند.

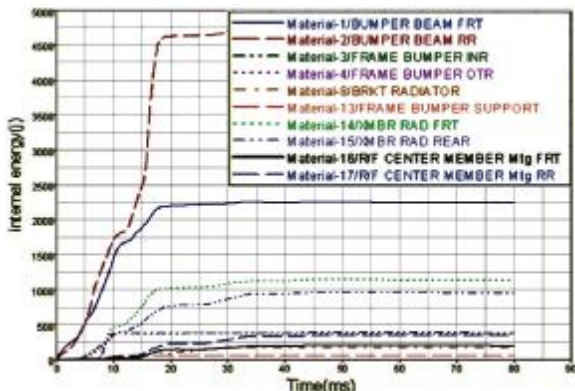


شکل ۵: نمودارهای انرژی‌های جنبشی و کرنشی



(ب)

شکل ۶: کانتورهای انرژی پس از برخورد.



شکل ۷: نمودارهای نمونه، برای تعیین میزان جذب انرژی قطعات و اجزای گوناگون خودرو در حین برخورد.

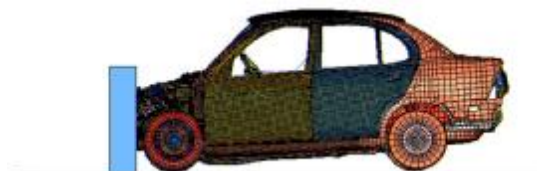
برخی موارد خاص، امکان تغییر شکل مقاطع سازه وجود دارد. به هر حال پیش از هر گونه تغییر، به دانستن نقش اجزاء در جذب انرژی برخورد نیاز است. بنابراین با توجه به اهداف ترسیم شده برای تحقیق کنونی، پس از تعیین نقش اجزاء در برخورد از جلو ی خودرو، از تغییر ضخامت اجزاء دارای نقش برتر و تغییر مواد سپر برای بهبود رفتار برخورد خودرو استفاده خواهد شد. در تحلیل کنونی، ضریب میرایی سازه‌ای مواد، ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است [۱۴].

نتایج تحلیل برخورد از جلو خودرو

پس از تکمیل مدل خودرو و شرایط مرزی، تحلیل رفتار خودرو در ازای برخورد از جلو با مانع تخت با سرعت ۴۸ کیلومتر بر ساعت، با استفاده از نرم‌افزار المان محدود غیرخطی دینامیکی صریح PAM-CRASH 2000 انجام گرفته و برای مشاهده نتایج، از نرم‌افزار Hyper view استفاده شده است. شکل (۴)، تغییر شکل کلی بدنه خودرو را در لحظات کوتاهی پس از برخورد نشان می‌دهد.



(الف)

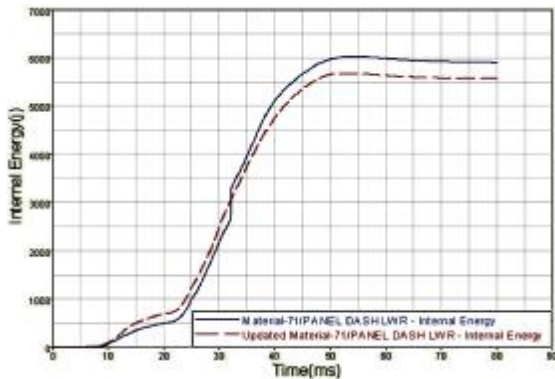


(ب)

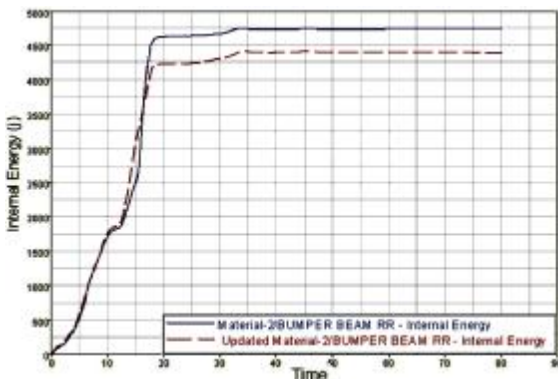
شکل ۴: شکل خودرو در لحظه: (الف) ۱۵ میلی ثانیه و (ب) ۶۰ میلی ثانیه پس از برخورد.

تغییرات زمانی انرژی کرنشی، انرژی جنبشی و انرژی کل در شکل (۵) نشان داده شده‌اند. خطوط عمودی که با start و end مشخص شده‌اند، متناظر با زمان‌های ۵ و ۵۰ میلی ثانیه است. در زمان‌های کمتر از ۵ میلی ثانیه، افت انرژی جنبشی ناشی از تلف شدن انرژی در محل تماس تایلر و جاده است که حدود ۱/۲ درصد از انرژی جنبشی را تشکیل می‌دهد. بعد از ۵ میلی ثانیه، برخورد اصلی خودرو با دیوار آغاز شده و بعد از زمان ۵۰ میلی ثانیه از آغاز برخورد رو به اتمام می‌گذارد.

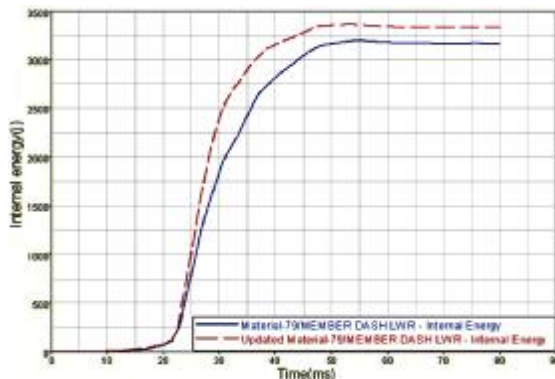
مقایسه مقادیر جذب انرژی ورق داشبورد در شکل (۱۱)، مشاهده می‌شود که میزان جذب انرژی پس از تغییر ضخامت، ۵ درصد افزایش داشته است. همچنین، بنا بر شکل (۱۲)، انرژی جذب شده توسط قاب شاسی پس از تغییر ضخامت، به میزان ۲/۲ درصد کاهش یافته است.



شکل ۹: مقایسه جذب انرژی ورق زیر داشبورد، پیش و پس از افزایش ضخامت.



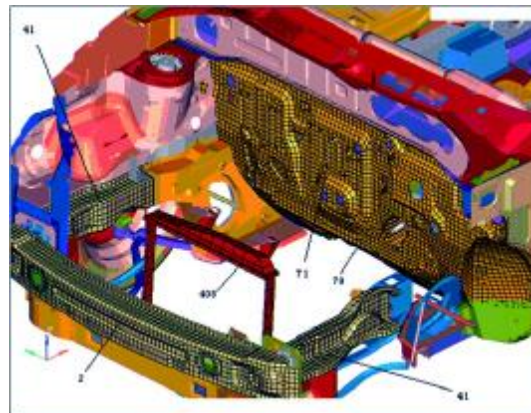
شکل ۱۰: مقایسه میزان جذب انرژی قطعه پشتی سپر، پیش و پس از افزایش ضخامت.



شکل ۱۱: مقایسه میزان جذب انرژی ورق داشبورد قبل و پس از تغییر ضخامت.

از سوی دیگر، بر اساس استاندارد ECE12 میزان نفوذ ستون فرمان به داخل اتاقک سرنشین در دو راستای قائم و

با توجه به اینکه وجود جسم صلب موتور، اجازه تغییر شکل پلاستیک زیاد به اجزای درون محفظه موتور را نمی‌دهد، از بین اجزایی که در شکل (۸) نشان داده شده‌اند، دیواره داشبورد بیشترین سهم را در جذب انرژی دارد. در برخی مراجع، به دلیل در نظر نگرفتن حجم موتور در تحلیل برخورد (تنها مدل‌سازی با جرم متمرکز)، نتایج غیر دقیقی به دست آمده است [۶]. از بین اجزای شکل (۸)، آنهایی که انرژی بیشتری نسبت به بقیه جذب کرده‌اند را انتخاب کرده و ضخامت آنها را افزایش می‌دهیم. مقدار ضخامت ورق اجزاء یادشده، پیش و پس از تغییر، در جدول (۲) آورده شده است.



شکل ۸: اجزایی که بیشترین سهم را در جذب انرژی برخورد داشته‌اند.

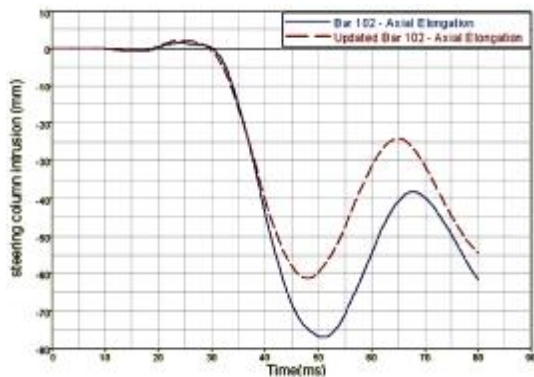
بعد از تغییر ضخامت، به بررسی تغییر میزان جذب انرژی می‌پردازیم. شکل (۹) مقایسه جذب انرژی را برای ورق زیر داشبورد نشان می‌دهد. همان طور که از شکل (۹) مشاهده می‌شود، میزان جذب انرژی ورق یادشده، به میزان ۵/۷ درصد کاهش یافته است. به عبارت دیگر افزایش ضخامت، باعث کاهش جذب انرژی ورق شده است.

جدول ۲: قطعاتی که ضخامت آنها تغییر یافته است.

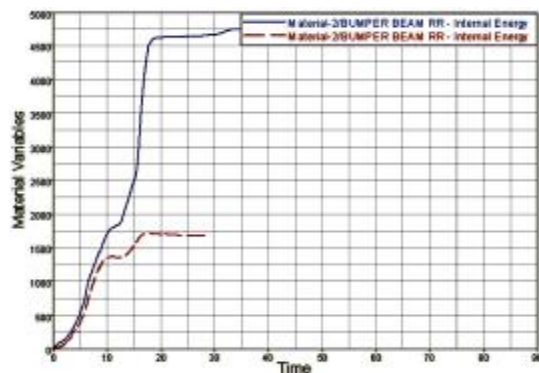
نام قطعه	جرم (kg)	ضخامت اولیه (mm)	ضخامت نهایی (mm)
ورق زیر داشبورد	۱۰۶۸۸۳	۰/۹	۱/۲
ورق پشتی سپر	۲۶۲۳۲۲	۱/۲	۱/۵
ورق داشبورد	۳۴۷۰۴۷	۱/۵	۲
تیر طولی	۱/۵۷۰۳۲	۱/۵	۲
قاب رادیاتور	۲/۵۸۶۹۸	۱	۱/۲

شکل (۱۰) آشکار می‌کند که افزایش قطعه پشتی سپر، باعث کاهش جذب انرژی به میزان ۶/۸ درصد شده است. از

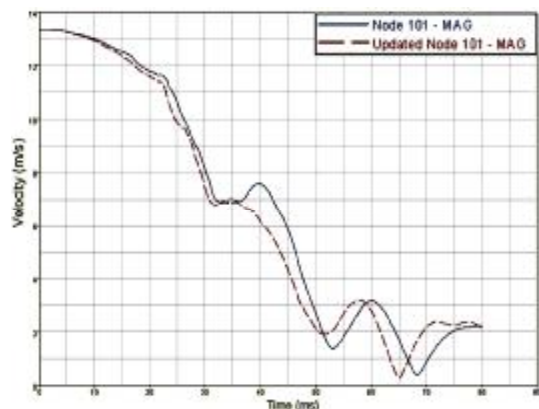
تاریخچه تغییرات سرعت و شتاب در محل نصب صندلی راننده در دو خودروی دارای سپر فلزی و سپر کامپوزیتی به ترتیب در شکل‌های (۱۶) و (۱۷) مقایسه شده‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقدار بیشینه سرعت و شتاب در محل نصب صندلی راننده، در خودروی دارای سپر کامپوزیتی زودتر روی می‌دهد.



شکل ۱۴: مقایسه میزان نفوذ ستون فرمان به اتاقک سرنشین در راستای قائم

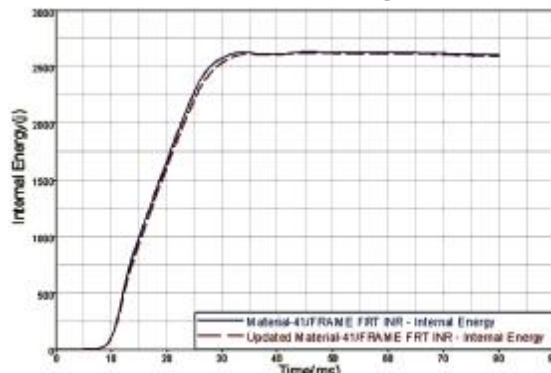


شکل ۱۵: مقایسه جذب انرژی برخورد برای مجموعه سپر فلزی و مجموعه سپر کامپوزیتی.

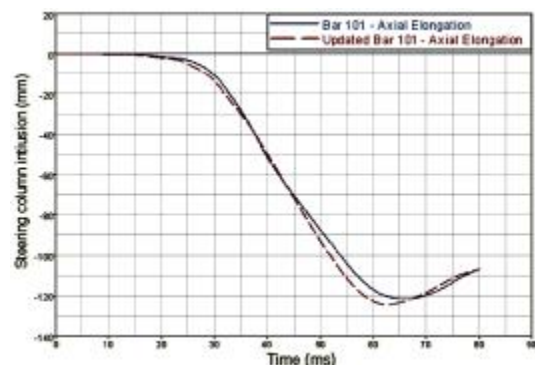


شکل ۱۶: مقایسه سرعت محل نصب صندلی راننده برای دو خودروی دارای سپر فلزی و سپر کامپوزیتی.

افقی، نباید از ۱۲۷ میلی‌متر تجاوز کند. با تغییر ضخامت اجزاء، بهبود نسبی در این مورد احساس می‌شود. شکل‌های (۱۳) و (۱۴) مقایسه میزان نفوذ ستون فرمان به اتاقک سرنشین را قبل و بعد از تغییر ضخامت‌ها نشان می‌دهد. در گام بعدی، برای بررسی میزان تأثیر جایگزینی سپر فلزی با سپر کامپوزیتی و جلوگیری از تداخل آثار، مدل کامل خودرو را با مشخصات اولیه، یک بار با سپر فلزی و یک بار با سپر کامپوزیتی تحلیل می‌کنیم. چون سپر اولین جزء بدنه است که به مانع برخورد می‌کند، پس از ۳۰ میلی‌ثانیه جذب انرژی آن ثابت خواهد شد و در لحظات بعد، اجزای بعدی جذب انرژی برخورد را ادامه می‌دهند. از این رو، برای بررسی تأثیر جایگزینی مواد سپر، تحلیل به مدت ۳۰ میلی‌ثانیه انجام شده است. میزان انرژی جذب شده توسط دو مجموعه سپر فلزی و سپر کامپوزیتی، در شکل (۱۵) برای زمان‌های مختلف مقایسه شده است. شکل (۱۵) نشان می‌دهد که جذب انرژی مجموعه سپر کامپوزیتی با اختلاف زیادی نسبت به مجموعه سپر فلزی کاهش یافته است که این موضوع می‌تواند ناشی از این باشد که مواد کامپوزیت به حالت پلاستیک نمی‌رسند.



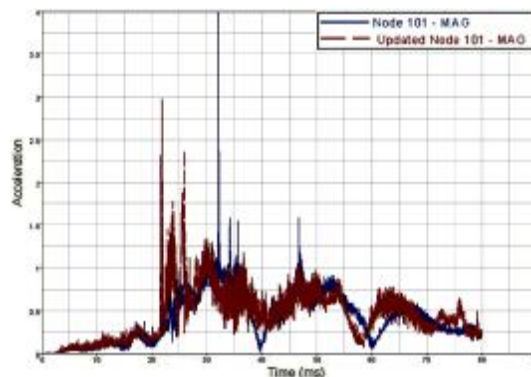
شکل ۱۲: مقایسه میزان انرژی جذب شده تیر طولی (قاب) جلو قبل و بعد از تغییر ضخامت.



شکل ۱۳: مقایسه میزان نفوذ ستون فرمان به اتاقک سرنشین در راستای افقی.

میزان جذب انرژی برخی ورق‌های دارای سطح قابل توجه، مانند دیواره آتش، با افزایش ضخامت جذب انرژی آنها افت داشته است، ولی درباره دیواره آتش، افزایش جذب انرژی مطلوب نیست. قطعاتی مانند تیرهای طولی زیر موتور باید نقش بیشتری در جذب انرژی ایفا کنند که این مطلب تنها با ضخامت و جنس قطعه تأمین نشده است، بلکه به محل نصب و طول آنها نیز وابسته بوده و در برخی موارد، مستلزم تغییر شکل مقطع یا استفاده از چین‌های هدایتگر تغییر شکل، در طول تیرهای یاد شده، است. هر چند که قطعات درون محفظه موتور، مانند تیرهای طولی زیر موتور، می‌توانند نقش بیشتری را در جذب انرژی برخورد بر عهده داشته باشند، به دلیل وجود موتور صلب، میزان تغییر شکل جذب انرژی تیر طولی، قبل و بعد از تغییر ضخامت آشکار نمی‌شود. در حالت کلی می‌توان این گونه نتیجه‌گیری کرد که با بهینه‌سازی فرم هندسی، ضخامت و مواد قطعات فداشونده و در صورت امکان نصب قطعات در محل‌های مناسب‌تر، رفتار خودرو در برخورد، قابل بهسازی است. همان‌گونه که از نمودارها مشاهده می‌شود، قطعاتی که بیشترین سهم را در جذب انرژی دارند، اجزای ورقی هستند؛ مانند سپر، محفظه گلگیر و دیواره آتش. همچنین مشخص شد که استفاده از سپر کامپوزیتی بر پایه ملاحظات گوناگونی که ایمنی در سرعت‌های اندک یکی از آنها است، انجام می‌گیرد.

از نتایج به دست آمده بر می‌آید که جایگزینی سپر فلزی با سپر کامپوزیتی برای سرعت‌های اندک که تغییر شکل سپر به نسبت الاستیک است، سودمندتر بوده و در این جایگزینی، تنها معیار ایمنی مطرح نبوده، بلکه عوامل متعددی مانند شکل‌پذیری، تعمیر و نگهداری، هزینه، شرایط نصب و مواردی دیگر نیز در آن دخیل است.



شکل ۱۷: مقایسه شتاب محل نصب صندلی راننده برای دو خودروی دارای سپر فلزی و دارای سپر کامپوزیتی.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، تحلیل برخورد از جلوی مدل یک خودروی کامل انجام شد. از جمله دستاوردهای مقاله، شناسایی اجزای دارای اهمیت بیشتر برای انتخاب در پژوهش‌های آتی بهینه‌سازی است. نتایج به دست آمده، بهبودی نسبی را در جذب انرژی در ازای تغییر ضخامت اجزای دارای نقش بیشتر در جذب انرژی، آشکار می‌کنند.

مراجع

- 1- Kirkpatrick, S. W. (2000). "Development and validation of high fidelity vehicle crash simulation models." *SAE Tech. Paper Series*, paper No.2000-01-0627.
- 2- Cheng, Z. Q., Thacker, J. G., Pilkey, W. D., Hollowell, W. T., Reagan, S. W. and Sieveka, E. M. (2001). "Experiences in reverse-engineering of a Finite element automobile crash model." *Finite Elem. Analysis Des.*, Vol. 37, PP. 843-860.
- 3- Bathe, K. J. (2007). *Finite Element Procedures*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- 4- Pickett, A. K., Pyttel, T., Payen, F., Lauro, F., Petrinic, N., Werner, H. and Christlein, J. (2004). "Failure prediction for advanced crashworthiness of transportation vehicles." *Int. J. Impact Eng.*, Vol. 30, PP. 853-872.
- 5 - Sharpe, N., Vendrig, R. and Houtzager, K. (2004). "Improved design for frontal protection." *MADYMO*, paper No.329.
- 6 - Fang, H., Rais-Rohani, M., Liu, Z. and Horsetemeyer, M. F. (2005). "A comparative study of metamodeling method for multiobjective crashworthiness optimization." *Comput. Struct.*, Vol. 83, PP. 2121-21-36.

- 7 - Zhang, X. Y., Jin, X. N., Qi, W. G. and Guo, Y. Z. (2007). "Vehicle crash accident reconstruction based on the analysis 3D deformation of the autobody." *Advances Eng. software*, Vol. 39, No. 6, PP. 459-465.
- 8 - Huh, H. and Kang, W. J. (2002). "Crashworthiness assessment of thin-walled structures with the high-strength steel sheet." *Int. J. of Vehicle Des.*, Vol. 30, No.1/2, PP. 1-21
- 9 - Abramowicz, W. (2003). "Thin-Walled structures as impact energy absorbers." *Thin-Wall. Struct.*, Vol. 41, PP. 91-107.
- 10 - Karagiozova, D. and Jones, N. (2004). "Dynamic buckling of elastic-plastic square tubes—II: structural response under axial impact." *Int. J. Impact Eng.*, Vol. 30, PP. 167-192.
- 11 - Wei, Z. G., Yu, J. L. and Batra, R. C. (2005). "Dynamic buckling of thin cylindrical shells under axial impact." *Int. J. Impact Eng.*, Vol. 32, PP. 575-592.
- 12 - Hosseinzadeh, R., Shokrieh, M. M. and Lessard, L. B. (2005). "Parametric study of automotive composite bumper beams in low-velocity impacts." *Compos. Struct.*, Vol. 68, PP. 419-425.
- 13 - *PAM-Crash solver-notes manual*, ESI Company, 2000.
- 14 - Shariyat, M. (2007). *Automotive body: Design and analysis*. K.N. Tossi University of Technology.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1- Glass mat thermoplastic