به‌کارگیری پنل‌های چندلایه فلزی- کامپوزیتی در سازه و بدنه خودرو به‌منظور افزایش ایمنی عابرپیاده

جواد مرزبان‌راد[1]
حمیدرضا خلیلی[2]

تاریخ دریافت : ۱۳۸۹/۰۴/۲۱
تاریخ پذیرش : ۱۳۸۹/۰۵/۰۹

چکیده

در بیشتر کشورهای اتحادیه اروپا، تعداد تلفات جاده‌ای در طول بیست سال اخیر کاهش یافته است. طراحی خودرو و روش‌های تکنیکی جدید در مورد ایمنی، موجب جلوگیری از تصادفات شده و همچنین رفتار راننده و عابرپیاده و سرویس فوری اورژانس و اعمال قوانین ترافیکی، همه و همه به این موضوع کمک کرده است. اخیراً فعالیت‌های زیادی در اتحادیه اروپا برای افزایش ایمنی عابرپیاده به عمل آمده است. بدین منظور کمیته اروپایی رسیدگی به ایمنی خودرو تشکیل و مطالعات مختلفی در مورد ایمنی عابرپیاده انجام شد. وظیفه این گروه تعیین روش‌های آزمون و حدنصاب مورد قبول است که خودروها در هنگام تصادف با عابرپیاده باید به آن برسند. براساس این تحقیقات روش‌های آزمون و قوانین برای حفاظت از عابرپیاده در برخورد از جلو تعیین شد.

بررسی آمار تصادف در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که بیشتر تصادفات منجر به مرگ عابرپیاده مربوط به برخورد سر به قسمت جلوی خودرو است که یکی از روش‌های جدید کاهش صدمات، تغییر جنس سازه و بدنه خودرو و جایگزین‌کردن پنل یک‌پارچه فلزی با پنل‌های چندلایه کامپوزیتی- فلزی مخصوصاً در قسمت درب موتور است. این امر باعث می‌شود میزان شتاب وارد بر سر عابرپیاده به میزان قابل توجهی کاهش یافته و در نتیجه از میزان مرگ ناشی از تصادفات کاسته شود. به‌کارگیری پنل‌های چندلایه در سازه و بدنه خودرو، مزیت‌های دیگری همچون افزایش جذب انرژی تصادف در این نوع پنل و کاهش صدمه به سرنشین خودرو و کاهش وزن و مصرف سوخت خودرو را به همراه دارد. در این مقاله چگونگی به‌کارگیری پنل‌های چندلایه کامپوزیتی- فلزی در سازه و بدنه خودرو را مورد بررسی قرار داده و مزیت‌های به‌کارگیری آنها را بیان می داریم.

کلیدواژه‌ها: *پنل‌های چندلایه کامپوزیتی- فلزی، کاهش صدمات تصادف، کاهش مصرف سوخت خودرو و جذب انرژی تصادف.*

[1] استادیار دانشکده مهندسی خودرو دانشگاه علم و صنعت ایران، marzban@iust.ac.ir
[2] کارشناسی ارشد مهندسی خودرو، مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا، hkhalili1999@gmail.com

مقدمه

در اتحادیه اروپا بیش از ۷۰۰۰عابرپیاده و۲۰۰۰ دوچرخه‌سوار در هر سال در تصادفات جاده‌ای کشته می‌شوند و چندصد هزار نفر نیز مجروح می‌شوند. در فرانسه تلفات عابران پیاده برای هر ۱۰۰تصادف جاده‌ای مرگ‌بار ۱۲ نفر و در انگلستان ۳۲نفر می‌باشد[۳]. تعداد زیادی از این عابران یا دوچرخه‌سواران با قسمت جلوی خودرو برخورد می‌کنند. بدین منظور کمیته اروپایی رسیدگی به ایمنی خودرو[1] تشکیل گردید و مطالعات مختلفی در مورد ایمنی عابرپیاده انجام داد. براساس این تحقیقات، پیشنهادهای مختلفی برای سازه جلوی خودرو ارائه شد و هم‌چنین روش‌های آزمون و قوانین برای حفاظت از عابرپیاده در برخورد از جلو تعیین گردید.

این تلاش‌ها موجب شد که سازه جلوی خودرو به گونه‌ای طراحی شود که بتواند ایمنی عابرپیاده را در هنگام برخورد حفظ کند. این آزمون‌ها شامل دو مرحله می‌باشد: یکی آزمون برخورد مدل سرکودک و بزرگسال به درب موتور و دیگر آزمون برخورد مدل پا به سپر جلو که در شکل یک چگونگی این آزمون‌ها آورده شده است.

شکل یک: چگونگی انجام آزمون های مرحله اول و دوم

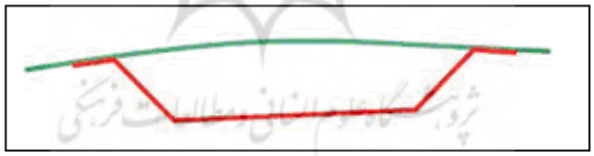
معیار آسیب به سر با HPC نشان داده می‌شود و در مرحله اول درب موتور فقط با یک نوع شکل سر عابرپیاده آزمون می‌شود. این شکل سر نشان‌دهنده سر یک بچه یا یک بزرگسال با جرم ۳/۵ کیلوگرم است. آزمون در سرعت ۳۵ کیلومتر بر ساعت انجام

[1] European Enhanced Vehicle-Safety Committee

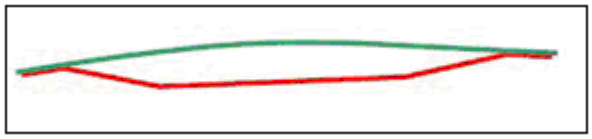
می‌شود که در این تست معیار HPC در ۲/۳سطح برخورد نباید از ۱۰۰۰ تجاوز کند[۴].

در مرحله دوم، دو نوع مختلف شکل سر تعریف می‌شود. یکی از شکل‌های سر نشان‌دهنده سر کودک با جرم ۲/۵ کیلوگرم و دیگری نشانگر سر بزرگسال با جرم ۴/۸ کیلوگرم می‌باشد.

دو روش مختلف آزمون در نواحی مختلف مورد امتحان قرار می‌گیرد. سرعت برخورد هر دو شکل سر ۴۰ کیلومتر بر ساعت است و معیار HPC نباید از ۱۰۰۰ تجاوز کند. در آزمون شکل سر، دو موضوع اساسیباید مورد توجه قرار گیرد: یکی سختی ساختار مورد برخورد، درب موتور یا لبه‌های درب موتور و دوم فضای خالی زیردرب موتور تا اجزا صلب داخل محفظه موتور. تغییر شکل درب موتور باید با توجه به سطح خارجی و اجزای تقویتی آن مورد توجه قرار گیرد. با اضافه کردن فضاهای خالی بین دو سطح درب موتور می‌توان سختی کلی درب موتور را بهبود داد. ساختار زیرین درب موتور باید انعطاف‌پذیر و شکل‌پذیرتر ساخته شود. یک روش برای دست‌یابی به این مورد، تغییر در سطح مقطع تیرهای تقویتی است که در شکل دو و سه مدل اصلاحی درب موتور آورده شده است[۵].



شکل دو: تقویتی کنونی درب موتور



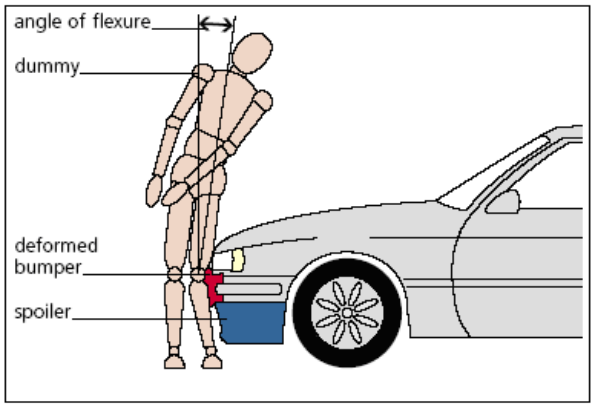
شکل سه: تقویتی پیشنهادی درب موتور

براساس این مطالعات چندین پیشنهاد ارائه شد که می‌توان به فضای لازم زیردرب موتور تا قسمت‌های صلب داخلی و همچنین فاصله بین پوسته سپر و سپر آلومینیومی

اشاره کرد. به‌خاطر این‌که لولاهای درب موتور ایجاد سختی موضعی می‌کنند باید لولاها را از نقاطی که محل برخورد سر به آنجاست، حذف کرد. بنابراین این کار نیاز به تغییر طراحی دارد که معمولاً لولاها را به نزدیکی‌های ستون جلو انتقال می‌دهند. بعد از انجام چندین آزمون روی شکل سرکودک روی درب موتوری که پوسته خارجی آن آهنی بود. با قراردادن لایه‌ای از فوم PVC بین پوسته خارجی و داخلی درب موتور میزان HPC کمتر از ۱۰۰۰ می‌شود که در شکل چهار نقاط برخورد درنظرگرفته بر روی درب موتور در آزمون ایمنی عابرپیاده آورده شده است.

شکل چهار: نقاط برخورد سر عابرپیاده به درب موتور در آزمون ایمنی

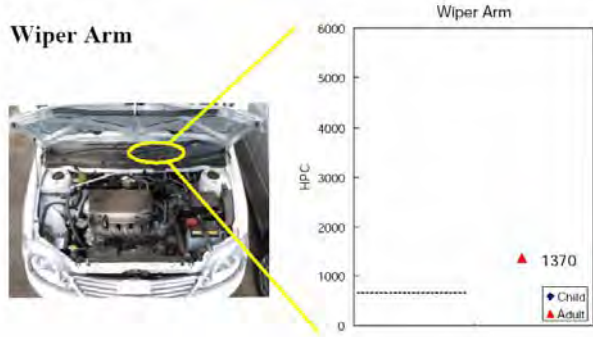
نکته قابل تأمل در این آزمون‌ها میزان ارتفاع مجاز سپر می باشد. ارتفاع استاندارد سپر ۴۴۵ میلی متر از سطح زمین می باشد در شکل پنج ارتفاع مجاز سپر آورده شده است که با استفاده از پوسته سپر از جنس پلی پروپیلن می توان به یک همگونی مناسب بین سپر و لبه جلویی درب موتور رسید[۶].



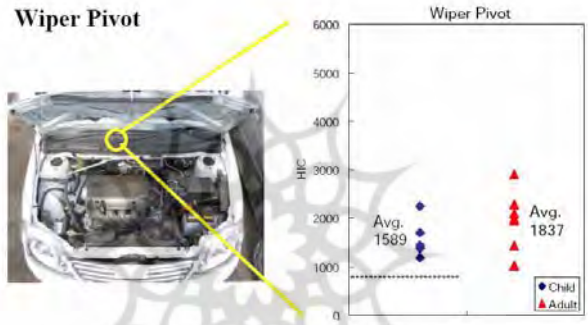
شکل پنج: میزان ارتفاع مجاز سپر در آزمون ایمنی عابر پیاده

برای دست‌یابی به فضای تغییرشکل کافی برای جذب انرژی بیشتر توسط درب موتور از مکانیزم بالاآورنده درب موتور استفاده می‌شود. این مکانیزم در هنگام تصادف توسط سنسورهای حساس به ضربه عمل می‌کند و درب موتور در ناحیه انتهایی درب موتور نزدیک شیشه جلو به اندازه ۸۰ میلی‌متر بالا می‌آید که با استفاده از این مکانیزم در اکثر نقاط معیار HPC به زیر ۱۰۰۰ نزول می‌کند. همچنین سپر جلو به اندازه ۲۰میلی‌متر جلو آورده می‌شود تا هم جا برای جذب انرژی موجود باشد و هم این‌که بتواند از هسته فوم مانند، بین پوسته سپر و عضو عرضی استفاده کرد. و نکته دیگری که در این تحقیقات بیان شد این است که چون شکل سر کودک ۲/۵کیلوگرم وزن دارد، درب موتور باید سختی کمی و در نتیجه ضخامت کمی داشته باشد اما به این نکته باید توجه کنیم که درب موتور از نظر سازه‌ای استحکام لازم را داشته باشد. مخصوصاً در هنگام واردشدن نیروهای آیرودینامیک تغییرشکل پیدا نکند. همچنین در نواحی لولاها تغییر شکل پلاستیک به‌وجود نیاید و برای محافظت از سر عابرپیاده هنگام برخورد با دسته برف پاک‌کن باید دسته برف پاک‌کن را به گونه‌ای ساخت که در اثر برخورد انرژی جذب کند یا روش بهتر این‌که مجموعه برف پاک‌کن را در ناحیه‌ای پایین‌تر از درب موتور تعبیه نمود تا در هنگام برخورد عابرپیاده درب موتور ابتدا کمی جذب انرژی کند و از اصابت مستقیم سر عابرپیاده به مجموعه برف پاک‌کن جلوگیری شود. برف پاک‌کن وقتی‌که خودرو در باران شدید یا هوای سرد برفی حرکت می‌کند نیاز به نگهدارنده‌های قوی دارد تا عمل خود را به‌درستی انجام دهد، بنابراین برای حل

این مشکل می‌توان از نگهدارنده‌های برف پاک‌کن شکننده استفاده کرد که در ادامه چند نمونه آزمون و به همراه میزان HPC آورده شده است[۸].

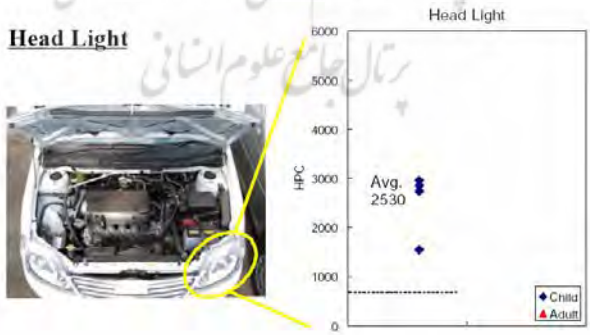


شکل شش: نتایج آزمون مدل سر برای دسته برف پاکن [۸]

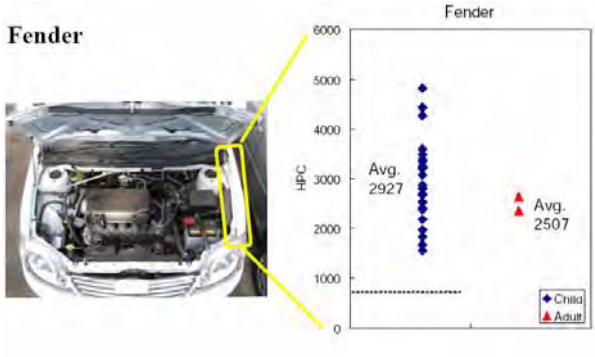


شکل هفت: نتایج آزمون مدل سر برای توپی برف پاکن [۸]

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

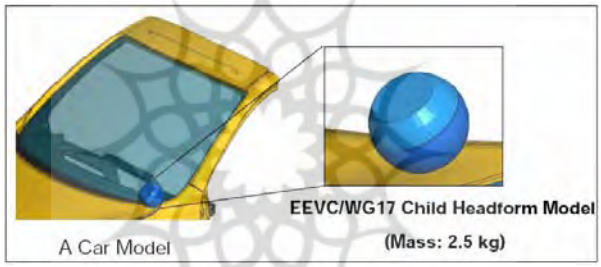


شکل هشت: نتایج آزمون مدل سر برای چراغ های جلو[۸]

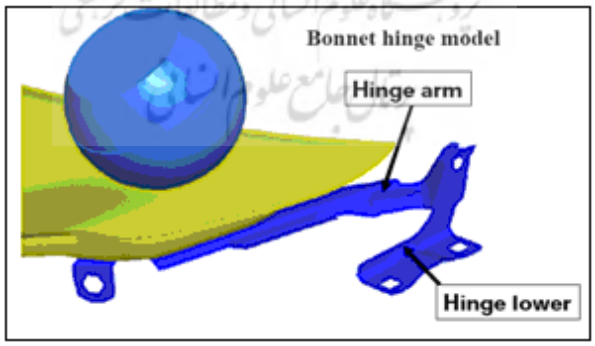


شکل نه: نتایج آزمون مدل سر برای گلگیر[۸]

با توجه به هزینه بالای تست‌های عملی می‌توان از شبیه‌سازی رایانه‌ای برای تست ایمنی خودرو استفاده کرد که در شکل ده و یازده نمونه‌ای از این شبیه‌سازی‌ها آورده شده است[۹].



شکل ده: شبیه‌سازی رایانه‌ای مدل سر کودک و مدل خودرو[۹]



شکل یازده: شبیه سازی رایانه‌ای مدل سر و لولای درب موتور[۹]

به‌کارگیری پنل‌های چندلایه در سازه و بدنه خودرو

یکی از روش‌های جدید کاهش صدمات عابر پیاده، تغییر جنس سازه و بدنه خودرو و جایگزین‌کردن پنل یک‌پارچه فلزی با پنل‌های چندلایه کامپوزیتی- فلزی مخصوصاً در قسمت درب موتور می‌باشد. این امر باعث می‌شود میزان شتاب وارد بر سر عابرپیاده به میزان قابل توجهی کاهش یافته و میزان مرگ ناشی از تصادفات کاهش یابد. در ادامه تاریخچه‌ای از پیدایش پنل‌های چندلایه و به‌کارگیری آنها در سازه و بدنه خودرو آورده شده است[۷].

مرکز تحقیقات واحد توسعه و فناوری کاربردی خودرو[1] در کشور هلند بر روی پنل‌های ساندویچی تحقیقات گسترده‌ای شروع کرده است. همچنین تست ضربه دینامیکی[2] (DIT) روی پنل خودرو در مرکز تحقیقات Corus توسعه یافت[۸].

تست ضربه مکانیکی برای اندازه‌گیری مقاومت به فرورفتگی[3] پنل‌های خارجی بدنه خودرو در برابر اجسامی که با سرعت زیاد به سمت پنل خودرو پرتاب می‌شوند به‌کار می‌رود. تجهیزات این مرکز شامل یک تفنگ بادی است که پرتابه را به سمت پنل با سرعت بین ۲۰۰-۴۰ کیلومتر بر ساعت شلیک می‌کند. مطابق شکل دوازده، سنسورهای اندازه‌گیری میزان ضربه و سرعت برگشت پرتابه و همچنین دستگاه اندازه‌گیری سه بعدی شکل فرورفتگی و عمق فرورفتگی است.

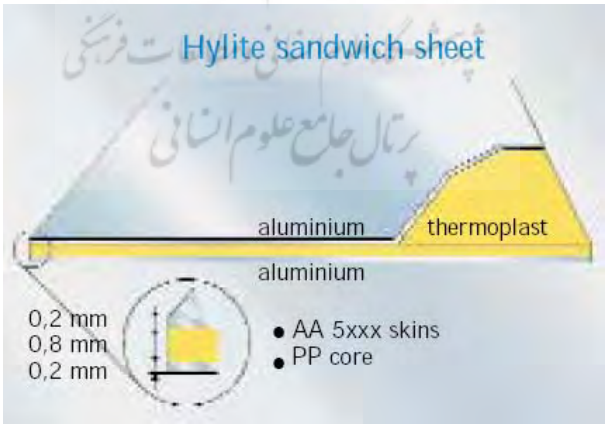
مرکز تحقیقات Corus اثر نوع و خواص ماده شامل (فولاد، آلومینیم، مواد مرکب و ساندویچی) و تأثیر ضخامت و هندسه محصول نهایی بر مقاومت به فرورفتگی آن را بررسی می‌کند که این تحقیقات اطلاعات مفیدی به خودروسازان برای انتخاب نوع ماده به‌کاررفته در بدنه خودرو ارائه می‌دهد. به‌عنوان مثال، این مرکز با انجام تحقیقاتی بر روی تاثیر ضخامت و تنش تسلیم پنل بر مقاومت به فرورفتگی آن انجام داد به این نتیجه رسید که با افزایش ضخامت و تنش تسلیم پنل میزان عمق فرورفتگی کاهش و مقاومت به فرورفتگی افزایش می‌یابد.

[1] Corus
[2] Dynamic Impact Test
[3] Dent Resistance

همچنین نتایج عملی تست ضربه دینامیکی برای صحه‌گذاری، تائید اعتبار و توسعه مدل‌های شبیه‌سازی اجزای محدود برای پیشگویی مقاومت به فرورفتگی دینامیکی پنل خودرو به‌کار می‌رود.

شکل دوازده: تفنگ بادی برای آزمون ضربه دینامیکی پنل خودرو

پروژه اخیر مرکز تحقیقات Corus طراحی و ساخت ورق‌های ساندویچی سبک سه‌لایه از جنس آلومینیوم- پلی پروپیلن (Al/Polypropylene/Al) است که این پنل با نام تجاری Hylite به ثبت رسیده است و در شکل سیزده نمونه‌ای از این پنل آورده شده است.



شکل سیزده: پنل خودرو ساخته شده در مرکز corus

به گفته این مرکز، ساخت پنل‌های خودرو با این پنل علاوه بر داشتن مقاومت و استحکام کافی موجب کاهش محسوس وزن می‌شود به‌طوری‌که در مقایسه با فولاد موجب ۶۵درصد کاهش وزن و در مقایسه با آلومینیوم ۳۰درصد موجب کاهش وزن می‌شود. در شکل چهارده، خودروی ساخته‌شده از پنل Hylite آورده شده است.

شکل چهارده: خودروی ساخته‌شده توسط پنل ساندویچی با مزیت ۶۵درصد کاهش وزن بدنه

ضخامت پنل Hylite، ۱/۲میلی‌متر است که از دو لایه خارجی آلومینیم به ضخامت ۰/۲میلی‌متر و هسته ۰/۸میلی‌متری پلی‌پروپیلن تشکیل شده است. این مرکز برای تائید کیفیت این پنل تست‌های زیر را انجام داده است:

مقاومت به فرورفتگی استاتیکی و دینامیکی؛

سختی پنل؛

کنترل کیفیت سطح پنل؛

قابلیت تعمیر و نگهداری؛

قابلیت کاهش ارتعاش، لرزش و صدا؛

میزان فرسایش و خوردگی.

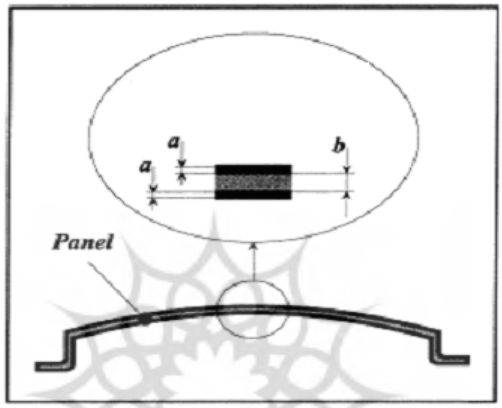
با انجام این تست‌ها قابلیت‌های ارزشمند پنل Hylite و مزیت‌های به‌کارگیری آن در پنل خودرو مشخص شد.

اصنافی[1] و همکارانش [۱۱] از اولین کسانی بودند که استفاده از ورق‌های چندلایه ساندویچی فلز– کامپوزیت– فلز[1] را درصنعت خودرو با مزیت کاهش وزن

[1] Asnafi

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

محسوس پیشنهاد دادند. آنها یک پنل سه‌لایه فلز– کامپوزیت– فلز که ضخامت لایه‌های فلز ۰/۲ میلی‌متر و از جنس فولاد و ضخامت لایه کامپوزیت حدود ۰/۶میلی‌متر و از جنس Glass/Epoxy بود را با ورق‌های یک‌لایه آلومینیوم به ضخامت ۱میلی‌متر، فولاد کربنی به ضخامت ۰/۸میلی‌متر و فولاد زنگ نزن به ضخامت ۰/۸میلی‌متر مقایسه کردند و به خواص قابل‌قبول پنل MCM از جمله مقاومت به فرورفتگی و ضربه‌پذیری، پی بردند. در شکل پانزده نمونه‌ای از این پنل آورده شده است.



شکل پانزده: شماتیک پنل ساندویچی سه لایه با ضخامت فلز a و ضخامت کامپوزیت b

در مقایسه این پنل‌ها اگر چه سختی پنل MCM اندکی کمتر از پنل آلومینیومی بود ولی این پنل خواص مقاومت به فرورفتگی و ضربه‌پذیری بهتری نسبت به سه پنل دیگر از خود نشان داد. ازمزیت‌های دیگر پنل MCM کاهش ۶۰درصد وزن در مقایسه با ورق‌های فولادی است.

سبک‌سازی خودروها

با توجه به سیاست‌گذاری جدید کشورهای توسعه‌یافته به‌منظور کاهش مصرف سوخت و به دنبال آن کاهش وزن خودرو، تحقیق در زمینه سازه‌های ساندویچی سبک‌وزن بسیار مورد توجه کمپانی‌های خودروسازی واقع شده است به‌گونه‌ای که یکی از برنامه‌های اصلی و کلیدی آنها جهت دسترسی به میزان مصرف سوخت

[1] Metal- Composite- Metal

هدف‌گذاری‌شده (۳ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر)، استفاده و توسعه کاربرد مواد سبک‌وزن در خودروها است. برای دسترسی به خودروهایی با این میزان مصرف سوخت علاوه بر فعالیت‌هایی که در بهینه‌سازی موتور و طراحی و همچنین کاهش اتلاف انرژی انجام می‌شود، وزن کل خودرو نیز بایستی حدوداً ۴۰درصد کاهش یابد تا دسترسی به هدف تعیین‌شده امکان‌پذیر گردد. برای رسیدن به هدف مذکور، برنامهٔ کاهش وزن اجزای مختلف خودرو با توجه به خودرویی که هم‌اکنون تولید می‌شود در جدول یک ارائه شده است:

جدول یک: برنامه کاهش وزن اجزای مختلف خودروهای آیندهٔ

سیستم	وزن در خودروهای تولیدی (kg)	وزن در خودروهای آینده(kg)	درصد کاهش وزن
بدنه	۵۱۴/۴	۲۵۶/۷	۵۰
شاسی	۴۹۹/۴	۲۴۹/۵	۵۰
موتور	۳۹۳/۷	۳۵۴/۳	۱۰
سوخت	۶۲/۱	۲۸/۶	۵۵
وزن کل	۱۴۶۹/۶	۸۸۹/۱	۴۰

برای دسترسی به هدف فوق مواد مختلفی به عنوان جایگزین فولاد مطرح می‌باشند که عبارتند از: آلیاژهای آلومینیوم، کامپوزیت پایه پلیمری با الیاف شیشه، کامپوزیت پایه پلیمری با الیاف کربن، آلیاژهای منیزیم و آلیاژهای تیتانیم و فولادهای استحکام بالا. یکی از موانع اصلی در انتخاب مواد جایگزین، برآورده ساختن نیازمندی و قیمت تمام‌شده خودرو می‌باشد. از بین موارد فوق، فولاد استحکام بالا که توسط موسسهٔ آهن و فولاد آمریکا و شرکت‌های تولیدکننده فولاد معرفی شده است، می‌تواند حدود ۲۵درصد کاهش وزن را به همراه کاهش قیمت ارائه نماید. استفاده از ورق‌ها و مقاطع آلومینیومی نیز، کاهش وزن مطلوب را برآورده ساخته و لیکن به میزان کمی موجب افزایش قیمت می‌شود که این افزایش قیمت ناشی از قیمت بالای مواد اولیه به دلیل فرایندهای تولید موجود می‌باشد. استفاده از کامپوزیت پایه پلیمری با الیاف شیشه به جای فولاد نیز حدوداً ۳۰درصد کاهش وزن را ایجاد می‌نماید؛ و لیکن دارای مشکلات دیگری از قبیل ایمنی، پایداری تولید و بازیافت می‌باشد. استفاده از کامپوزیت پایه پلیمری با الیاف کربن موجب کاهش وزنی خیلی زیادی می‌گردد؛ ولیکن یکی از موانع اصلی و عمده در اعمال این جایگزین، قیمت تمام‌شده بسیار بالاتر آن در مقایسه

با سایر مواد می‌باشد. با توجه به مطالعات و بررسی‌های اعلام شده، استفاده از ورق‌ها و مقاطع آلومینیومی به جای فولاد برای تولید خودروها در حداقل یک دهه آینده مورد توجه قرار گرفته است. علت این انتخاب در مقایسه با سایر گزینه‌ها عبارتند از: امکان دسترسی به کاهش وزن تعیین‌شده، امکان دسترسی به قیمت پایین از طریق کاهش قیمت مواد اولیه، وجود اطلاعات جامعی از طراحی و ساخت قطعه از ورق‌های آلومینیومی، وجود شرکت‌های زیادی جهت تامین مواد اولیه و مواد نیمه‌ساخته، امکان استفاده از تجهیزات برشکاری موجود برای فولاد جهت تولید قطعات آلومینیومی بدون نیاز به اعمال تغییرات و اصلاحات، امکان بازیافت با درصد بالا و قیمت بالای مواد بازیافتی در مقایسه با سایر مواد. جایگزین بعدی مورد نظر، کامپوزیت پایه پلیمری با الیاف کربن می‌باشد. این ماده هنگامی می‌تواند به عنوان رقیب آلومینیوم مطرح شود که قیمت تولید الیاف کربن تقلیل یابد. با توجه به مطالعات و تحقیقاتی که در حال انجام می‌باشد این احتمال وجود دارد که در طی ۵ الی ۱۰ سال آینده این جایگزینی قابل اجرا گردد.

نتیجه‌گیری

بیشتر تصادفات منجر به مرگ عابر پیاده مربوط به برخورد سر به قسمت جلوی خودرو است که یکی از روش‌های جدید کاهش صدمات، تغییر جنس سازه و بدنه خودرو و جایگزین‌کردن پنل یک‌پارچه فلزی با پنل‌های چندلایه کامپوزیتی- فلزی مخصوصاً در قسمت درب موتور است. این امر باعث می‌شود میزان شتاب وارده بر سر عابرپیاده و در نتیجه میزان مرگ ناشی از تصادفات به نحو چشمگیری کاهش یابد. به‌کارگیری پنل‌های چندلایه در سازه و بدنه خودرو مزیت‌های دیگری، همچون افزایش جذب انرژی تصادف در این نوع پنل و کاهش صدمه به سرنشین خودرو و کاهش وزن و مصرف سوخت خودرو را به همراه دارد.

در گذشته آنچه در خودرو ارزش و اهمیت داشته، علاوه بر هزینه تولید سرعت، زیبایی بوده است. اما امروزه با توجه به مسائلی همچون هزینه‌های سنگین بیمه، جلوگیری از آلودگی محیط زیست و حفظ ذخایر انرژی، افزایش ایمنی سرنشین و عابر پیاده و کاهش مصرف سوخت در اولویت قرار گرفته است. به‌کارگیری پنل‌های

سبک چندلایه از جنس کامپوزیتی- فلزی می‌تواند دغدغه‌های پیش روی صنایع خودروسازی را مرتفع سازد.

منابع

[1] Asnafi, N. Langstedt, G. C. H. Andersson, N.O. stergren ,T. Hakansson,(2000), “A new lightweight metal-composite-metal panel for applications in the automotive and other industries ”, Journal of Thin-Walled Structures 36.

[2] Corus Research, (2002), “Dynamic dent test, Development & Technology Automotive Applications”, MEP/02.

[3] Davies R.G. and K.C. Clemo, (1997). "Study of Research into Pedestrian Protection Costs and Benefits" MIRA report no. 97-456502-01.

[4] European Experimental Vehicles Committee, (November 1982). "Pedestrian Injury Accidents"Presented to the 9th ESV Conference, Kyoto.

[5] European Experimental Vehicles Committee, (September 1984), "Cycle and Light-Powered Two-Wheeler Accidents" Presented at the 9th IRCOBI Conference, Delft.

[6] European Experimental Vehicles Committee, (July 1985), "Pedestrian Injury Protection by Car Design" Presented to the 10th ESV Conference, Oxford.

[7] Lawrence G.J.L. et al. (January 1991), "Development of a Bonnet Leading Edge Sub-SystemsTest to aAssess Protection for Pedestrians" TRRL report under Contract No. ETD/89/7750/M1/28 to the European Commission.

[8] Matsui Y. Wittek A. and Konosu A. (2002), “Comparison of Pedestrian Subsystem Safety Tests Using Impactors and Full-Scale Dummy Tests”, SAE Transactions Journal of Passenger Cars, Mechanical Systems Journal, Section 6 Vol. 111, pp. 1449-1464.

[9] M.H. Shojaeefar, M.S. Kiasat, A. Najibi." Simulation and Design of a Composite Hood Duo to Fulfill the Requirement of Pedestrian Safety Standard" Thesis in Automotive Engineering IUST university.