بررسی شدت تصادفات بر اساس جذب انرژی در فرآیند برخورد

مقاله علمی – پژوهشی

محسن سنگین‌آبادی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
محسن فلاح زواره*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
هادی صبوری، استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.fallah@khu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰– پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵
صفحه ۳۶۶-۳۵۳

چکیده

افزایش روزافزون سوانح ترافیکی و خسارات و متوفیان آن، ایمنی ترافیک را تبدیل به یک چالش جهانی کرده است. هرکدام از شاخص‌های موجود بررسی کننده شدت تصادفات دارای فرضیاتی هستند که آن‌ها را از تداخلات واقعی دور می‌کند. در این پژوهش با بررسی تصادفات شبیه‌سازی‌شده و تحلیل نتایج آن، ایمنی موردبررسی قرار می‌گیرد. برای بررسی دقیق‌تر تصادفات و موشکافی فرآیند تصادف از روش‌های عددی المان محدود استفاده است. با استفاده از مدل‌های المان محدود و اجرای مدل‌های المان محدود تصادفات در نرم‌افزار Ls-Dyna باتوجه به زوایا و سرعت‌های نسبی در حالت‌های مختلف (محل برخورد دو خودرو) شبیه‌سازی شده‌اند. به عبارتی، تحلیل اجزاء محدود دینامیکی الاستیک-پلاستیک چند جسمی مورد شبیه سازی قرار گرفته است. با تحلیل نتایج و بررسی شرایط خودروها بعد از برخورد و با توجه به قانون پایستگی انرژی جنبشی، با بررسی انرژی جنبشی قبل از برخورد و بعد از برخورد، انرژی تلف‌شده در فرآیند برخورد محاسبه شده است. انرژی تلف‌شده در برخورد به‌صورت تغییر شکل در نواحی برخورد-خودرو- نمایان می‌شود. به‌این‌ترتیب برای هر حالت از برخورد با توجه به شرایط آن مقدار انرژی تلف‌شده قابل‌محاسبه است و به‌صورت گراف‌هایی برای هر حالت ارائه‌شده است. در شبیه‌سازی‌های انجام‌شده حالت‌های (مودهای) مختلف تغییر شکل (جهندگی، پارگی، کشیدگی و ...) در قطعات خودروها مشاهده شده است و در بررسی آثار تصادف مدنظر قرار گرفته است؛ بنابراین، با توجه به انرژی جذب‌شده در طول فرآیند برخورد، شدت برخورد قابل پیش‌بینی است.

واژه‌های کلیدی: ایمنی، تداخل ترافیکی، شبیه‌سازی تصادف، المان محدود، Ls-Dyna

۱-مقدمه

با توجه به گسترش تسهیلات حمل‌ونقلی و سهولت استفاده از وسایل نقلیه در کنار رشد اقتصادی و رفاهی ناشی از آن، تعداد و شدت حوادث ترافیکی افزایش‌یافته است. این حوادث، علاوه بر عواقب مادی برای افراد درگیر در تصادف، سبب اتلاف منابع، امکانات، نیروی انسانی و سرمایه‌های ملی می‌شوند. بر اساس آمار سازمان بهداشت جهانی نرخ جهانی فوت براثر تصادفات بر اساس ۱۰۰۰۰۰ نفر، ۱۸ نفر است، درحالی‌که این عدد در ایران ۲۰/۵ است (Global Status Report On Road Safety 2018). برای جلوگیری از صدمات نامبرده ناشی از حوادث، رعایت اصول و مفاهیم ایمنی، بسیار حائز اهمیت است. ایمنی در حمل‌ونقل یک مفهوم کلی است که شامل ایمنی مربوط به تمام اجزای مربوط

به راه می‌شود به‌عنوان‌مثال، ایمنی مربوط به حاشیه راه، ایمنی ایجادشده به‌واسطه هندسه راه (قوس‌ها) و ... (Road Safety 2017 Manual). در بررسی ایمنی راه روش‌هایی که ماهیت پیشگیرانه دارند و بر داده‌های غیرتصادف استوارند مطلوب محققین است (Aliaksei Laurshyn and Andras Varhelyi 2018). یکی از رویکردهایی که به بررسی شدت تصادفات می‌پردازد، شاخص Delta-V و یا استفاده از مفاهیم پایستگی انرژی جنبشی است (Paul and Ghosh 2021). برخوردهای اجسام در حالت کلی به دو صورت: الاستیک و غیر الاستیک صورت می‌پذیرد. در برخورد الاستیک پس از برخورد دو جسم، نسبت به هم واکنش نشان می‌دهند و از هم جدا می‌شوند (پرت می‌شوند). در برخورد غیرالاستیک دو جسم پس از برخورد به هم می‌چسبند و به عنوان یک جسم واحد حرکت می‌کنند (Halliday, Resnick, and walker 2013). این نوع برخوردها در تحلیل تصادفات مطلوب نیست به طورمثال، در برخورد وسیله نقلیه سنگین با یک وسیله نقلیه سبک، پس ار برخورد، وسیله نقلیه سبک پرت می‌شود. شاخص Delta-V با استفاده از قوانین پایستگی مومنتوم در علم فیزیک، در قبل از برخورد و بعد از برخورد به بررسی مکانیزم برخورد می‌پردازد و براین اساس شدت تصادف را مورد بررسی قرار می‌دهد. در روش‌های پیشین بررسی شدت تصادفات (ازجمله روش‌های مذکور) نواقصی وجود دارد. به‌عنوان‌مثال در این روش‌ها، برخورد کاملاً غیر الاستیک فرض می‌شود (دو خودرو پس از برخورد کاملاً به هم می‌چسبند)، هر خوردو به‌عنوان یک گوی در نظر گرفته می‌شود که تمام ویژگی‌های آن (ازجمله سختی) در تمام نقاط یکسان است و قابلیت ضربه‌پذیری در آن دیده نشده است و سیستم تصادف کاملاً ایزوله در نظر گرفته می‌شود و اصطکاکی بین چرخ‌ها با سطح زمین در نظر گرفته نمی‌شود. (Paul and Ghosh 2021; Aliaksei laurshyn et al. 2017). این محدودیت‌ها در این پژوهش با استفاده از روشی که در ادامه بررسی خواهد شد، برطرف می‌شوند. یکی از عواملی که نقش پیشگیرانه در کاهش شدت تصادفات دارد، خودرو (ایمنی خودرو) است و بررسی ایمنی خودروها یکی از روش‌های بررسی ایمنی و تصادف است. قابلیت ضربه‌پذیری یکی از عوامل مؤثر بر ایمنی است. بررسی قابلیت ضربه‌پذیری خودروها بر اساس عملکرد آن‌ها در هنگام وقوع تصادف و میزان تغییر شکل‌ها تعیین می‌گردد (Davies and Bastien 2021). انجام تست‌های تصادف برای حالت‌های مختلف از برخورد به دلیل هزینه‌های بالای این نوع آزمایشات مطلوب محققین نیست و برای حل این مشکل از روش‌های عددی برای بررسی و شبیه‌سازی تصادفات استفاده می‌گردد به عبارتی از مدل‌های چندجسمی که دارای پلاستیسیته‌اند و در حالت دینامیکی قرار دارند استفاده می‌شود. با توجه به اینکه هر قطعه از خودرو دارای عملکرد متفاوتی در زمان برخورد است (قابلیت ضربه‌پذیری در قطعات متفاوت است). بنابراین، برای تحلیل عددی تصادفات، مدل‌های دقیقی از خودروها با مش بندی مناسب مورد نیاز است (Bhardawaj, Sharma, and Sharma 2020). در این پژوهش برای بررسی مدل‌های برخورد چند جسمی، از تحلیل الاستوپلاستیک (الاستیک-پلاستیک) استفاده شده است. به این‌صورت که متناسب با مقدار ضربه، برخی بخش‌ها آسیب دیده و دچار پلاستیسیته می‌شوند، اما بعضی دیگر از بخش‌ها (مثلاً نواحی دور از ضربه) آسیب ندیده و سالم و الاستیک باقی خواهند ماند. این نوع تحلیل، از مزایای روش اجزاء محدود برای تحلیل تصادفات است. به‌این‌منظور از نرم‌افزار Ls-Dyna جهت شبیه‌سازی برخورد استفاده شده است.

یکی از روش‌هایی که ماهیت پیشگیرانه دارد و شدت برخورد را بررسی می‌کند، می‌توان بررسی انرژی آزادشده (جذب‌شده) در تصادف و به‌تبع آن میزان تغییر شکل و خسارت وارد به خوردو را معرفی کرد. به‌این‌ترتیب یکی از روش‌های بررسی ایمنی، بررسی فرآیند برخورد و موشکافی فرآیند تصادف است. از عوامل مؤثر بر انتقال انرژی و خسارت وارد بر خودروها می‌توان به جرم خودروهای درگیر در تصادف اشاره کرد (Wang et al. 2021). توزیع سختی در نقاط مختلف خودرو از دیگر عوامل مهم در تعیین جذب انرژی و خسارت است (Bhardawaj, Sharma, and Sharma 2020). با پیشرفت تکنولوژی‌های کامپیوتری، استفاده از مدل‌های عددی (المان محدود) برای شبیه‌سازی تصادف، روشی دقیق و کاربردی و در دسترس است. با تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی، با توجه به شرایط وسایل نقلیه قبل از برخورد، آثار بعد از برخورد قابل پیش‌بینی است (Paul and Ghosh 2021). به‌طور مثال با شبیه‌سازی فرایند تصادف و بررسی قوانین پایستگی انرژی جنبشی، میزان انرژی تلف‌شده و به تبع آن میزان خسارت وارده به خودروهای دخیل

در تصادف تعیین می‌گردد. در این پژوهش با استفاده از مدل‌های المان محدود خودروها و با شبیه‌سازی فرایند تصادف، محدودیت‌های ذکر شده در روش‌های قبلی برای بررسی شدت تصادفات، برطرف شده است و با بررسی انرژی تلف‌شده در تصادف میزان خرابی در وسایل نقلیه در فرآیند تصادف پیش‌بینی خواهد شد. به‌این‌ترتیب قبل از وقوع تصادف، با توجه به تمام ویژگی‌های حرکتی و بدون درنظرگیری شرایط خاص (فرضیات روش‌های پیشین) تصادفات مورد بررسی قرار می‌گیرند و باتوجه به تغییرات انرژی در فرآیند برخورد، تغییر شکل در خودروها قابل پیش‌بینی خواهد بود.

۲- روش تحقیق

بازسازی فرآیند تصادف به‌طورکلی در دودسته انجام‌پذیر است: ۱- بازسازی به روش معکوس (رسیدن به شرایط اولیه بر اساس خسارت‌های حاصل از تصادف) ۲- بازسازی تصادف بر اساس فرایند واقعی (محاسبه خروجی‌های حاصل از برخورد با توجه به شرایط اولیه معلوم). با توجه به آنکه روش معکوس و بررسی تصادف پس از وقوع آن، با استفاده از مفاهیم ساده‌سازی شده فیزیکی انجام می‌گردد و بررسی پس از وقوع حادثه مطلوب محققین نیست، این پژوهش با بررسی و بازسازی فرآیند تصادفات انجام‌شده است. با گسترش تکنولوژی‌های کامپیوتری، از شبیه‌سازی‌های عددی برای بازسازی تصادفات استفاده‌شده است. بر اساس نوع محیط و وسیله نقلیه، مدل‌های انسانی بر اساس بسترهای شبیه‌سازی عددی ارائه‌شده است که با اطلاعات ورودی به‌طور کامل اطلاعات مربوط به فرآیند تصادف را ذخیره می‌کند (peng, Huang, and Wang 2021).

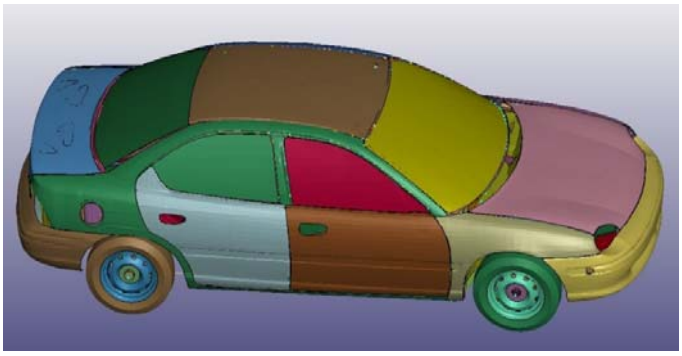
۳- تحلیل تصادف با مدل المان محدود

جهت بررسی تصادفات خودرو به خورد و فرآیندی که در آن طی می‌شود از شبیه‌سازی تصادفات توسط مدل‌های المان محدود استفاده شده است. مدل‌های المان محدود، با توجه به مش بندی انجام‌شده، دقت‌های متفاوتی در تحلیل خواهند داشت. در این پژوهش از مدل خام خودرو ارائه‌شده توسط NHTSA، استفاده شده است که با توجه به ویژگی‌های مدل موجود، دقت مناسبی دارد. این مدل‌ها رفتار الاستیک و پلاستیک رخ‌داده در فرایند تصادف را مدل می‌کنند و نتایج را بر اساس آن نشان می‌دهند. مدل استفاده شده در این تحقیق یک مدل چند جسمی (برخلاف تحقیقات قبلی انجام شده) متحرک است که از دقت مناسبی برخوردار است. در فرایند تصادف لزوماً قطعات، فقط دچار تغییر شکل نمی‌شوند. بلکه مودهای پارگی و خردشدگی (مانند اجزاء پلاستیکی و پلیمری) در اجزاء اتفاق می‌افتد و اجزاء با کرنش صورت گرفته (که از نوع پلاستیک است) دیگر به حالت اولیه برنمی‌گردند (Rai and Dubey 2013). این اتفاق درمورد اتصالات نیز مشاهده می‌شود. اتصالات قطعات (از طریق جوش) در برخورد و تحت تنش واردشده به آن دچار تغییر شکل‌های پلاستیک می‌شوند و این تغییر شکل باعث پارگی در نواحی اتصال می‌شود (Cheng 2005).

۳-۱-مشخصات خودرو انتخابی جهت شبیه‌سازی

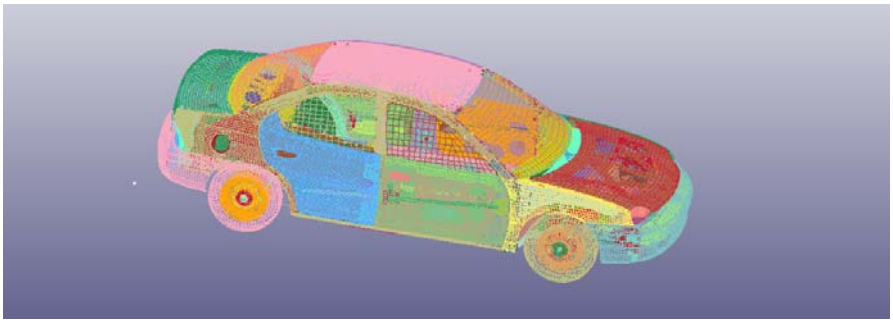
خودرو انتخابی با توجه به خودرو غالب در سطح راه‌ها (علی‌الخصوص ازنظر ابعاد)، خودرو Dodge Neon1996 است. برخی از ویژگی‌های مدل المان محدود این خودرو عبارت است از:

ابعاد: ٤/٤*١/٧ (متر)
سال ساخت: ١٩٩٦
تعداد المان: ٢٧١١١١
تعداد قطعات: ٣٣٧
تعداد گره: ٢٨٣٨٥٩
تعداد قید: ٤٩٤١
وزن: ١٤٠٠ کیلوگرم

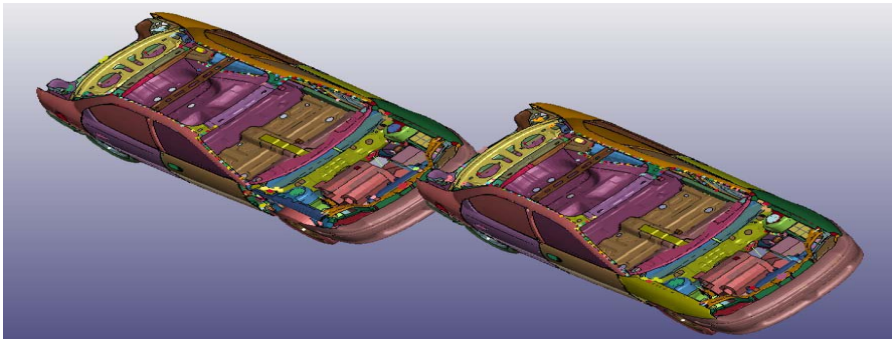


شکل ۱. خودرو استفاده‌شده در شبیه‌سازی

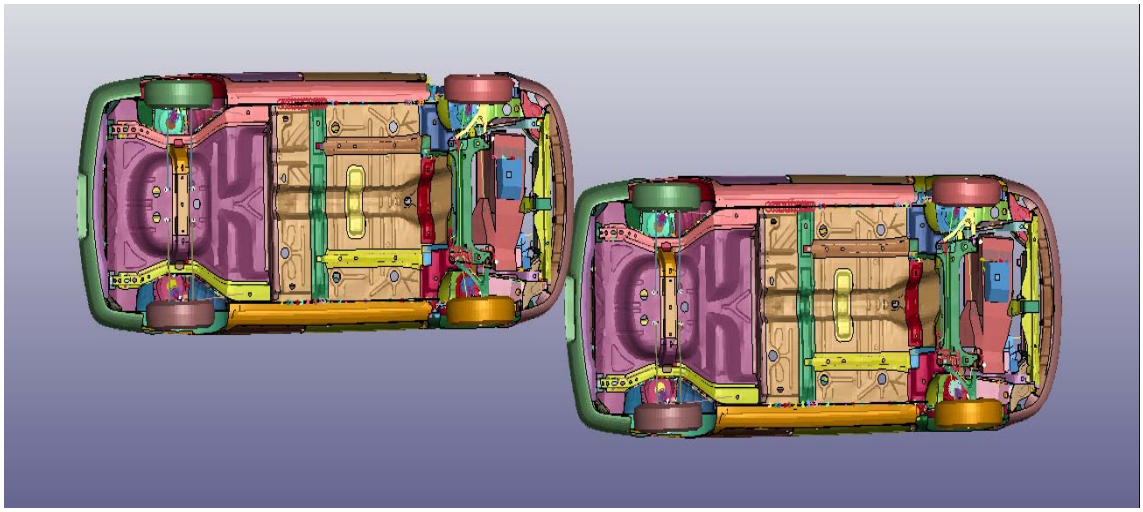
مدل المان محدود هر خودرو دارای ویژگی‌های منحصربه‌فرد است. به‌طور مثال برخی از قیدهای تعریف‌شده بین اجزاء خودرو تعریف‌شده است، عبارت است از: جوش‌های معمولی زنجیره‌ای بین قطعات و جوش‌های نقطه‌ای در قطعات. نوع دیگری از قیدها، ایجاد اتصالات مفصلی بین قطعات است. نوع دیگری از قیدهای موجود، قیدهای مربوط به جسم صلب است که بر دو نوع استوار است: ۱- مدل جسم صلب نقطه‌ای ۲- مدل جسم صلب معمولی قطعات. علاوه بر قید، نوع تماس، یکی دیگر از ویژگی‌های مدل المان محدود است. انواع تماس در مدل عبارت است از: تک سطح اتوماتیک، تماس سطح به سطح اتوماتیک، تماس پوسته به سطح. مدل‌های مکانیکی مصالح (ازجمله مدول الاستیسیته، استحکام، سختی و ...) در مدل خودرو، همان مدل‌های واقعی مصالح در حالت واقعی است.



شکل۲. شبکه مش بندی خودرو



شکل۳. جزئیات خودروهای دخیل در تصادف



شکل ٤. جزئیات خودرو مدل، از نمای زیر

٤-نرم‌افزار مورداستفاده جهت شبیه‌سازی

جهت شبیه‌سازی تصادف از نرم‌افزار Ls-Dyna استفاده شده است. روش المان محدود به‌عنوان یکی از پرکاربردترین روش‌های عددی در حل مسائل مختلف مهندسی به کمک رایانه شناخته می‌شود. نرم‌افزارهای متعددی در زمینه‌های مختلف مهندسی بر پایه این روش گسترش‌یافته‌اند. یکی از حل‌گرهای اجزا محدود قدرتمند که برای شبیه‌سازی پدیده‌های دینامیکی پیچیده مورداستفاده قرار می‌گیرد، حل‌گر Ls-Dyna است. این نرم‌افزار علاوه بر تحلیل‌های دینامیکی، قادر به حل مسائل گوناگون در حوزه‌های مختلف ازجمله مکانیک جامدات، دینامیک سیالات و دیگر حوزه‌های مهندسی مکانیک است. شیوه اصلی حل مسائل المان محدود دینامیکی در آن نیز بر پایه روش صریح است. جهت اجرای مدل‌های موجود از سرورهای پردازش موازی به جهت افزایش سرعت اجرا استفاده شده است و مدت‌زمان موردنیاز جهت اجرای هر شبیه‌سازی در این سرورها حدود ٢٤ ساعت بوده است. پس از اجرای شبیه‌سازی، در نرم‌افزار Ls-Pre-Post نتایج شبیه‌سازی‌ها استخراج شده است و سپس به اکسل منتقل شده است و نتایج در اکسل مورد پردازش قرار گرفته‌اند.

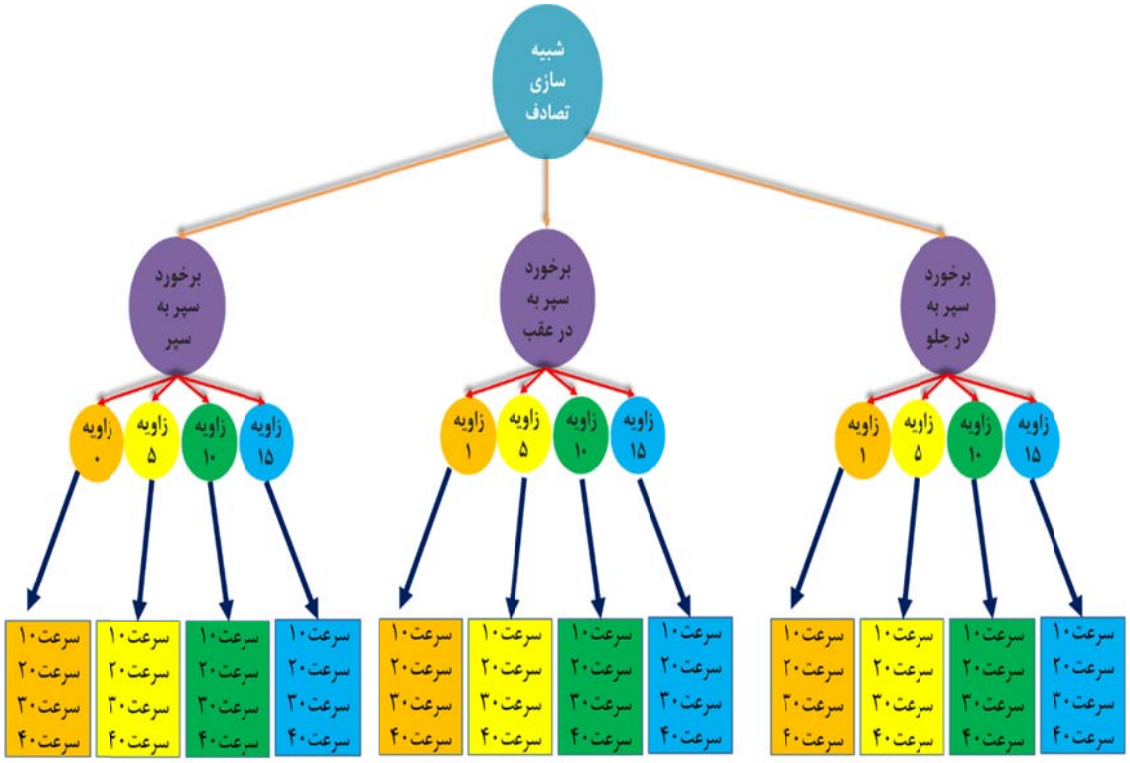
٤-١-انواع حالات برخورد

برای تعیین انواع حالت‌های ممکن در برخورد خودروها به همدیگر، سه نوع متداول از تصادفات که شامل تصادفات جلو به عقب و تصادفات از بغل (administration(NHTSA traffic safety facts 2018) هستند مورد بررسی قرار گرفتند. حالت‌های ممکن که مورد بررسی قرار گرفته‌اند، عبارتند از شکل ٥، که در ادامه مشاهده می‌شود.

برخورد سپر جلو خودرو عقبی به سپر عقب خودرو جلویی

برخورد سپر جلو خودرو عقبی به درب عقب خودرو جلویی

برخورد سپر جلو خودرو عقبی به درب جلو خودرو جلویی



شکل ۵. انواع حالات مختلف شبیه‌سازی

با توجه به آنکه خودروها در هنگام تصادف موازی هم نیستند و نسبت به هم زاویه دارند، هرکدام از سناریوهای شبیه‌سازی تصادف با استفاده از زوایا و سرعت‌های نسبی، بر اساس پردازش داده‌های NGSIM انتخاب‌شده‌اند. پس از پردازش داده‌های NGSIM در نرم‌افزار متلب، سرعت‌ها و زوایای نسبی به صورتی که در شکل۵ آورده شده است تعیین شده است. بنابراین، باید برای ۳*۱۶=۴۸ حالت مختلف از تصادف، شبیه‌سازی صورت می‌گرفت که در شکل ۵ به‌صورت شماتیک نشان داده شده است. به این ترتیب اهمیت کار، بررسی و تحلیل خسارت حاصل از تصادف براساس حالت‌های مختلف برخورد (محل برخورد دوخودرو) و شرایط متفاوت حرکتی (سرعت نسبی، زاویه نسبی) خواهد بود.

٤-۲-تحلیل نتایج شبیه‌سازی

خروجی‌های نرم‌افزار Ls-Dyna برحسب کاربردهای متفاوت و اهداف متفاوت محققین به‌صورت کلی ارائه می‌گردد و سپس در ادامه می‌تواند مورد پردازش مجدد قرارگرفته و داده‌های مطلوب حاصل گردد. هدف این پژوهش یافتن انرژی تلف‌شده در فرآیند برخورد، توسط قطعات و اجزای درگیر در برخورد است؛ بنابراین با بررسی قطعات درگیر در برخورد، انرژی تلف‌شده در برخورد محاسبه‌شده است. برای محاسبه انرژی تلف‌شده در برخورد از مفاهیم انرژی جنبشی استفاده شده است. با محاسبه نسبت انرژی‌های جنبشی قبل و بعد از برخورد، به صورتی که در روابط ۳ و ٤ آورده شده است، مقدار جذب نسبی انرژی (رابطه ٤) محاسبه‌شده است.

$$E_{k1} + E_{k2} = E'_{k2} + E'_{k1} + U \quad (۱)$$

$$\frac{1}{2}m_1 V_1^2 + \frac{1}{2}m_2 V_2^2 = \frac{1}{2}m_2 V'^2_2 + \frac{1}{2}m_2 V'^2_2 + U \quad (۲)$$

$$\frac{E'k1 + E'k2}{Ek1 + Ek2} \quad (۳)$$

$$1 - \frac{E'k1 + E'k2}{Ek1 + Ek2} \quad \text{(جذب نسبی انرژی)} \quad (٤)$$

$$\frac{E'k1 + E'k2}{Ek1 + Ek2} \quad \text{(سلامت نسبی)} \quad (٥)$$

Ek1: انرژی جنبشی اولیه در جسم اول

Ek2: انرژی جنبشی اولیه در جسم دوم

E'k1: انرژی جنبشی ثانویه در جسم اول

E'k2: انرژی جنبشی ثانویه در جسم دوم

U: انرژی تلف‌شده در فرآیند برخورد

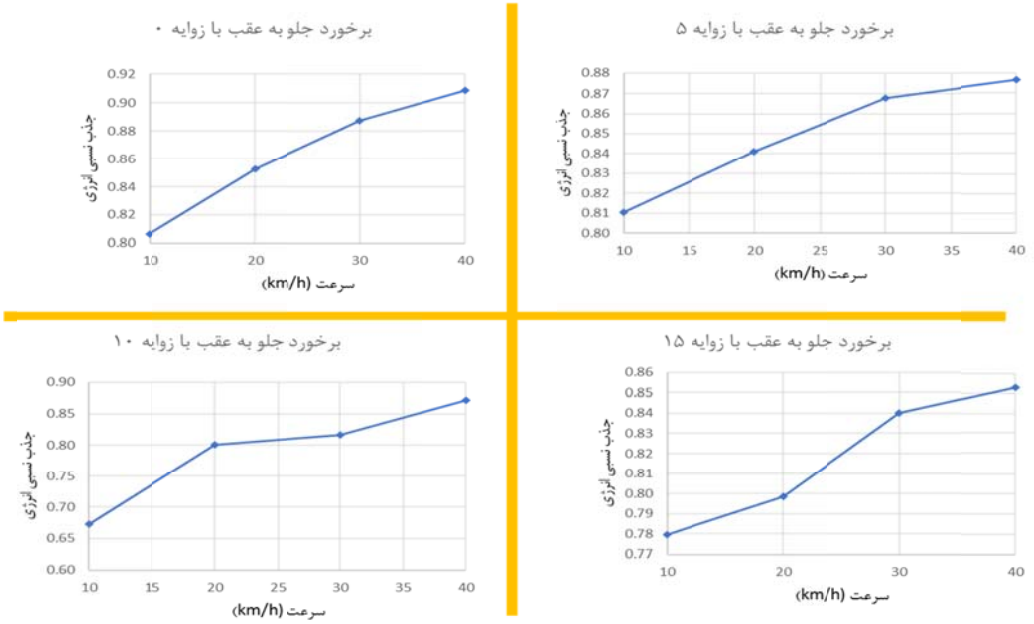
m1 و m2 : جرم اجسام موردبررسی

معادله ۳ با محاسبه نسبت انرژی جنبشی قبل و بعد از برخورد درکی از میزان انرژی تلف شده می‌دهد. با کمتر شدن مقدار رابطه (۳) قابل نتیجه‌گیری است که خسارت اتلاف انرژی زیاد شده است. رابطه (٤) برای بررسی جذب انرژی نسبی معرفی‌شده است و مقدار کم این رابطه بیانگر اتلاف انرژی کمتر است، با نزدیک‌تر شدن مقدار این رابطه به عدد یک ، مقدار اتلاف انرژی افزایش می‌یابد. نکته حائز اهمیت در روابط (۳) و (٤)، وابستگی کمتر به جرم است (با درنظر گیری نسبت آن به جای مقدار آن). بنابراین نتایج حاصل شده با استفاده از این روابط قابل‌تعمیم به انواع دیگری از خودروها خواهد بود. رابطه (۵) بیانگر سلامت نسبی است، به این ترتیب با افزایش مقدار این رابطه، جذب انرژی کاهش می‌یابد و به تبع آن خسارت کاهش می‌یابد و با کاهش مقدار رابطه (۵)، به طور مشابه خسارت افزایش می‌یابد.

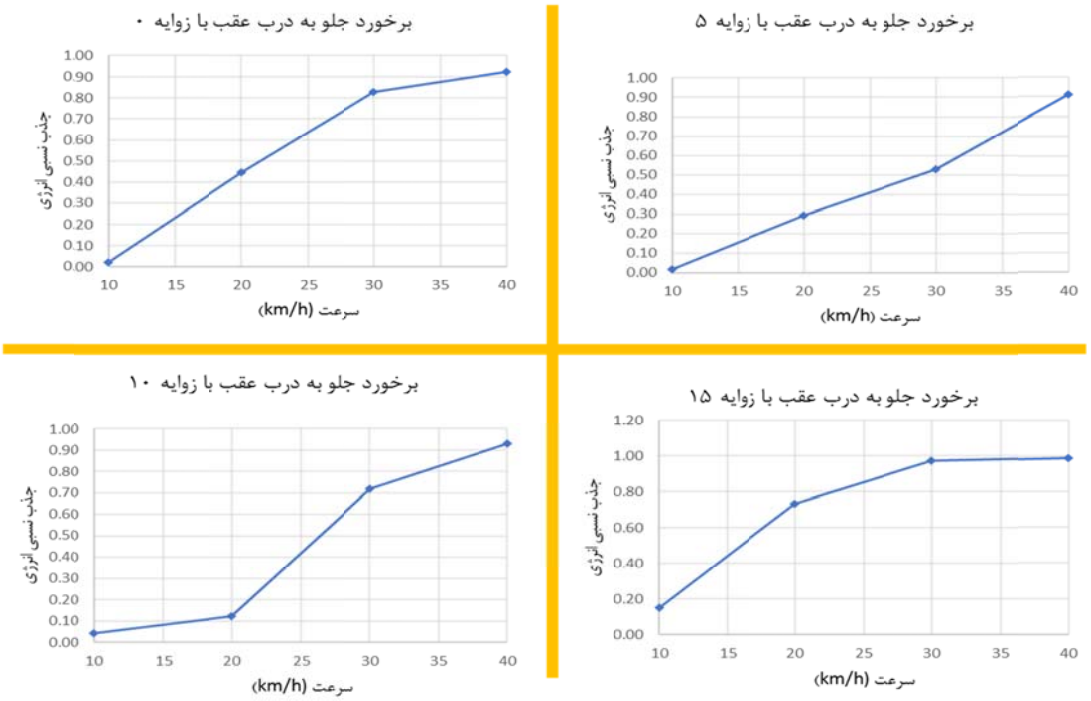
نتایج تحلیل

در شبیه‌سازی‌های انجام‌شده، برای هر شبیه‌سازی، با توجه به انرژی جنبشی قبل از برخورد و بعد از برخورد، مقدار جذب نسبی انرژی محاسبه شده است (رابطه٤). بنابراین برای هر شبیه‌سازی بر اساس محل برخورد، زاویه برخورد و سرعت نسبی دو خودرو میزان جذب نسبی انرژی قابل‌محاسبه است. این روند برای تمام شبیه‌سازی‌های انجام‌شده تکرار شده است و درنهایت برای هر شبیه‌سازی میزان جذب نسبی انرژی در برخورد، بر اساس موارد ذکرشده محاسبه شده است. درمجموع برای تمام حالاتی که شبیه‌سازی برخورد انجام شده است، نمودار جذب نسبی انرژی در مقابل سرعت نسبی برخورد رسم شده است. به‌این‌ترتیب قبل از برخورد، میزان جذب نسبی انرژی در قطعات درگیر در برخورد قابل‌محاسبه است. ازآنجاکه انرژی در فرآیند برخورد توسط گرما و تغییر شکل در قطعات درگیر در تصادف ظاهر می‌شود، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که روند حاکم بر نمودارهای جذب انرژی نسبی- سرعت (با توجه به نوع برخورد (سناریو برخورد) و زاویه برخورد) بر تغییر شکل (خرابی) برحسب پارامترهای مشابه، حاکم است. از طرفی با بررسی مقدار خسارت حاصل‌شده در برخورد (شکل ۹) ملاحظه می‌گردد. با افزایش سرعت نسبی بین دو خودرو درگیر در تصادف میزان تغییر شکل افزایش می‌یابد و روند موجود در تغییر شکل برای یک مورد خاص متناسب با روند جذب انرژی نسبی در شکل‌های٦،٧،٨ است. بنابراین، روند موجود در نمودارهای جذب انرژی نسبی- سرعت نسبی، به تغییر شکل و خرابی قابل‌تعمیم است و نتایج گراف‌های جذب انرژی نسبی- سرعت نسبی، قابل تعمیم به خسارت ایجاد شده در تصادف است. همچنین

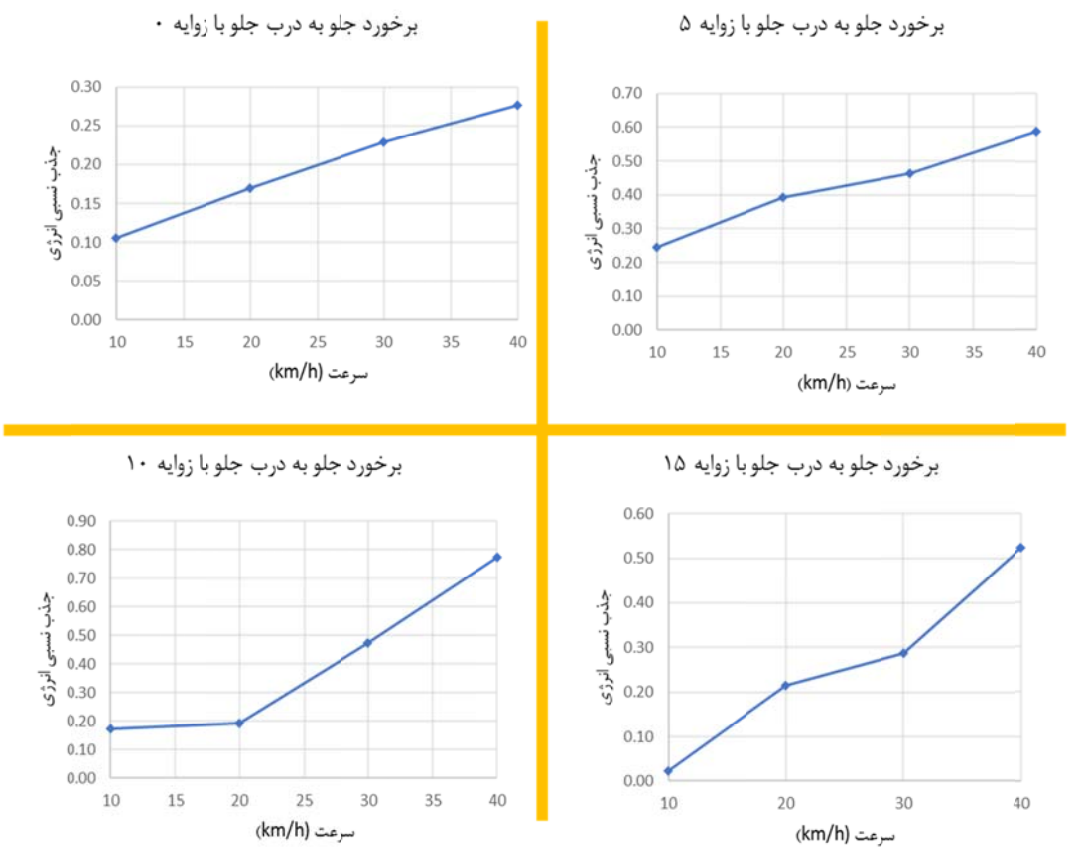
آن‌طور که از شکل‌های٦، ۷، ۸ پیداست، با توجه به نوع برخورد، زاویه برخورد و سرعت نسبی در برخورد می‌توان به‌صورت دقیق میزان جذب انرژی نسبی در برخورد را محاسبه کرد و همانطور که ذکر شد: افزایش انرژی تلف‌شده در برخورد به معنی صرف انرژی در تغییر شکل قطعات و اجزاء خودرو است.



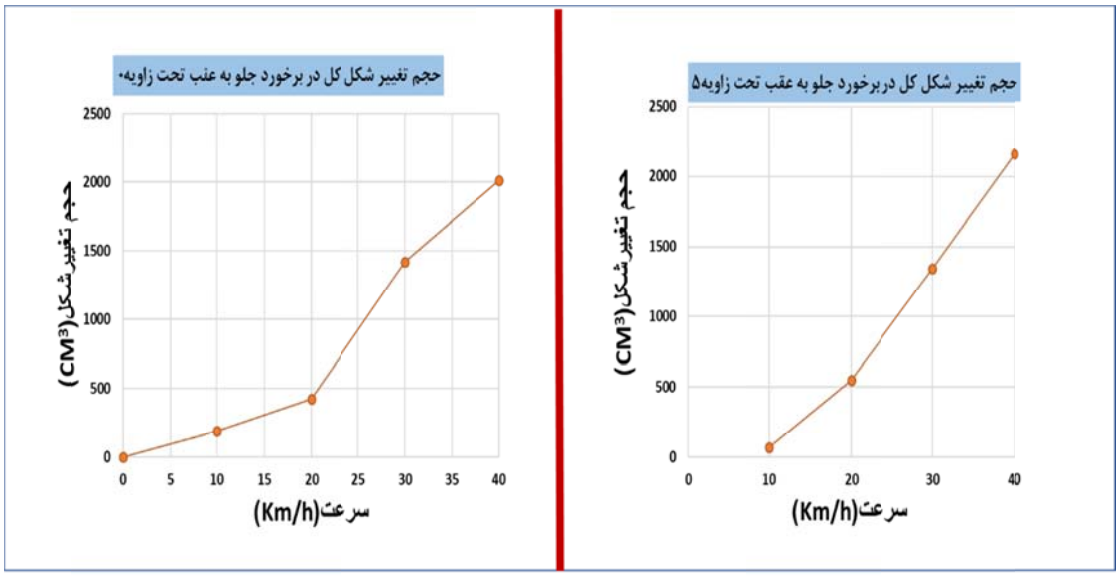
شکل ٦. نمودارهای انرژی تلف‌شده- سرعت نسبی برحسب نوع و زاویه برخورد در برخورد جلو به عقب



شکل ۷. نمودارهای انرژی تلف‌شده- سرعت نسبی برحسب نوع و زاویه برخورد در برخورد سپر به درب عقب



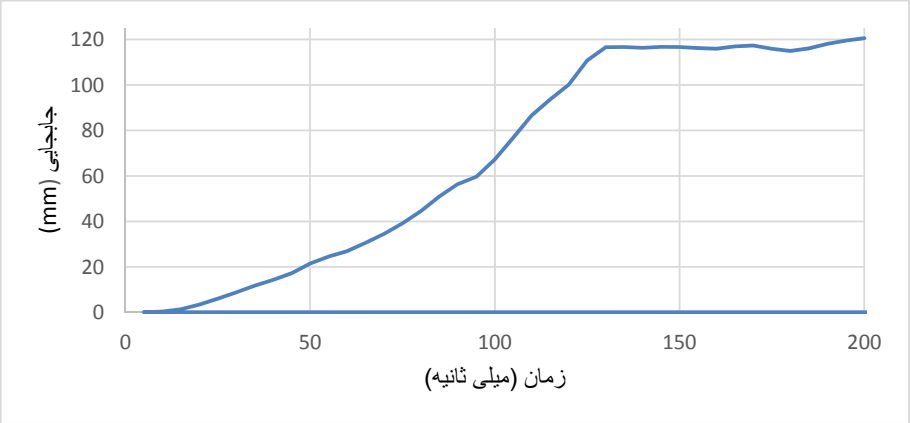
شکل ۸. نمودارهای انرژی تلف‌شده- سرعت نسبی برحسب نوع و زاویه برخورد در برخورد سپر به درب جلو



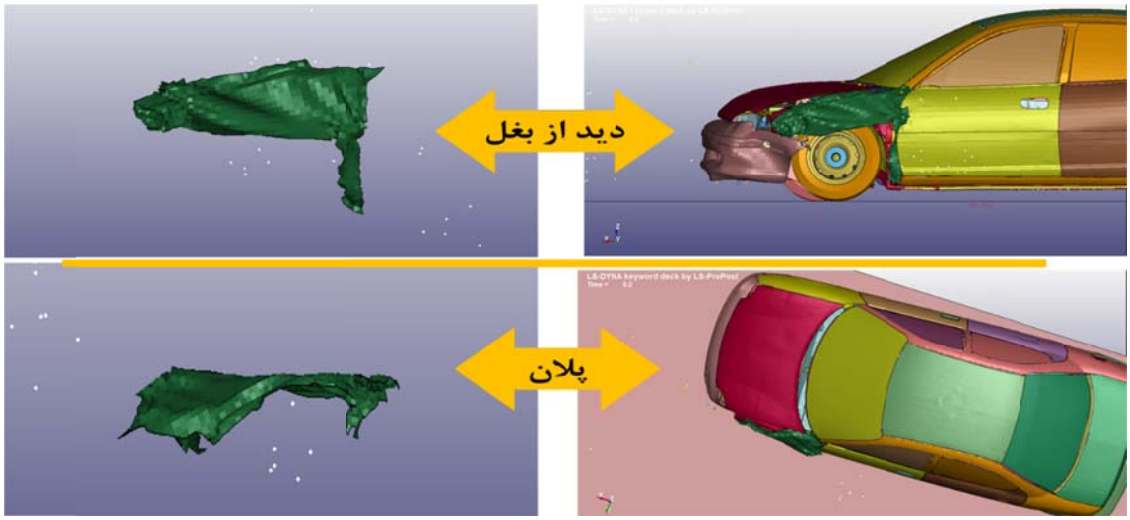
شکل ۹. حجم تغییرشکل در برخورد جلو به عقب

نکته قابل‌توجه در شبیه‌سازی‌ها، تغییر حالت (mode) قطعات درگیر در برخورد است که باعث تغییر در روندها و ایجاد روندهای برخلاف انتظار است. با بررسی جزئی‌تر در رفتار قطعات درگیر در برخورد، ملاحظه می‌گردد، لزوماً افزایش سرعت باعث افزایش خرابی نمی‌گردد. می‌توان تغییر حالت مصالح و قطعات را برای توجیه این مسئله بررسی کرد. درواقع با توجه به شکل ۱۰، ۱۱ و ۱۲ ملاحظه می‌گردد در طول زمان برخورد، رفتار مصالح بسیار پیچیده است و مصالح دچار پارگی، جهندگی، مچالگی و کشیدگی می‌شوند که باعث تغییر در رفتار خواهد شد و نتایج برخلاف انتظار خواهد بود. نکته دیگری که حائز اهمیت است، در بازه‌ای از تصادف، قطعه موردنظر دچار ثبات در رفتار شده است و حتی بازگشت به حالت قبلی خود را نشان می‌دهد (بازه ۰/۱۵ تا ۰/۲ ثانیه).

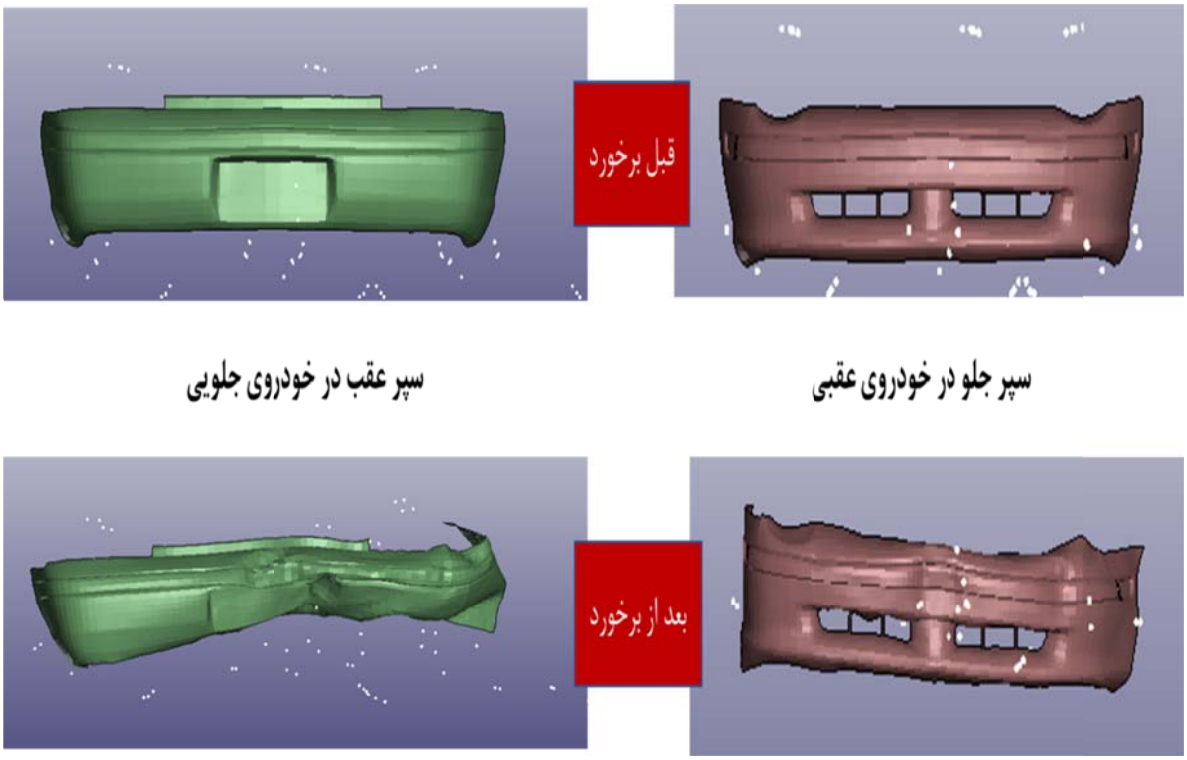
بنابراین، با توجه به شرایط خودروها نسبت به هم و نوع تصادفی که باهم خواهند داشت، میزان جذب انرژی نسبی و همچنین میزان سلامت نسبی در خودروها با توجه به روابط (٤) و (٥) قابل محاسبه است. در محاسبه مقادیر روابط (٤) و (٥) تمام ویژگی‌های برخورد واقعی مدنظر قرار گرفته است (ازجمله مچالگی، جهندگی و کشیدگی در قطعات خودرو یا چرخش و جابجایی های دورانی خودروها، تحلیل حالت های الاستوپلاستیک در مصالح موجود) و بر اساس آن نتایج ارائه شده است.



شکل ۱۰. بررسی رفتار یک قطعه درگیر در تصادف در مدت‌زمان وقوع تصادف



شکل ۱۱. شماتیک قطعه دچار تغییر حالت شده در نماهای مختلف



شکل ۱۲. مچالگی و جمع شدگی در سپر خودروها

۵-نتیجه‌گیری

روش‌های موجود برای بررسی شدت تصادفات برمبنای مفاهیم ساده فیزیکی هستند و برمبنای فرضیات محدود کننده عمل می‌کنند که بررسی تصادفات را از واقعیتی که به وقوع می‌پیوندد دور می‌سازد، از جمله بررسی غیرالاستیک تصادف، عدم درنظرگیری توزیع سختی و عدم درنظرگیری قابلیت ضربه‌پذیری در خودروها. بنابراین مطالعه تصادفات باید با استفاده از شبیه‌سازی مسئله واقعی انجام شود و هرچه که مدل‌های موردبررسی تقویت شوند، نتایج دقیق‌تر خواهد بود. استفاده از مدل‌های اجزاء محدود باعث کاهش زمان بررسی و کاهش هزینه‌ها می‌گردد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی تصادفات، بیانگر رابطه مستقیم بین جذب نسبی انرژی و تغییر شکل خودرو و قطعات دخیل در برخورد است. با شرایط اولیه دو خودرو قبل از تصادف، جذب نسبی انرژی در تصادف محاسبه می‌گردد و بر اساس جذب نسبی انرژی خسارت واردشده به خودروها مشخص می‌گردد. در این روش برخلاف روش‌های قبلی، از فرضیات ساده کننده استفاده نشده است و تمام شرایط مؤثر ازجمله مچاله شدگی، کشیدگی و جهندگی قطعات در نظر گرفته شده است. به‌این‌ترتیب با دقت بالایی جذب نسبی انرژی و سلامت نسبی خودروها قابل محاسبه خواهد بود و به تبع آن میزان خسارت وارد برخودرو (شدت تصادف) بدون در نظرگیری فرضیات ساده کننده و شرایط خاص تعیین می‌گردد. به این ترتیب با درنظرگیری شرایط واقعی و بدون فرضیات ساده کننده (برخلاف روش‌های موجود پیشین)، شدت تصادف با استفاده از خسارت وارد شده به خودرو با بررسی انرژی نسبی جذب شده در اجزاء خودروها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

٦-مراجع

-آیین نامه ایمنی راه‌های کشور (١٣٩٦).

-Administration(NHTSA) Traffic Safte Facts (2018). *National Highway Traffic Safety.*

-Aliaksei Laurshyn and Andras Varhelyi (2018). The Swedish Traffic Conflict, Observers Manuals. *LUND University*.

-Aliaksei laurshyn, Tim De Cenynck, Christoffer Karlsson, and Ase Svensson (2017). In Search of the Severity Dimension of Traffic Events: Extended Delta-V as a Traffic Conflict Indicator. Accident Analysis & Prevention 98, 46–56.

-Bhardawaj, Sono, Rakesh Chandmal Sharma, and Sunil Kumar Sharma (2020). Analysis of Frontal Car Crash Characteristics Using ANSYS. Materials Today: Proceedings, *2nd International Conference on Computational and Experimental Methods in Mechanical Engineering,* 25 (January), 898–902.

-Cheng, Wentao (2005). In-Plane Shrinkage Strains and Their Effects on Welding Distortion in Thin-Wall Structures, 289.

-Davies, Huw C., and Christophe Bastien. (2021). An Approach for the Crash Safety Assessment of Smaller and Lightweight Vehicles. Transport Policy 105 (May), 12–21.

-Global Status Report On Road Safety (2018). Global Status Report On Road Safety.

-Halliday, David, Robert Resnick, and jearl walker (2013). Fundamentals of Physics, Extended, 10th Edition. Wiley.Com.

-Paul, Madhumita, and Indrajit Ghosh (2021). Development of Conflict Severity Index for Safety Evaluation of Severe Crash Types at Unsignalized Intersections under Mixed Traffic. *Safety Science 144*, (December): 105432.

-peng, young, helai Huang, and Xinghua Wang (2021). In-Depth Crash Analysis and Accident Investigation. *In International Encyclopedia of Transportation,* 346–50.

-Rai, Shyamkumar, and A K Dubey (2013). Elasto-Plastic Strain Rate Dependent Material Characterization of Steel Grade for Crash Simulation, 4 (3): 6.

-Wang, Ying, Huizhao Tu, N. N. Sze, Hao Li, and Xin Ruan, (2021). A Novel Traffic Conflict Risk Measure Considering the Effect of Vehicle Weight. *Journal of Safety Research, September.*

An Estimation of Road Crash Severity Based on Energy Absorption

Mohsen Sanginabadi, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran.
Mohsen Fallah Zavareh, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran.
Hadi Sabouri, Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran.

E-mail: m.fallah@khu.ac.ir

Received: June 2023- Accepted: November 2023

ABSTARCT
An ever-increasing number of fatal and severe injury road crashes have made road safety a long-lasting worldwide challenge. Behind any traffic conflict indicators are assumptions that take them away from the real road crashes. To relax the inelastic assumption, we conducted road crash analysis using multi-body elastoplastic dynamic finite element simulations in Ls-Dyna. We considered different crash scenarios defined by collision angle, relative velocities of vehicles involved, and the area of impact on vehicle bodies. Analyzing vehicle crashes using the law of conservation of energy, we calculated the amount of dissipated energy during a crash. The dissipated energy is revealed as the extent of damage to vehicle bodies during a crash. For each crash scenario, the amount of absorbed energy was calculated, and different modes of failure were observed.

Keywords: Traffic Safety, Traffic Conflict, Crash Simulation, Finite Element, Ls-Dyna