

بررسی لزوم توسعه مواد نوین و نقش آن بر پارامترهای زیستی و عملکردی خودرو

عباس معلمی اوره^{*۱}

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا، اصفهان، ایران

* اصفهان

چکیده

امروزه مهندسی مواد خیلی سریع در حال رشد است که سبب طراحی اجزاء جدید خودرو شده است. مواد نوین به دلایل الزامات محیطی، عوامل اقتصادی، بهبود عملکرد و جلب مشتری توسعه زیادی در صنعت خودرو داشته است. مواد مدرن شامل فولادهای استحکام بالا، کامپوزیت‌های فیبری، سرامیک‌های تخصصی، پلیمرهای مهندسی، آلیاژهای فلزی با دمای بالا و نانو مواد می‌باشد. این مواد برای اجزای مختلف بدنه، موتور، تامین سوخت، سیستم اگزوز، دستگاه‌های الکتریکی و الکترونیکی و دیگر اجزای خودرو مورد استفاده قرار می‌گیرد. طراح خودرو باید از این پیشرفت‌ها آگاه باشد و قادر بر این باشد که مواد درستی برای یک کاربرد مشخص انتخاب کند. در این مقاله به بررسی لزوم توسعه مواد نوین در صنعت خودرو پرداخته شده است. همچنین نقش این مواد بر پارامترهای زیست محیطی و عملکردی خودرو مورد ارزیابی قرار گرفته است.

کلیدواژگان

مواد نوین، بیوکامپوزیت، نانو مواد و خودرو

۱- مقدمه

ج) بهبود عملکرد: افزایش دوره گارانتی سبب بالا بردن تقاضا می‌شود؛ لذا مواد باید عملکرد بالایی داشته باشند. بالا بردن کارایی مواد توسط نانو پوشش‌ها، سبب بالا بردن طول عمر قطعات با کاهش سایش و خوردگی می‌شود. این امر موجب کم شدن هزینه‌های تعمیر و تعویض نیز می‌شود. بهبود عملکرد مواد مورد استفاده در خودرو همچنین، سبب افزایش ایمنی سرنشینان و عابر شده که خود عامل مهمی بر لزوم استفاده از مواد نوین می‌شود. به عنوان مثال تقویت تیر از طریق فیبرها و مواد نوین در کمر بند ایمنی سبب ایمنی بیشتر می‌گردد.

د) جلب مشتری: جلوه و تمیزی قطعات سبب جلب رضایتمندی مشتری می‌شود. نانو روکش‌های بکارگرفته شده بر رینگ و شیشه و ... خودرو موجب افزایش جلوه و ضد لک می‌شود. استفاده از کامپوزیت‌های پلیمری ضد الکتروسیسته ساکن داشبورد سبب دفع گرد و غبار بر روی آن می‌شود.

برای رسیدن به این پارامترها و اهداف مواد نوین متفاوتی بکار گرفته شده است. که برخی از این مواد نوین به شرح زیر می‌باشد.

۲- فولادهای استحکام بالای پیشرفته

وقتی در سال ۱۹۹۹ برای اولین بار در جهان اتومبیل‌سازان از فولادهای فوق سبک برای ساختار بدنه محصولات خود استفاده کردند این امر انقلابی در مصرف فولادهای پیشرفته استحکام بالا (AHSS) به وجود آورد که تا قبل از آن مشاهده نشده بود. در حال حاضر AHSS نه تنها مصرف روبه رشد ۴۰ درصدی در ساخت وسایل نقلیه کنونی دارد بلکه خودروسازان امروزه از استفاده آن به عنوان عاملی برجسته در تبلیغات محصولات خود به کار می‌برند. ساختار بدنه خودروی c-class سال ۲۰۰۸ شرکت مرسدس شامل ۷۰ درصد از آلیاژهای فولاد استحکام بالا است. بنابر گفته شرکت مرسدس، آنها حداکثر استحکام را با حداقل وزن عرضه کرده‌اند و بیشترین ایمنی ممکن را تامین کرده‌اند. یک پنجم ساختار بدنه از فولادهای پیشرفته استحکام بالا ساخته شده است. در این فولادها به یک دامنه نامحدود از استحکام تسلیم بالا دست یافته‌اند که نسبت به فولادهای معمولی پنج یا چهار برابر افزایش پیدا کرده و این امر استفاده از این فولادها را در مجموعه دقیق تجهیزات شرکت مرسدس همراه با رعایت مقاومت و ایمنی غیرقابل اجتناب کرده است.

توسعه مواد نوین در دهه‌های اخیر سبب روی آوری صنعت خودرو به آن شده است. معرفی مواد نوین یا مواد بهبود یافته و مواد جایگزین و تولید فرآیند آن بستگی به عوامل رضایت بخشی مختلفی دارد. فشارهای رقابتی و قانونی، بوجود آمدن نیازهای جدید بر این عوامل تأثیرگذار می‌باشد. خودروهای نوین نمونه‌ای از به کارگیری از مواد جدید می‌باشند. یک خودروی مدرن از ترکیب موادی همچون انواع فلزات، پلاستیک، لاستیک، سرامیک، کامپوزیت‌ها، مواد هوشمند و مواد کاربردی و نانو مواد در شکل‌ها و فرآیندهای مختلف، ساخته می‌شود و از طریق روش‌های گوناگون اتصال پیدا می‌کند [۱]. در یک خودروی نوین، تقریباً ۲۰٪ وزن و تقریباً ۵۰٪ حجم مواد، پلیمری می‌باشد که این مقدار در حال افزایش است. سازندگان خودرو باید خودروهایی سبک، با مصرف سوخت پایین و ارزان با بازدهی بالا و سازگار با محیط و برگشت پذیر تولید کنند. لزوم استفاده از مواد نوین در خودرو به عوامل مهمی بستگی دارد. این عوامل شامل موارد زیر می‌شود:

الف) الزامات محیطی: یک روش کاهش آلودگی خودرو، کاهش مصرف سوخت آن می‌باشد و کاهش مصرف با افزایش بازده ترمودینامیکی موتور بهبود می‌یابد. همچنین عوامل کاهش مصرف سوخت، کاهش وزن خودرو و بهبود پارامترهای آیرودینامیکی می‌باشد. برای دستیابی به کاهش وزن، به مواد با عملکرد بالا یعنی موادی با سختی و خواص مقاومتی بالا و سبک نیاز می‌باشد. همچنین این مواد باید دارای انعطاف پذیری بالا باشد تا قابلیت بهبود پارامترهای آیرودینامیکی را داشته باشد. با افزایش خودروهای جهان، باید از موادی استفاده کرد که پس از فرسوده شدن خودرو، آن مواد برای محیط مضر نباشد و قابل بازیافت و استفاده دوباره گردد. لذا استفاده از مواد کامپوزیت‌های زیستی و برگشت پذیر ضروری می‌باشد.

ب) عوامل اقتصادی: کاهش هزینه‌های تولید، مثل شکل دهی مناسب جهت بالا بردن پارامترهای آیرودینامیکی، نیاز به موادی با شکل پذیری بالا دارد و این مواد باید به طوری باشد تا سرعت تولید در مقابل تقاضا بالا رود و نیاز روزافزون به موادی با قابلیت بازیافت و استفاده دوباره از آن، مد نظر قرار گرفته شود تا مواد به راحتی از هم مجزا و بازیافت شده که سبب برگرداندن هزینه اولیه خودرو می‌شود.

اکثر تولید کنندگان خودرو در بدنه برای درب ها، دریچه های انتهایی و سقف از پلیمرهای دارای الیاف مقاوم شده استفاده کرده اند. یک توسعه قابل توجه در این زمینه سقف یک تکه برای ونهای ترانزیتی فورد است که از قالب ۵۰ کیلوگرمی با یک پلی استر رنگی یا پوسته پلیوریتان که در ۲۰ دقیق تولید می شود در مقایسه با جریان دستی که قبلاً ۳ ساعت طول می کشید، استفاده می کنند [۷۶].

۴- نانو مواد

یکی از اصلی ترین موضوعات نانوفناوری، ساخت مواد با خواص جدید است. این مواد ارزش افزوده بسیار بالا و کارایی بهتری در تمام صنایع خواهند داشت که صنعت خودرو نیز از آن مستثنی نمی باشد. صنعت خودرو یکی از زمینه هایی است که شروع به بهره گیری از مزایای نانوکامپوزیت ها در اجزا و سیستم های مختلف کرده است. این کاربردها، از مبدل های کاتالیزوری (برای تبدیل مؤثرتر محصولات جانبی احتراق به مواد بی خطر) گرفته، تا پلاستیک ها و روکش های سبک وزنی که بهره سوخت و عمر خودرو را افزایش می دهند، شامل می شوند. روندهای غالب علم و فناوری به سمت مقیاس نانو حرکت می کنند. صنعت خودرو از طریق دستیابی به موتورهای پیشرفته، استفاده از انرژی های نو، کاهش وزن ماشین، بهبود عملکرد مواد، افزایش میزان راحتی و نعطاف پذیری، افزایش بهره وری و... از این روند سود خواهد برد [۸].

تقریباً تمام قطعات خودرو را می توان به وسیله فناوری نانو، بهبود بخشید. فناوری نانو، موجب ایجاد فضایی بسیار زیاد برای نوآوری و همچنین بازارهایی عظیم برای صنعت خودرو خواهد شد. قدرت رقابت در ۱۰ سال آینده، به میزان توسعه کاربردهای فناوری نانو توسط خودروسازان در خودروهایشان بستگی دارد. فناوری نانو، ارتباط بسیار نزدیکی با دیگر فناوری های مقیاس مولکولی نظیر فناوری زیستی، فناوری عصبی و فناوری اطلاعات دارد. همگرایی آنها، کنترل دقیق ساخت مولکولی را موجب می شود. فناوری های همگرا، نه تنها صنعت را تغییر خواهند داد بلکه موجب تغییر سبک زندگی و جامعه خواهند شد. اثرات آنها بر محیط زیست، انرژی، بازار کار و اقتصاد جامعه، باید پیشاپیش مورد بررسی دقیق قرار گیرد.

امروزه تعداد کمی از صنایع خودروسازی عمده در مرحله تحقیق یا استفاده اولیه از فناوری نانو قرار دارند. تا سال ۲۰۱۰ تمام خودروسازان و بخش اعظمی از تولیدکنندگان قطعات، درگیر فناوری نانو خواهند شد. تا سال ۲۰۱۵، محصولات و خدمات مربوط به فناوری نانو تا حدود ۱۰ درصد از سهم کل بازار خودرو را در اختیار خواهند داشت. رقابت در صنعت خودرو همانند سایر بخش ها، از یک سو در زمینه تلاش برای کاهش هزینه و از دیگر سو، افزایش کارایی و غلبه بر مشکلات زیست محیطی است. عوامل اصلی رقابت در صنعت خودرو شامل قیمت، ایمنی و امنیت، کارایی سوخت، ارتباطات و اطلاعات، عملکرد بهتر، کاهش آلودگی هوا، زیبایی، راحتی می باشد. در تمامی این زمینه ها، فناوری نانو یا در حال استفاده توسط شرکت های خودروسازی برای کسب قدرت رقابت بالاتر بوده و یا در آینده توسط این شرکت ها به کار گرفته خواهد شد (شکل ۲).

بسیاری از کاربردهای پیشنهادی فناوری نانو، مشخصات نسل بعدی خودروها را تعیین خواهند کرد. به عنوان قدرتمندترین فناوری توانمندساز، استفاده از فناوری نانو موجب به دست گرفتن نقش رهبری در زمینه این فناوری خواهد شد.

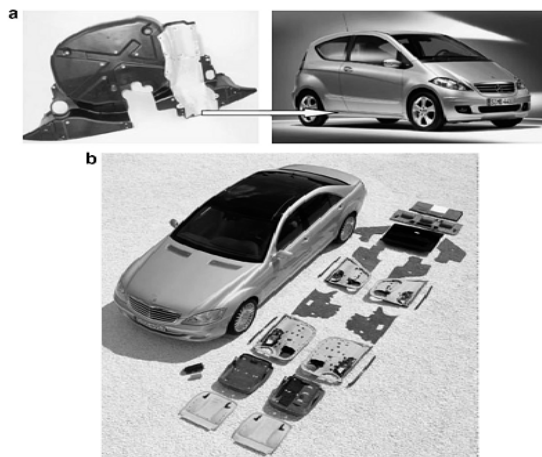
شرکت میتسوبیسی نیز در بدنه خودروی لانسر ۲۰۰۸ از فولادهای فوق پیشرفته و استحکام بالا استفاده کرده است که این امر باعث بهبود استحکام پیشینی تا ۵۹ درصد و استحکام مشی تا ۵۰ درصد نسبت به نمونه های گذشته شده است [۳].

۳- کامپوزیت، بیوکامپوزیت و کامپوزیت های پلیمری

کامپوزیت های زمینه فلزی (MMCs) به صورت تجاری در اتومبیل سازی نزدیک به ۲۰ سال مورد استفاده قرار گرفته است. خواص مورد علاقه در مهندسی اتومبیل شامل سفتی افزایش یافته، مقاومت سایشی، و مقاومت خستگی بهبود یافته و کاهش وزن نیز به وجود آمده است. همچنین کاربردهای زیادی در اجزای موتور مانند شاتون و سوپاپ و بدنه خودرو پیدا کرده است [۳].

امروزه با توجه به عوامل زیست محیطی و اقتصادی بیوکامپوزیت ها در صنعت رشد پیدا کرده است. تقویت پلیمرها با فیبرهای گیاهی (شاخه، برگ، ساقه و...) بیوکامپوزیت هایی با استحکام و قابل بازیافت به وجود می آورد که صنایع خودرو سازی پیشرفته از آن بهره می گیرند [۴]. مواد گیاهی و حیوانی از یک رنج بالای مولکولی طبیعی پلیمری تشکیل شده مثل پروتئین ها، چربیها و کربوهیدرات ها که در ساختار اجزای چوبی درختان، چرم، لاستیک، پنبه، پشم و ابریشم بوجود می آیند که همه هنگام کار متحمل فشار هستند. این پلیمرهای طبیعی بطور گسترده در مهندسی و تقاضاهای تخصصی کاربردی مانند تیر و سائط نقلیه و تزئینات داخلی خودرو مورد استفاده قرار می گیرد (شکل ۱) [۵].

فیبرهای گیاهی همچنین به منظور عایق صوتی نیز در درب ها استفاده می شود. شرکت های دایملر-کرایسلر، مرسدس، فولکس واگن، آوودی، بی ام و، فورد و اپل هر یک در کاربردهای گوناگون از فیبرهای گیاهی و بیوکامپوزیت ها استفاده کرده اند. این شرکت ها اعلام کردند، این مواد سبب کاهش وزن، کاهش زمان و هزینه تولید، بالا بردن عایق صوتی و مقاومت، کاهش مصرف سوخت و انرژی، بهبود ایمنی، بالا بردن عملکرد داشبورد در مقابل تغییرات دما و قابلیت بازیافت شده است. بعنوان مثال، مرسدس بنز در کلاس E به کاهش وزن ۲۰ درصدی و بهبود ایمنی در تصادفات با استفاده از بیوکامپوزیت ها رسیده است [۵].



شکل ۱- a- تزئینات داخلی کف مرسدس بنز کلاس A از کامپوزیت تقویت شده با فیبر موز، b- اجزای ساخته شده از کامپوزیت تقویت شده با بیوفیبر در خودروی مرسدس بنز کلاس S

پیشرفته در صنعت فوم سبب تولید فوم های با چگالی بالا و شکل پذیری آسان شده است که سبب راحتی و آسایش سرنشین می شود. این صندلی ها بارهای اضافی وارد بر سرنشین را گرفته و عمر آن بیشتر و نیاز به تعمیر و نگهداری کمتری دارد. چارچوب و اسکلت صندلی از لوله های فلزی و محکم، جهت ایمنی بالای سرنشین استفاده شده است [7].

۴. سیستم تهویه و بخاری خودرو: سیستم های تهویه مطبوع خودروهای مدرن، بسیار پیچیده و مهم می باشد و از موادی در آن استفاده می شود که خصوصیات پایداری دمایی و مکانیکی را فراهم می کند. این مواد شامل مواد پلیمرهای مهندسی، آلیاژهای پلیمری و ترکیبات مختلف بین پلیمرها می باشد. همچنین این مواد سبب قالب پذیری بالا و انعطاف بالا می باشد تا احتیاجات پیچیده سیستم تهویه را برآورده کند. مخزن و رابط های این سیستم نیز از آلیاژهای آلومینیوم ساخته می شود [7].

۵. سپر خودرو: سپر یکی از اجزای مهم در شکل ظاهری خودرو می باشد. سپرهای پلیمری طوری طراحی و تنظیم شده اند که برای عملکرد در دماهای بالا و پایین، استحکام بالا، پایداری در مقابل اشعه ماوراء بنفش و چسبندگی بالا برای رنگ آن باشد [7].

۶. سیستم روشنایی: چراغ های خودرو یکی از اجزایی هستند که با توسعه مواد نوین، تغییرات زیادی کرده اند. امروزه چراغ ها با مواد قالب گیری تزریقی پلی کربنات و آلکریلیک با گرما و نور بالا و پایداری در مقابل اشعه ماوراء بنفش، طراحی می شوند. این مواد قابلیت طراحی و شکل دهی آزادتر و ظاهری بهتر برای خودرو فراهم می کنند [7].

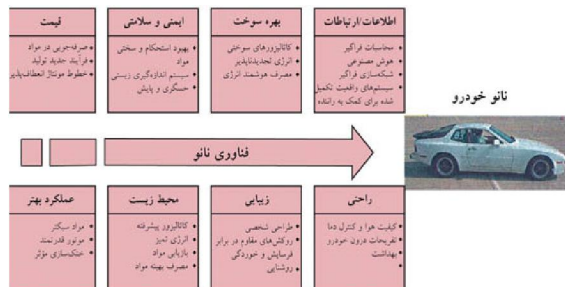
۷. اجزای داخلی خودرو: مواد اجزای داخلی خودرو بطور غالب از پلیمر استفاده می شود. داشبورد با یک قالب ریزی پلیمری یک تکه، سبب شده تا صدها قطعه فلزی حذف گردد و هزینه و زمان تولید پایین آمده و شکل پذیری بهتری که رضایت مندی مشتری را جلب می کند، در آورده می شود. مواد اجزای داخلی خودرو بصورت نسوز می باشد و مواد بکار رفته برای دربها، سبک و منجر به عایق صوتی می گردد [7].

۸. سیستم های انتقال قدرت و تعلیق: سیستم های انتقال قدرت و تعلیق از موادی مقاوم در مقابل تنش بالا به کار گرفته می شود که امروزه این مواد، بصورت کامپوزیت می باشد که سبب کاهش وزن و حجم گردیده است و بیشتر جعبه دنده ها و دیفرانسیل ها از مواد آلیاژی آلومینیوم با مقاومت بالا تولید می گردد [7].

۹. ترمز: در ترمز از فلز سخت زینتر بجای آریست استفاده می شود که هم با محیط سازگارتر باشد و هم دمای بالا را تحمل کرده و سختی زیادی نسبت به سایر داشته باشد [7].

۱۰. بدنه خودرو: از آلیاژ فولادهای با مقاومت بالا استفاده می شود که خصوصیات آنها، فراهم آوردن مقاومت در مقابل فرو رفتگی و کشش عمیق و کاهش وزن خودرو می باشد. همچنین از آلیاژهای آلومینیوم و پلیمرهای تقویت شده با شکل دهی و مقاومت بالا استفاده می شود [7].

۱۱. اجزای زیر کاپوت: مواد فن سیستم خنک کاری بصورت پلیمریک از جنس پلی پروپیلن با قیمت پایین و بازدهی آیرودینامیکی بالا می باشد و رادیاتور با آلیاژ آلومینیومی با مخزن زیرین پلیمری می باشد. راهگاه ورودی موتور خودروهای مدرن نسبتاً بزرگ و پیچیده می باشد که از پلیمرهای تقویت شده با شیشه برای کاهش وزن استفاده می شود. بلوک موتور بصورت آلومینیومی ریخته گری شده و کاتالیزور و لوله های سوخت از فولاد ضد زنگ استفاده می شود. از متالورژی پودر برای ساخت قطعات مختلف موتور مثل شاتون، نشیمنگاه و راهنمای سوپاپ، بادامک و میل لنگ استفاده می-



شکل ۲ نقش فناوری نانو عوامل کلیدی رقابت در صنعت خودرو

شرکت تویوتا از نانوکامپوزیت ها در پوشش کمر بند ایمنی خودرو استفاده کرد. در کنار فعالیت های تویوتا شرکت میتسوبیشی نیز از نانو کامپوزیت ها در روکش موتور استفاده نمود [8].

۵- سرمایهک و شیشه

حساس ترین قسمت خودروها در برابر بار، دما و فرسایش در مقابل فعالیت های عناصر شیمیایی، موتور و سیستم آگزوز می باشد. اجزایی مثل شمع، پیستون، سیلندر، بادامک، سوپاپ ها، محصولات آب بندی و میدل های کاتالیست اخیر نقش مهمی در عملکرد موتور ایفا می کنند. به این منظور از روکش های سرمایهکی برای افزایش مقاومت به تغییرات دمایی در آن ها استفاده می شود. مواد سرمایهکی مدرن دارای یکسری ویژگی های عالی مهندسی مانند قدرت، مقاومت خوب در برابر شوک های حرارتی، ضریب انبساط پایین و مقاومت خوب حرارتی و شیمیایی باشند.

شیشه هنوز بر بازار شیشه جلو و پنجره ها بدلیل هزینه کم و شفافیت منحصر به فردش همراه با پستیابی جامعه و قانون، حاکم است. با استفاده از لایه های پلیمری مقاوم در برابر ضربه وزن چنین موادی می تواند تا ۵۰ درصد کاهش یابد.

۶- توسعه مواد در اجزای مختلف خودرو

توسعه مواد نوین برای کاربردهای مختلف در صنعت خودرو، بیش از پیش رو به افزایش می باشد که به بعضی از موارد استفاده از مواد نوین در تجهیزات مختلف خودرو در ادامه اشاره می کنیم.

۱. تایر: پیشرفت های صورت گرفته در صنعت تایر خودرو، سبب شده تا سایش آنها به شدت کاهش و سبب دوام و قابلیت اعتماد بیشتر شده است. البته تایرهای نوین، هنوز بازسازی و استفاده مجدد آن بعد از عمر مفید در حال بررسی می باشد و اجزای آن لاستیک، سیم های فولادی و فیبرهای مصنوعی می باشد [7].

۲. چرخ: استفاده از فولاد فشرده برای رینگ چرخ ها، هنوز یک راه حل اقتصادی برای تولید می باشد. مخصوصاً هنگامی که در قالب ریخته گری آن، مواد پلیمری تزریق گردد. رینگ های ریخته گری آلومینیوم فشرده نیز جایگزین رینگ های آلومینیومی معمولی شده تا سطح تخلخل پایین آید. در بعضی از رینگ ها نیز، امروزه از منیزیم استفاده می شود. اما چرخ های کامپوزیت به علت خصوصیات ضربه پذیری پایین تولید چندانانی ندارد [7].

۳. صندلی: صندلی های خودرو مدرن بعنوان یکی از قسمت های سیستم تعلیق طراحی شده است، لذا مواد بکارگیری در آن سبب گرفتن ضربه های وارده از طرف جاده های ناهموار بر سرنشین می شود. تکنولوژی

شود. پوشش دهی سرامیک نیز رشد زیادی در بیشتر موتورهای دیزل مانند سطح رینگ پیستون و سوپاپ برای جلوگیری از سایش و خوردگی پیدا کرده است. با توجه به آنکه موتورهای امروزی با کارآیی بالا در دمای بسیار بالاتری نسبت به قبل کار می کنند، لذا نقش پوشش دهی اجزای موتور بسیار مهم است و از پوشش دهی سرامیکی و متالیکی برای مواد استاندارد استفاده می کنند. کامپوزیت های ماتریس سرامیک و فلز سبب افزایش مقاومت و کاهش وزن می شود [۹].

مواد هوشمند نیز در خودرو بکار برده می شود. مواد هوشمند برای یکی شدن اجزای حس کننده در ساختار مواد استفاده می شود. همچنین برای انتقال اطلاعات مثل دما و کرنش به واحد کنترل نیز از این مواد استفاده می شود. مواد کاربردی نیز در خودرو توسعه زیادی پیدا کرده اند. بعنوان مثال، مواد مختلفی که در کاتالیست ها بکار گرفته می شوند.

۷- نتیجه گیری

توسعه مواد مدرن در قلب مهندسی طراحی وجود دارد. مواد مدرن شامل کامپوزیت های فیبری، سرامیک های تخصصی، پلیمرهای مهندسی، آلیاژهای فلزی با دمای بالا و نانو مواد، مواد هوشمند و کاربردی می باشند. برای بهترین استفاده از بسیاری از مواد موجود، مهندس طراح خودرو باید یک درک اساسی از روابط درونی پیچیده بین مواد و ویژگیها و رفتارشان در عمل همراه با یک شناخت از تأثیرات پردازش و ایجاد چنین روابطی داشته باشد. استفاده از مواد نوین به دلایل الزامات محیطی، عوامل اقتصادی، بهبود عملکرد و جلب مشتری، باید بیش از پیش مدنظر تولید کنندگان داخلی قرار گیرد تا در رقابت های جهانی موفق تر باشند.

۸- مراجع

- [1] Ashori, A., 2008. "Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries". *Bioresource Technology*, 99: 4661-4667
- [2] Automotive Industries, 2000. DaimlerChrysler "Goes Natural" for large body panel, p. 9.
- [3] Ellison, G.C. Mc Naught, R., 2000. "The use of natural fibers in nonwoven structures for applications as automotive component substrates". Ministry of Agriculture Fisheries and Food.
- [4] Bismarck, A., Baltazar-Y-Jimenez, A., Sarlkakis, K., 2006. "Green composites as Panacea? Socio-economic aspects of green materials". *Environment, Development and Sustainability*, 8 (3), 445-463.
- [5] Bledzki, A. K., Faruk, O., & Sperber, V. E. 2006. "Cars from bio-fibers". *Macromolecular Materials and Engineering*, 291, 449-457.
- [6] Mayyas, A., Qattawi, A., Omar, M., Shan, D., 2012. "Design for sustainability in automotive industry: A comprehensive review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16: 487-509.
- [7] Edwards, K., 2004. "Strategic substitution of new materials for old: application in automotive product development". *Materials and design*, 25:529-533.
- [۸] معلمی اوره، عباس؛ بررسی جایگاه فناوری نانو در صنعت خودرو، همایش ملی نانو مواد و نانو تکنولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، ۱۳۸۸.
- [۹] هزالی، کاوان؛ امینی، شاهین؛ پوشش های نانومتری و کاربرد آنها در موتور، پوشش های سطحی، سال ۸، شماره ۳۳، ۱۳۸۹.