بهبود ایمنی خودرو در مقابل تصادف با استفاده از پوشش نانو ماده مرکب

احمد بیدی[۱] ، غلامحسین لیاقت[۲*] ، عادل سپهر[۳]

۱- دانشجوی دکتری مکانیک دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- دکتر غلامحسین لیاقت استاد بخش مکانیک دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳- عادل سپهر ایرائی دانشجوی کارشناسی ارشد معاونت توسعه محصولات جدید ایران خودرو، تهران، ایران
* تهران ، ghlia530@modares.ac.ir

چکیده

استفاده از مواد کامپوزیتی برای افزایش مقاومت ضربه و نفوذ در قطعات ، محور اصلی پژوهش های جدید در بحث مکانیک ضربه بوده است و استفاده از جدیدترین تکنولوژی ها در تولید و تست این مواد پیشرفته بطور قابل ملاحظه ای افزایش داشته است. استفاده از مواد پیشرفته پلیمری با توجه به نرخ کرنش بالا برای تقویت مقاومت ضربه ای مورد توجه قرار گرفته و برای ارتقای خواص مکانیکی و تقویت نواحی اتصال فلز به ماده مرکب و ایجاد پیوستگی بهتر بین لایه ها در مقابل بارهای مکانیکی و حرارتی از ذرات افزودنی در مقیاس نانو در اشکال مختلف (کروی، لوله ای و نامنظم) استفاده می شود در پژوهش ها نمونه سازی و تست مرحله اصلی و مدل سازی کامپیوتری و تحلیل مرحله دوم کار است که انالیز نتایج هر مرحله و نتیجه گیری مرحله پایانی کار می باشد. نتایج تست و انالیز کامپیوتری نشان دهنده بهبود بسیار زیاد استحکام می باشد

کلیدواژگان

ماده مرکب- نانو پلیمر- تصادف- ضربه

۱- مقدمه

حفاظت از تجهیزات صنعتی، نظامی و ساختمانها در برابر بارهای ضربه ای حجم زیادی از تحقیقات حاضر محققین را شامل می شود و اهمیت موضوع باعث گردیده که سالیانه میلیونها دلار هزینه صرف این تحقیقات شود. . بر اساس آمارهای رسمی، سالانه یک میلیون و ۲۰۰ هزار نفر در جهان، بر اثر تصادفات رانندگی کشته و ۵۰ میلیون نفر مجروح می‌شوند..[1]. یکی از روش های افزایش استحکام خودرو در تصادفات استفاده از مواد پیشرفته (کامپوزیتی- پلیمری و ...) در قسمت های حساس می باشد.

مواد مرکب پلیمری بدلیل داشتن خواص مخصوص (خواص نسبت به وزن) بالا بطور گسترده در کاربردهای خاص به ویژه زمانی که کاهش وزن جزء عوامل مهم طراحی می باشد. استفاده می شوند. بعلاوه این مواد بدلیل سهولت در ساخت در تجهیزات حفاظتی به ویژه در صنایع نظامی ، دفاعی، صنعتی وعمرانی کاربرد گسترده دارند. امروزه با پیشرفت روش های ساخت و تولید ، کاربرد مواد مرکب بافته شده و پلیمری در صنایع خودرویی افزایش یافته است .

از بهترین و مطمئن ترین روش های تحلیل استحکام و ایمنی خودروها علاوه بر تحلیل عددی و مدل سازی کامپیوتری، ساخت نمونه واقعی و تست عملی می باشد ؛ تست تصادف ساختگی امروزه به صورت یک سرویس عمومی خودروها درآمده که باید در کارخانجات تولید اتومبیل اجرا گردد. گرچه هر ساله خودروها کمی ایمن تر می گردند و میزان مرگ میر در حال کاهش می باشد اما هنوز تصادفات اتومبیل یکی از عمده ترین عوامل مرگ و میر و آسیب در جهان به شمار می آید. یکی از دلایلی که خودروها ایمن تر می گردند برنامه ریزی و انجام این تست ها می باشد. البته نکته مهم انکه تست تصادف خودرو ها از ۱۶۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ یورو هزینه دارد که این هزینه جدا از هزینه خودرو و حمل و نقل می باشد.

تاکاگورا و همکارانش[2] استفاده از کامپوزیت های پلی اوریا را برای افزایش استحکام سازه ها بررسی کرد و به این نتیجه رسید که استفاده از لایه پلی اوریا در سطح اثر زیادی در بهبود استحکام ضربه صفحه روکش شده دارد. بعلاوه G.J. McShane et al [3] گسیختگی دینامیک صفحات دولایه فلز- پلیمر را بررسی نمودند و نتیجه گرفت افزایش جرم صفحه در اثر لایه پلیمری اثر خوبی در مقاومت ضربه ای دارد. M. Grujicic و همکارانش [4] دریافتند که روکش پلی اوریا اثر زیادی در افزایش استحکام سازه ها، خودرو ها و صفحات تست آزمایشگاهی دارد. M. Irshidat و همکارانش مشاهده نمودند روکش پلی اوریا استحکام ضربه ورق فولادی با استحکام زیاد را بهبود می دهد [6] .Y.Tanizawa و همکارانش [5] اثر لایه پلی اوریا بر روی سطح سازه را بررسی و مشاهده نمود با استفاده از این روکش استحکام در یک طرف، تحمل بار ۲/۵ برابر بیشتر و با استفاده از روکش در دو طرف سازه استحکام ۵/۹ برابر بیشتر شده است. ..

Jin-Chein Lin. و همکارانش[7] اثر ذرات نانو در کامپوزیت ها را برای سرعت پائین برخورد بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که خواص مکانیکی و استحکام وابستگی شدید به دما شکل، درصد وزنی/حجمی و پراکندگی منظم ذرات نانو دارد. مطابق بایافته های Liu و همکارانش [۸]، استفاده از نانوذرات رسی در سیستمهای پلیمری توسط گروه تحقیقاتی شرکت تویوتا در اوایل دهه ۹۰ ارائه شد. آنها گزارش می دهند که یک افزایش در مدول الاستیک به میزان ۱۰۰٪ زمانی که نانوذرات رسی به مقدار wt ۸٪ در نایلون ۱۱ استفاده می شود، دیده می شود. بهرحال این موضوع باعث شد که تحقیقات زیادی بر روی تاثیر نانو ذرات در سیستمهای اپوکسی بواسطه کاربرد زیادشان در کامپوزیتهای صنعتی توسط محققین شود.

Ming و همکارانش [9]، با آزمایشات خود نتیجه گرفتند در درصد حجمی ۰/۷۵ درصد نانو سیلسکا افزایش سختی و استحکام کششی و استحکام ضربه ماده مرکب ایجاد می شود یک نتیجه جالبتر در بکارگیری نانوذرات ، استفاده از این ذرات در سیستم اپوکسی توسط Isik و همکارانش [15]، ارائه گردید. آنان نتیجه گرفتند هر دو خواص سفتی و چقرمگی بوسیله نانو ذرات افزایش می یابد. در این تحقیق ماکزیمم مقاومت ضربه در درصد وزنی ۱wt٪ از montmorillonite حاصل می شود.

مطالعات تجربی بر روی رفتار کامپوزیتهای پلیمری لایه ای با ساختارهای متفاوت انجام شده است. J. Yi و همکارانش [10] با مطالعه مواد

الاستومری پلی اورتان و پلی اوریا به تغییر رفتار شبیه لاستیک [1] تحت نرخ کرنش کم ($10^{-3}-10^{s^{-1}}$)به رفتار چرمی یا شبه شیشه ای[2] در نرخ کرنش بالا ($10^{-3}s^{-1}$)دست یافتند. W. Chen و همکاران نتیجه گرفتند برای ماده methyl methacrylate کشش در حالت شبه استاتیکی نسبت به دینامیکی باعث کرنش های شکست کوچکتر می شود [11].

Dario Vangi [12] روش ساده ای برای محاسبه افت انرژی در برخورد خودروها ارائه نمود که با توجه به تغییر فرم خودرو بصورت اریب یا مستطیلی یا ذوذنقه ای الگوهایی را ارئه نموده و برخورد را تحلیل نمود ایشان در مقاله ای دیگر[13] برخورد مایل خودروها را نیز به روش تحلیلی و با محاسبه اندازه حرکت بررسی نمود. Brett M [14] تحلیل جامعی بر روی برخورد جانبی خودرو ها انجام و اثر تغییر پارامتر های مختلف مانند فاصله از در های جانبی، موقعیت دسته صندلی ، مدل و جنس صندلی و... را بررسی نمود.

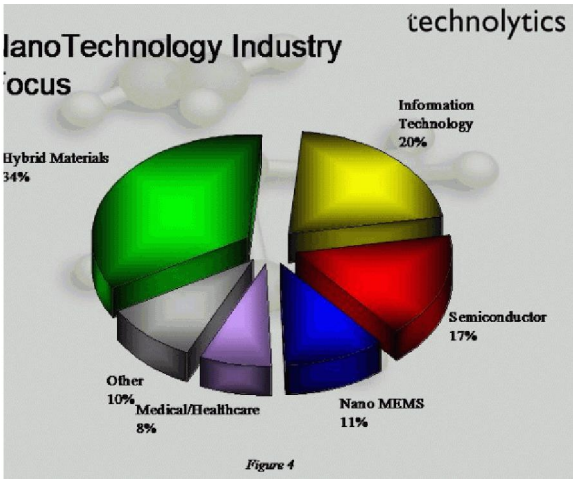
نتیجه اینکه استفاده از مواد کامپوزیتی برای افزایش مقاومت ضربه و نفوذ در مواد ، محور اصلی پژوهش های جدید در بحث مکانیک ضربه بوده است و استفاده از جدیدترین تکنولوژی ها در تولید و تست این مواد پیشرفته بطور قابل ملاحظه ای افزایش داشته است. استفاده از مواد پیشرفته پلیمری با توجه به نرخ کرنش بالا برای تقویت مقاومت ضربه ای مورد توجه قرار گرفته و برای ارتقای خواص مکانیکی و پیوستگی بهتر بین لایه ها از ذرات افزودنی در مقیاس نانو و در اشکال مختلف (کروی، لوله ای و نامنظم) استفاده می شود . امروزه استفاده از ماده پلی اوریا و پلی اورتان بطور وسیع در قسمت های مختلف خودرو ها جایگزین قطعات فلزی شده است.

۲- اثرات ذرات نانو برخواص پلیمرها

بطور کلی پلیمرها به سه گروه اصلی[15] تقسیم می‌شوند۱) پلاستیک های گرمانرم۱ ، (۲) پلاستیک های گرما سخت۲ یا ترموست ها۳ ، و (۳) الاستومرها. ترموپلاستیک ها با افزایش دما نرم شده و با خنک شدن به سختی اولیه اشان برمی گردند

به گفته دکتر کرابی ، استفاده از مواد تقویت کننده نانو موجب می شود تمامی مراحل اختلاط ، شکل دهی و خواص نهایی متاثر از این مواد باشند و به همین دلیل تحقیقاتی برای بررسی نقش کیفی و کمی این مواد در قطعه تایر به مرحله اجرا در آمد. در این طرح ، ابتدا نانو سیلیکات های اصلاح شده مناسب در ترکیبات لاستیکی انتخاب شدند بررسی ها نشان داد که این ترکیب نسبت به ترکیبات معمولی که فاقد نانو سیلیکات هستند از خواص مکانیکی بسیار بهتری برخوردار است.

تکنولوپی نانو امروزه در بسیاری صنایع کاربرد گسترده پیدا نموده است که از آن جمله در قسمت های مختلف خودرو شامل تزئینات داخلی ، رنگ و سپرها می باشد شکل(۱) گستردگی استفاده از این فناوری در صنایع مختلف را نشان می دهد.



شکل۱ گستره استفاده از نانو فناوری در صنایع مختلف

۳- روش های بررسی استحکام ضربه

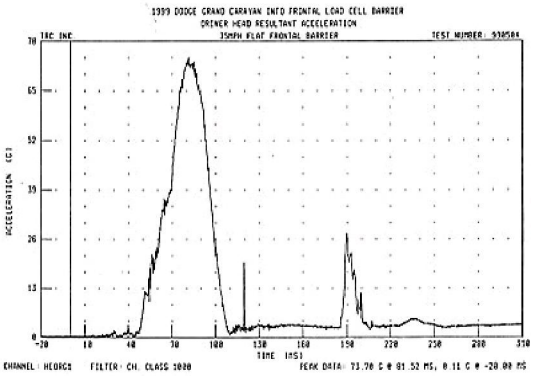
با پیشرفت روش های عددی ، کار آمد ترین و تقریبا کم هزینه ترین روش بررسی استحکام سازه های مکانیکی مدل سازی عددی می باشد . امروزه با کمک نرم افزار های پیشرفته می توان عکس العمل سازه ها را در مقابل بار ضربه ای محاسبه و پیش بینی نمود. البته به علت تاثیر بسیار زیاد شرایط تکیه گاهی و پیچیدگی های مدل سازی دقیق و نداشتن اطلاعات کافی در مورد اتصالات ، و خواص مکانیکی که جزو ورودیهای موثر برنامه نویسی عددی هستند لازم است برای تایید محاسبات عددی از روش های تئوری و آزمایشگاهی کمک گرفته شده و منابع خطا به حداقل برسند.[16] در برخورد خودروها روش عددی با کمک روش آزمایشگاهی قابل استناد هستند و لذا تست برخورد[3] از اهمیت زیادی برخوردار می باشد که اشاره خواهد شد.

۴- آزمایش برخورد

برای تخمین مقدار ضربه و تغییر فرم خودرو و همچنین محاسبه ضربه وارده به سرنشینان خودرو ها با شبیه سازی سرنشین و راننده ، تست برخورد بر روی خودروی نمونه واقعی انجام می شود.

نمودار زیر نشان دهنده ی شتاب سر راننده اتومبیل در خلال یک تصادف از روبه رو با سرعت ۳۵ مایل بر ساعت (۵۶/۳ کیلو متر بر ساعت) می باشد همانطور که مشاهده می کنید این یک مقدار ثابتی نمی باشد و در طی تصادف دارای نوسان زیادی است.که در این نمودار بیشترین مقدار مربوط به زمانی است که سر با یک شی سخت و یا ایربگ برخورد دارد.

[1] Rubbery- like behavior
[2] glassy-like behavior
[3] Crash test



شکل ۲ شتاب سر راننده اتومبیل در خلال یک تصادف از روبه

اداره کل ایمنی ترافیکی بزرگراه های بین المللی (NHTSA) دو نوع تست تصادف را برای تایید صلاحیت خودروها تعریف کرده است[1]

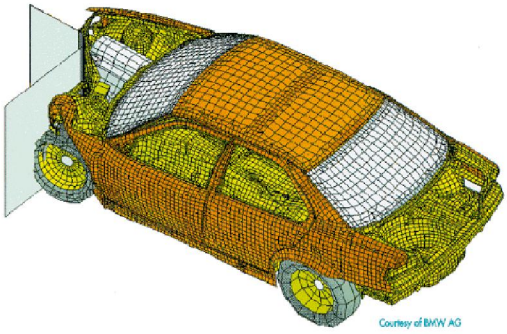
۱- ضربه از روبه رو با سرعت ۳۵mph مایل در ۳۵mph (۵۶kph) ۲- ضربه از پهلو با سرعت ۳۵mph –

اخیرا برای واقعی تر شدن تست و افزایش دقت از موانع تغییر فرم پذیر استفاده می شود هرگاه مانع صلب باشد اثرات موج تنش باعث افزایش زیاد سطح تنش در خودرو می شود که این مورد باید مورد توجه قرار گیرد. رتبه بندی خودرو ها در تست تصادف بر اساس سلامت سرنشین مطرح شده و بصورت زیر دسته بندی می شود[1]

۵ ستاره به معنای ده درصد یا کمتر احتمال آسیب جدی[1] ، ۴ ستاره به معنای ۱۱ تا ۲۰ درصد ، ۳ ستاره به معنای ۲۱ تا ۳۵ درصد - ۲ستاره به معنای ۳۶ تا ۴۵ درصد و ۱ ستاره به معنای ۴۶ درصد یا بیشتر احتمال آسیب جدی راننده (سرنشین) می باشد. در برخورد جانبی بیشتر صدمات در ناحیه ستون های خودرو و ناحیه سر سرنشین می باشد که در شکل نشان داده شده است.

۵- مدل سازی برخورد:

مدل سازی کل مجموعه شامل لاستیک ، موتور گیربکس، قطعات تزئینات داخلی ، سپرها و زه های لاستیکی دور درب ها، صندلی ها . از آنجا که سختی کل مجموعه ها در طی تصادف باید در محاسبات وارد شود لذا لازم است از خلاصه سازی پارامتر های ورودی و مشخصات فنی پرهیز شود.



شکل ۳ نمونه مش بندی شده خودرو در تصادف از روبرو با افست

۶- پارامترهای مهم در تحلیل آزمایش برخورد

ایمنی سرنشینان مهمترین موضوع در تحلیل ضربه و برخورد خودروها می باشد که با اندازه گیری سرعت و شتاب در نواحی حساس بدن مانند سر، قفسه سینه، شکم و لگن درصد آسیب سرنشینان مشخص می گردد

برای شتاب سر رابطه عبارت است از[18]

$$HIC = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a.dt \right]^{2/5} (t_2 - t_1) \qquad (۱)$$

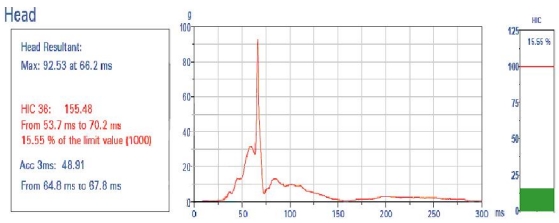
که a برآیند شتاب سر می باشد.

۷- روش حل مسئله

تحلیل عددی بااستفاده از نرم افزار Ls.Dyna انجام شد که نتایج مدل با آزمایش مقایسه شده است..

۸- نتایج برخورد خودرو

در شکل صفحه بعدی که نمایانگر نتایج عددی و نمودارهای حاصل از آزمایش در تست برخورد جانبی می باشد نتایج برای هر یک از قسمست های حساس بدن (سر، سینه، شکم و لگن) آورده شده و مقادیر بدست آمده با مقادیر مجاز مقایسه شده است



شکل ۴ نتایج تست برخورد جانبی خودرو و نمودار شتاب سر حاصل شده از اندازه گیری شتاب سر راننده

۹- نتایج

با تقویت قسمت های مختلف بدنه مشاهده شده که موارد بحرانی (شتاب سر) به حدود ۲۰ درصد حد مجاز رسیده که نتایج بسیار خوبی می باشد بهترین راه برای افزایش استحکام سازه های فلزی برای افزلیش مقاومت ضربه استفاده از تقویت نانو کامپوزیتی است تنش باقیمانده بین لایه ها

[1] NHTSA defines a serious injury as one that requires immediate hospitalization and may be life threatening.

بخاطر ناسازگاری ضرایب انبساط حرارتی بین فلز و ماده مرکب اغلب باعث شکست سازه مرکب می شودکه افزودن ذرات نانو اثر خوبی بر روی کاهش این تنش داشته و استحکام ضربه بالا می رود.

۱۰- مراجع

[1] HIGHWAY SAFETY RESEARCH & COMMUNICATIONS . www.iihs.org/ratings/side_test_info.html

[2] Tekalura SA, Shuklaa A, Shivakumar K. Blast resistance of polyurea based layered composite materials. Compos Struct 2008;84(3):271–81.

[3] G.J. McShane et al Dynamic rupture of polymer–metal bilayer plates. International Journal of Solids and Structures 45 (2008)4407-4426

[4] M. Grujicic et al Computational investigation of impact energy absorption capability of polyurea coatings via deformation-induced glass transition. J. Materials Science and Engineering A 527 (2010) 7741–7751

[5] Youske TANIZAWA John J. MYERS Robert SINCLAIR , IN-PLANE RESPONSE OF AN ALTERNATIVE URM INFILL WALL SYSTEM WITH AND WITHOUT A POLYUREA RETROFIT. Missouri University of Science and Technology, Rolla, , U.S.A.

[6] M. Irshidat et al Predicting the response of polyurea coated high hard steel plates to ballistic impact by fragment simulating projectiles.

[7] Jin-Chein Lin, L.C. Chang, M.H. Nien, H.L. Ho. Mechanical behavior of various nanoparticle filled composites at low-velocity impact. Composite structures 2006; 74: 30-36.

[8] Liu, T., Lim, K.P., Tjiu, W.C., Pramoda, K.P. & Chen, Z.K., Preparation and characterization of nylon 11/organoclay nanocomposites.Polymer, 44(27), pp. 3529, 3535, 2003

[9] Ming Qiu Zhang et al, Mechanical properties of low nano-silica filled high density polyethylene composites. Volume 43, Issue 2, pages 490–500, February 2003

[10] Large deformation rate-dependent stress–strain behavior of polyurea and polyurethanes. J. Yi, M.C. Boyce, G.F. Lee, E. Balizer ,Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, [11] W. Chen, F. Lu, M. Cheng, Tension and compression tests of two polymers underquasi-static and dynamic loading.Department of Aerospace and Mechanical Engineering, The University of Arizona, Tucson, AZ 85721-0119, USA

[12] Dario Vangi Simplified method for evaluating energy loss in vehicle collisions. J Accident Analysis and Prevention 41(2009) G33-641

[13] Dario Vangi Energy loss in vehicle to vehicle oblique impact. . J International jornal of impact engineering. 36 (2009) 512-521

[14] A Numerical Side Impact Model to Investigate Thoracic Injury in Lateral Impact Scenarios. By Brett M. Campbell A thesis presented to the University of Waterloo for the degree of Master of Applied Science in Mechanical Engineering Waterloo, 2009

[15] http://www.iranpolymerinstitute.org

[16] J.F.Doyle - Modern experimental stress analysis completing the solution of partially specified problems, James F. Doyle Purdue University, Lafayette,USA John Wiley & Sons Ltd, Copyright © 2004

[18] Head Injury Criterion and the ATB By BrainG .McHenry McHenry software,Inc. ATB Users' Group 2004.page8 of8