

تست‌های مربوط به بدنه خودرو پرداخته می‌شود [۲].

خودروهای مدرن امروزی همراه با مجموعه‌ای از امکانات ایمنی برای محافظت از سرنشینان و عابران پیاده در هنگام تصادف به دست خریداران می‌رسند. علاوه بر این‌ها سیستم‌هایی نیز برای جلوگیری از بروز تصادف در خودروها روی آن‌ها نصب می‌شود. این دو ویژگی متفاوت ایمنی در خودروها را ایمنی فعال و غیرفعال می‌نامند. ایمنی فعال به سیستم‌ها و تجهیزاتی اطلاق می‌شود که به راننده کمک می‌کنند تا خودرو تحت کنترل باشد و به این وسیله از تصادف جلوگیری شود [۳]. بزرگ‌ترین علت تصادفات، خطای انسانی است و این سیستم‌ها سعی در خنثی ساختن یا دست‌کم، کاستن آن دارند. برای مثال ترمزهای ABS مانع از قفل شدن چرخ‌ها شده و فرمان‌پذیری خودرو در حین ترمز گرفتن را ممکن می‌سازند. سیستم‌های TSC یا کنترل کشش از لغزش چرخ‌ها در زمان شتابگیری جلوگیری به عمل آورده و ESC یا سیستم کنترل پایداری نیز خودرو را تحت کنترل نگه می‌دارد، اما ایمنی غیرفعال به سیستم‌هایی اطلاق می‌شود که از راننده و سرنشینان هنگام بروز تصادف محافظت می‌کنند. کیسه‌های هوا، کمربندهای ایمنی، شیشه‌های جلو چندلایه و پشتی سر صندلی‌ها جزو امکانات ایمنی غیرفعال خودروها به حساب می‌آیند [۲].

به‌منظور رتبه‌بندی ایمنی خودرو چندین عامل مورد نمره دهی قرار می‌گیرند. به‌منظور برآورد ایمنی سازه، مهندسان میزان تورفتگی در نقاط حساس بدنه، چه در داخل و چه خارج اتاقک را بعد از تصادف اندازه‌گیری می‌کنند. میزان تورفتگی به‌خوبی قدرت شاسی و بدنه خودرو برای جذب ضربه را نشان می‌دهد. طبق قانون چقرمگی، هرچقدر بدنه توانایی جذب بیشتری داشته باشد باید بیشتر تورفتگی داشته باشد [4]. این امر بسیار مطلوب است زیرا ضربه جذب بدنه شده و به سرنشینان منتقل نمی‌گردد. البته میزان تورفتگی و قرشدگی باید مقدار معقولی باشد و نباید بیش‌ازحد باشد. در سرنشینان مصنوعی که در خودرو قرار می‌گیرند، حسگرهایی در سر، گردن، قفسه سینه، پاها و دست‌ها برای اندازه‌گیری شدت ضربه و نیرو واردشده قرار دارد [۵] که این اندازه‌گیری‌ها کمک می‌کنند مقدار آسیب در یک تصادف در شرایط واقعی پیش‌بینی شوند. پشتی‌های سر که در بالای صندلی قرار دارند نقش بسیار مهمی در جلوگیری از آسیب دیدن گردن سرنشینان بازی می‌کنند. پس از تست نتایج به‌دست‌آمده از حسگرها مشخص می‌کنند که این پشتی‌ها به وظیفه خود خوب عمل کرده‌اند یا خیر. با توجه به مطالب ذکرشده هدف از پژوهش حاضر شبیه‌سازی برخورد خودرو در چند سرعت مختلف در ABAQUS و ANSYS و بررسی نتایج و یافتن رابطه تحلیلی مناسب است.

بررسی ادبیات شبیه‌سازی شاسی خودرو نشان می‌دهد که شاسی مهم‌ترین بخش یک وسیله نقلیه است زیرا تمام اجزای مربوط به پایداری به آن متصل می‌شوند [۶] بارهای تولیدشده توسط سایر اجزای خودرو به شاسی منتقل می‌شود و آن را به ستون فقرات هر وسیله نقلیه تبدیل می‌کند [۷]. شاید بتوان گفت شاسی یک خودرو و هندسه آن اصلی‌ترین بخش از سازه آن است که بارها باید به نحو احسن از طریق این سازه منتقل شوند تا شاسی مستعد خرابی مکانیکی نباشد [۸]

در پژوهش‌های بسیاری از شبیه‌سازهای رانندگی و خودرو در پیش‌بینی استحکام شاسی استفاده‌شده است. شبیه‌سازها یک محیط

امن و قابل تکرار برای مطالعات ایمنی رانندگی و آموزش راننده فراهم می‌کنند. اجزای شبیه‌ساز رانندگی شامل مدل دینامیک خودرو، سیستم حرکت و محیط مجازی است. شبیه‌ساز رانندگی را می‌توان با استفاده از سیستم تعویض شاسی به‌طور کامل برای خودروهای شخصی و کامیون‌ها تطبیق داد. این شبیه‌ساز همچنین می‌تواند برای شبیه‌سازی حمل‌ونقل ریلی و هوایی استفاده شود.

بررسی ادبیات نشان می‌دهد که یک شکاف در مطالعات تحقیقاتی انجام‌شده در مورد مفهوم شاسی با مقطع متغیر در خودروها وجود دارد. از این‌رو، مطالعات تحقیقاتی آینده ممکن است بر روی مفهوم شاسی مقطع متغیر در خودروها برای پر کردن این شکاف انجام شود. به‌طورکلی، بررسی ادبیات بر اهمیت شبیه‌سازی شاسی خودرو در طراحی خودروهای کارآمد و ایمن تأکید می‌کند.

جایانکومار [۹] در سال ۲۰۲۱ تجزیه‌وتحلیل ویژگی‌های ارتعاش دینامیکی و عمر خستگی یک شاسی خودرو، از جمله تجزیه‌وتحلیل تجربی شکستگی ناشی از ترک و خستگی، سیستم تعلیق و پایه‌های آن و ویژگی‌های ارتعاشی شاسی خودرو را در شرایط دینامیکی بررسی کرد. سیرسیکار [۷] در سال ۲۰۲۰ تحولات در طراحی شاسی خودروهای مسابقه‌ای، از جمله اهمیت شاسی به‌عنوان ستون فقرات هر وسیله نقلیه را بررسی کرد. براک [۱۰] در سال ۲۰۲۰ مروری بر اجزای شبیه‌ساز رانندگی، از جمله مدل دینامیک خودرو، سیستم حرکت، و محیط مجازی، و نحوه ارتباط آن‌ها با شبیه‌سازی رانندگی ارائه کرد. کاشیکار [۱۱] در سال ۲۰۱۷ طراحی و تجزیه‌وتحلیل یک‌روند کلی برای شاسی خودرو را شامل شبیه‌سازی و تحلیل شاسی، طراحی پایه شاسی و انواع مختلف شاسی مورد استفاده در تاریخ توصیف کرد. کومار [۱۲] در سال ۲۰۱۳ ارتعاش ساختار شاسی خودرو را با استفاده از نرم‌افزار CATIA V5 و Hypermesh مورد تجزیه‌وتحلیل قرارداد. این مطالعات بینشی در مورد طراحی، تجزیه‌وتحلیل و شبیه‌سازی شاسی خودرو از جمله اهمیت آن‌ها در پایداری خودرو، اثرات نیروهای دینامیکی و ارتعاش و استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی و تحلیل ارائه می‌کند.

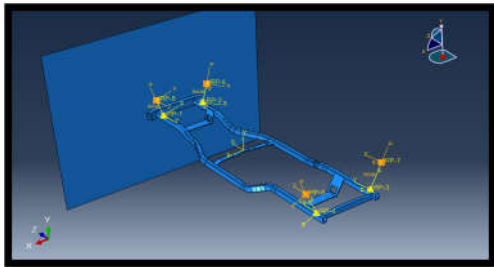
مطالعات متعددی در مورد تجزیه‌وتحلیل و بهینه‌سازی شاسی و وسایل نقلیه از جمله شاسی خودروهای سنگین و شاسی خودروهای مسابقه‌ای نیز انجام‌شده است [۱۳]. همچنین از تحلیل المان محدود برای شبیه‌سازی دینامیک پیچیده شاسی اتوبوس و کامیون استفاده‌شده است. طراحی و تحلیل شاسی بر روی مواد مختلفی از جمله کربن و آلومینیوم صورت گرفته است [۱۴].

در بسیاری از پژوهش‌ها برای افزایش قابلیت اطمینان شاسی، با افزایش ضخامت اعضای شاسی، از تحلیل استاتیکی خطی استفاده‌شده است [۱۴]. یک تکنیک جامع توسعه داده‌شده است که مدل‌های دینامیک خودرو، شبیه‌سازی عددی، استحکام و سفتی را ترکیب می‌کند [۱۵]. اصل اساسی طراحی شاسی بیان می‌کند که شاسی باید برای دستیابی به استحکام پیچشی و وزن سبک برای دستیابی به عملکرد هندلینگ خوب یک ماشین مسابقه طراحی شود. در اغلب پژوهش‌ها برای تجزیه‌وتحلیل از روش‌های المان محدود استفاده‌شده است و طراحی آزمایش‌هایی برای بهینه‌سازی شاسی ایجادشده است [۱۵].

۲- مدل سازی عددی و پس پردازش

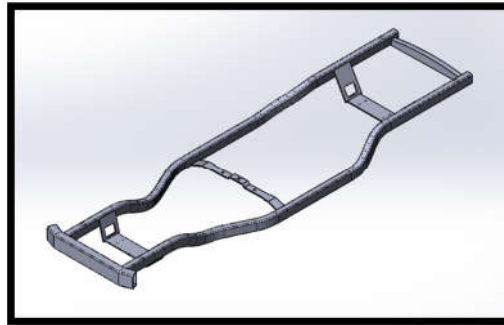
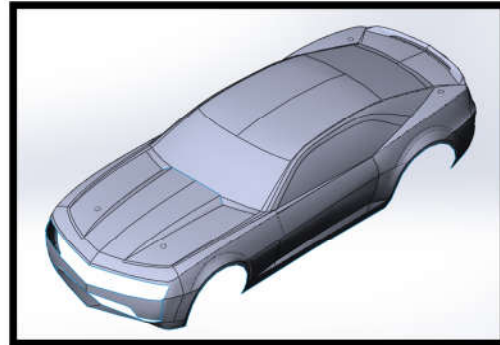
۱-۲- مدل سازی و شبیه سازی خودروی فاز ۱

ابتدا به مدل سازی بدنه خودرو و شاسی پرداخته شد. بدنه یک مدل خودروی کامارو شورولت^۱ به همراه یک شاسی مناسب در نرم افزار SOLIDWORKS مدل شد.



شکل ۲- محل قرارگیری چهار کمک فنر خودرو با حذف بدنه

در رابطه با شرایط مرزی هیچ بار و شرط مرزی وجود ندارد و تنها یک سرعت اولیه به مجموعه خودرو و شاسی وارد کرده و صفحه صلبی به عنوان صفحه فولادی در تست برخورد خودروها در نظر گرفته شد. مقدار سرعت ۲۰ کیلومتر بر ساعت آورده شده است. در هر شبیه سازی تنها همین مقدار را تغییر می دهیم. لازم به ذکر است که سرعتها باید به واحد میلی متر بر ثانیه تبدیل شوند.



۲-۲- مدل سازی و شبیه سازی خودروی فاز ۲

در این فاز، برخورد از جلو برای یک خودرو دیگر از نرم افزار ANSYS Workbench استفاده شد. برای تحلیل برخورد در این نرم افزار از ماژول دینامیک صریح^۲ استفاده شد. با استفاده از مدل های طراحی شده برای خودرو ۲۰۶ و تبدیل مدل های CAD به مدل های قابل ورود به ANSYS و طراحی یک دیوار به منظور برخورد خودرو به آن، مدل های مورد نیاز برای بخش های بعد آماده شدند. سپس با طراحی دیوار و شاسی مدل را جهت تحلیل مهیا می کنیم. برای المان بندی خودرو با توجه به این که از ماژول دینامیک استفاده شده است، از المان هایی با اولویت فیزیکی^۳ دینامیک صریح و از نوع خطی در نظر گرفته شدند. ضمناً المان های استفاده شده در المان بندی خودرو ترکیبی از المان های هرمی و شش وجهی بودند. در ادامه تصویری از مدل المان بندی شده ی خودرو ۲۰۶ آورده شده است. همچنین در این بخش رفتار دیوار به صورت صلب در نظر گرفته شده.

شکل ۱- بدنه یک مدل خودرو و شاسی طراحی شده در نرم افزار SOLIDWORKS

سپس به تعریف و ایجاد فنر و میراگرهای خودرو پرداخته شد. مرکز جرم خودرو تقریباً متقارن فرض شد. طبق داده های طراحی خودرو، ضریب سفتی کمک فنر مناسب برای یک خودروی ورزشی، باید به اندازه ای باشد که فنر تحت وزن ساکن خودرو، به اندازه ۲۵٪ تا ۴۰٪ تغییر طول دهد. وزن این مدل از خودروی کامارو، ۱۶۰۰ کیلوگرم است پس داریم:

$$K_{spring} = \frac{0.25 \times W_{car}}{0.3 \times L_{spring \ length}} = \frac{400 \times 9.81}{0.3 \times 380} \cong 35 \frac{N}{mm}$$

دقت شود که فاصله محل اتصال هر کمک فنر از بدنه به شاسی در این مدل ما تقریباً ۳۸۰ میلی متر است. همچنین ضریب دمپینگ کمک فنر در خودروهای ورزشی معمولاً برابر $C = 0.4$ است [۶]. حال که داده های فوق محاسبه شدند، به مدل کردن آن ها در ABAQUS پرداخته شد.

محل قرارگیری چهار کمک فنر خودرو با حذف بدنه، به صورت زیر است:



شکل ۳- مش بندی خودرو مورد تحلیل

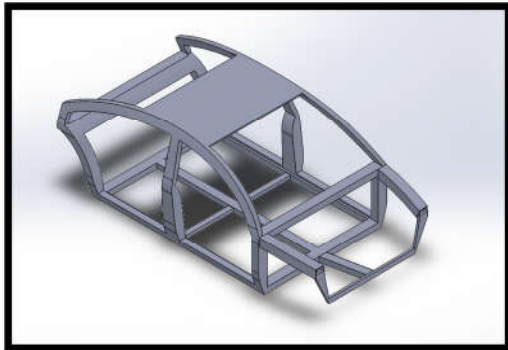
² Dynamic explicit

³ Physics Preference

¹ Camaro Chevrolet

۴-۲- مدل سازی و شبیه سازی خودروی فاز ۴

در این فاز یک خودرو سدان تحلیل شد با این تفاوت که این بار مدل اولیه را در نرم افزار CATIA^۱ مدل شد و سپس در محیط نرم افزار ANSYS به شبیه سازی آن پرداخته شد.

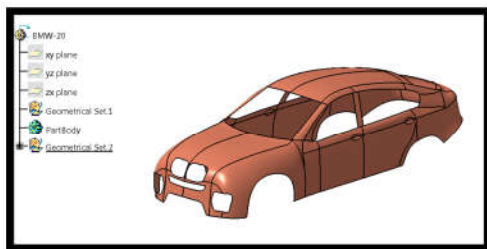


شکل ۶- مدل سه بعدی بدنه خودرو

در این بررسی دو سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت و ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت آزمایش شدند تا تاثیر سرعت بیشتر مشخص گردد. همچنین جنس بدنه از آلایژ آلومینیوم و دیواره روبرو صلب در نظر گرفته شد. در ادامه نحوه شبیه سازی در نرم افزار ANSYS به صورت مرحله به مرحله توضیح داده شده است. لازم به ذکر است که مجدداً از محیط دینامیک نرم افزار ANSYS استفاده شد.

۵-۲- مدل سازی و شبیه سازی خودروی فاز ۵

مدل اولیه شامل بدنه و شاسی در محیط سطح سازی CATIA تهیه شده است. شکل ۶-۱ به ترتیب بدنه اتومبیل BMW سری ۲۰ را نمایش می دهد. در مورد شاسی با توجه به نبود اطلاعات از مدل تقریبی استفاده شده است. برای فراخوانی مدل در ABAQUS از نرم افزار CATIA V5-6R2016 Associative Interface استفاده شده است.



شکل ۷- مدل بدنه در محیط CATIA

۳- نتایج

۱-۳- نتایج شبیه سازی المان محدود فاز ۱

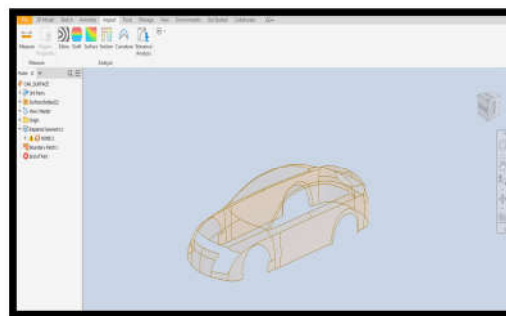
در ادامه نمودارهای انرژی داخلی، انرژی جنبشی و سرعت را در

لازم به ذکر است که المان های خطی در پژوهش کنونی از دقت قابل قبولی برخوردار بودند و نیازی به استفاده از سایر المان ها مانند المان های مرتبه دو احساس نشد. در کل تعداد تقریبی ۸۰۰ هزار المان روی هر مدل ایجاد شد.

در بخش حلگر، تنظیمات مربوط به تحلیل مدنظر باید وارد شود. ابتدا باید سرعت خودرو به منظور تحلیل وارد شود و جهت حرکت آن مشخص شود. پس از تعیین سرعت اولیه خودرو و وارد نمودن جهت آن در جهت مثبت محور Z، شرایط اولیه مسئله پیاده شد.

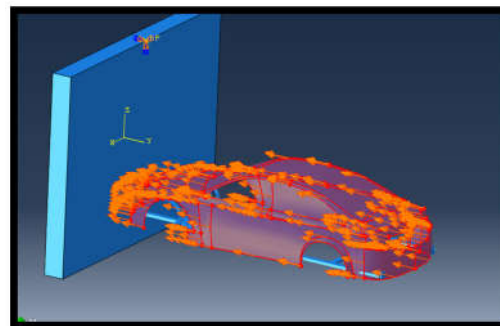
۲-۳- مدل سازی و شبیه سازی خودروی فاز ۳

در این فاز، یک خودروی Audi TT با استفاده از نرم افزار Inventor در گام اول پوسته ای خودرو طراحی شد. پوسته ای طراحی شد. در گام دوم، یک شاسی ساده برای خودرو طراحی شده و به شکل قاب سیمی مدل می شود. دلیل مدل کردن به این شکل در ادامه توضیح داده خواهد شد. در شکل ۴ شاسی مدل شده نشان داده شده است.



شکل ۴- پوسته و شاسی طراحی شده در نرم افزار Inventor

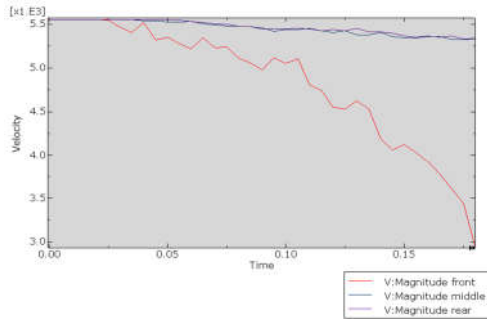
سپس به خودرو سرعت اولیه داده می شود. این کار با استفاده از predefined field و در فاز initial انجام شد. همچنین سرعت اولیه 30000 mm/s برای این تحلیل به کار رفت.



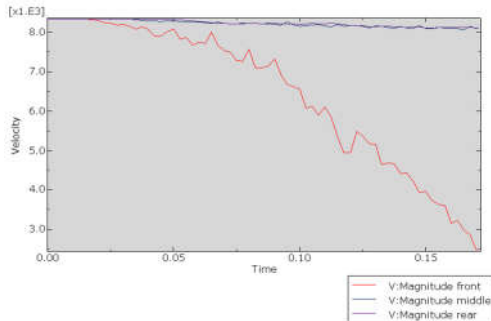
شکل ۵- شمای مسئله پس از اعمال سرعت به صورت شرایط اولیه

با اتمام حل می توان شکل خودرو قبل و بعد از برخورد را مقایسه کرد.

^۱ Catia



ب



پ

شکل ۹- تغییرات سرعت برای سرعت برخورد الف) ۱۰ کیلومتر بر ساعت، ب) ۲۰ کیلومتر بر ساعت، پ) ۳۰ کیلومتر بر ساعت

هرچه سرعت تصادف بالاتر باشد، قسمت جلویی نسبت به قسمت‌های میانی و پشتی بدنه آسیب بیشتری می‌بیند و این مورد از تغییرات سرعت قسمت جلویی بدنه خودرو در نمودارهای فوق کاملاً مشهود است. همان‌طور که مشاهده می‌شود قسمت جلویی، در سرعت‌های برخورد بالاتر، کاهش سرعت بیشتری نسبت به دو قسمت میانی و پشتی بدنه خودرو داشته است.

۲-۳- نتایج شبیه‌سازی المان محدود فاز ۲

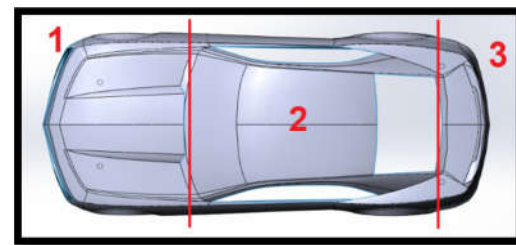
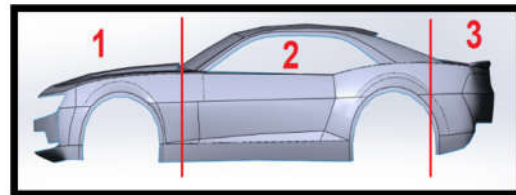
در این بخش نمودارهای انرژی در شبیه‌سازی المان محدود خودروی فاز ۲ مورد بحث و بررسی قرار داده شده است. مقدار انرژی داخلی جذب شده توسط یک سازه معیار مناسبی در برخوردهای ضربه‌ای می‌باشد. در حالت کلی هرچه یک سازه مانند خودرو انرژی بیشتری جذب کند بدان معناست که مقدار کمتری از انرژی جنبشی و ضربه برخورد به سرنشینان منتقل می‌شود.

بخش‌های مختلف خودرو بررسی و تحلیل و مقایسه می‌شوند. خودرو از دو بخش تشکیل شده است:

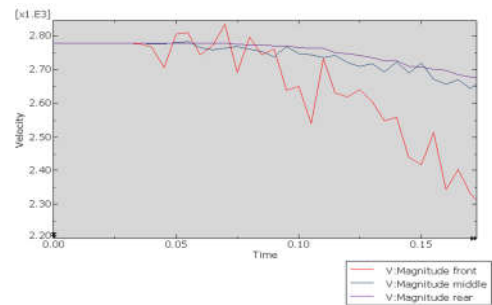
۱. بدنه
۲. شاسی

بدنه به سه بخش تقسیم شد:

۱. قسمت جلو: جایی که مجموعه موتور قرار دارد و بیشترین آسیب را حین تصادف تجربه می‌کند و قطعاً باید بیشترین انرژی تصادف را به خود جذب کند تا انرژی به سرنشینان و اتاقک منتقل نشود.
۲. قسمت میانی: جایی که حیاتی‌ترین بخش خودرو از نظر ایمنی است و تمامی سرنشینان خودرو در این قسمت ساکن هستند و به این دلیل که بخش اعظمی از این قسمت از شیشه‌های شکننده تشکیل شده است، (به جز شیشه یا ویندشیلد جلو) باید جوانب احتیاط و استحکام لازم را در نظر گرفت.
۳. قسمت پشتی: شامل مجموعه صندوق عقب است.



شکل ۸- بخش‌های مختلف خودرو



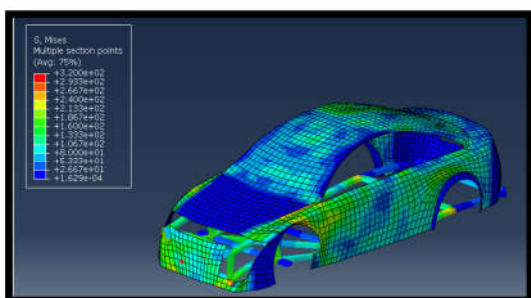
الف

بیشترین آسیب و نیروی وارده را متحمل شده‌اند. با توجه به افزایش سرعت، طبیعتاً بیشینه انرژی درونی خودرو نیز به واسطه تغییر سرعت و جذب در بدنه افزایش می‌یابد. از محاسبات مربوط به ضریب اطمینان تئوری کلمب - مور نیز می‌توان فهمید که نواحی بیان شده در مورد ۱ به همراه ستون‌های تشکیل‌دهنده‌ی اتاق خودرو مستعد شکست و آسیب جدی می‌باشند [۷]. حضور شاسی و ارتباط آن با کناره‌های خودرو از عوامل مؤثر بر انتقال تنش و ایجاد نواحی بحرانی در کناره‌های خودرو می‌باشد. [۸]

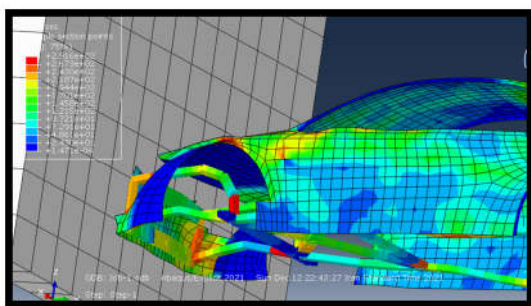
۳-۳- نتایج شبیه‌سازی المان محدود فاز ۳

نتایج کانتورهای تنش حاصل از شبیه‌سازی که در مرحله پیش-پردازش ذکر شد، در تصاویر زیر قابل مشاهده است. معیار فون مایز از آن جهت می‌تواند به منظور معیاری برای مقایسه مناسب باشد که یک روش برای برابری از تنش‌های ایجاد شده به شکلی واقع‌گرایانه است.

در شکل‌ها ۱۱ تصویری از کانتورهای تنش ایجاد شده در خودرو Audi TT پس از برخورد به دیواره صلب از نمای روبرو و جانب می‌باشد. در شکل ۱۲ نمای بالای برخورد خودروی مذکور در گام‌های زمانی مختلف نشان داده شده است.



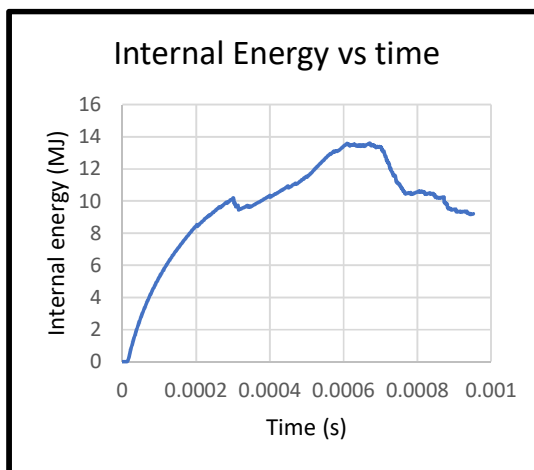
الف



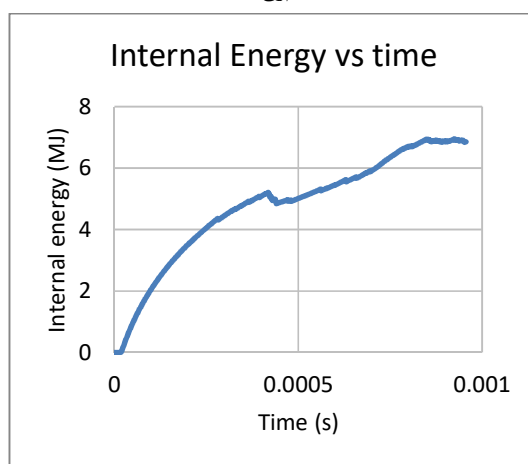
ب

شکل ۱۱- شمای خودرو Audi TT پس از برخورد

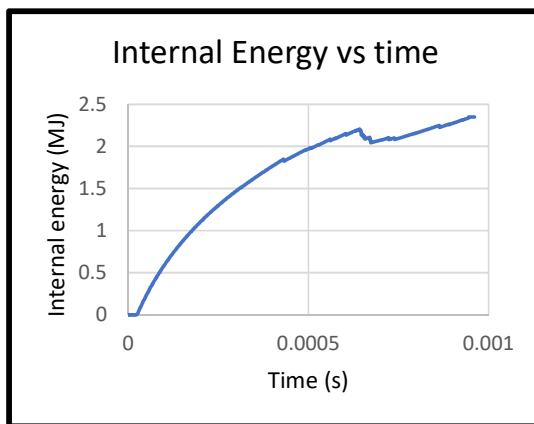
در شکل‌های زیر برخورد خودرو از بالا در گام‌های زمانی مختلف نشان داده شده است.



الف



ب



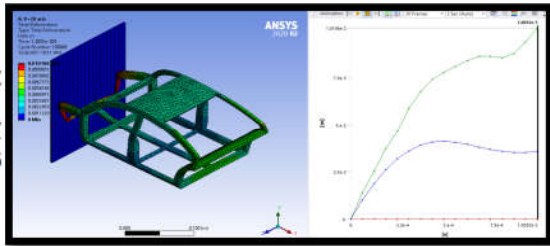
پ

شکل ۱۰- نمودار انرژی داخلی خودرو بر حسب زمان: الف) سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت، ب) سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت، پ) سرعت ۶۵ کیلومتر بر ساعت

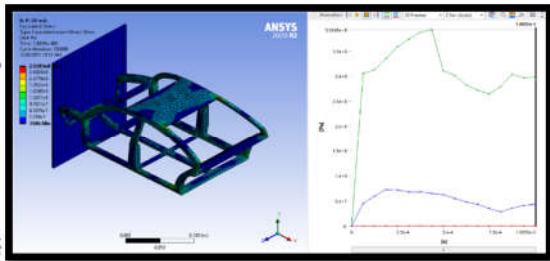
از بررسی نتایج به دست می‌توان بیان کرد که همان‌گونه که انتظار می‌رود با افزایش سرعت، میزان آسیب وارده بر خودرو بیشتر شده است. نواحی بحرانی از نظر بیشینه تنش اصلی و تنش فون میز قسمت سپر، جلوی کاپوت خودرو و قسمت گلگیر می‌باشند. این نواحی

۴-۳- نتایج شبیه‌سازی المان محدود فاز ۴

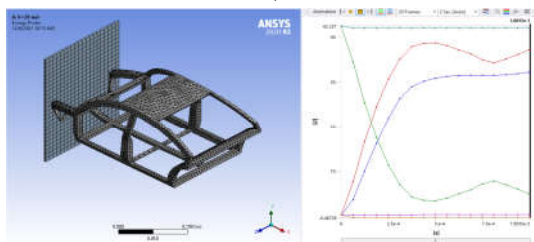
نتایج تغییر حالت کلی، تنش و انرژی جذب‌شده برای دو سرعت ۶۰ و ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت ارائه می‌گردند.



الف

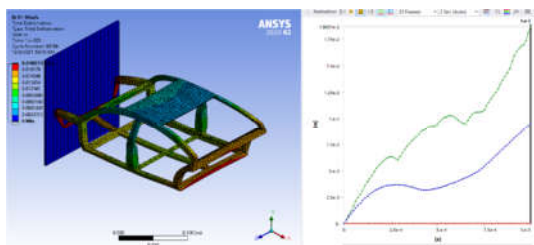


ب

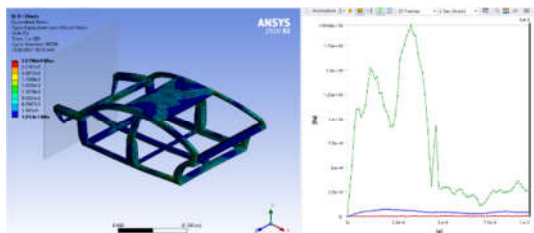


پ

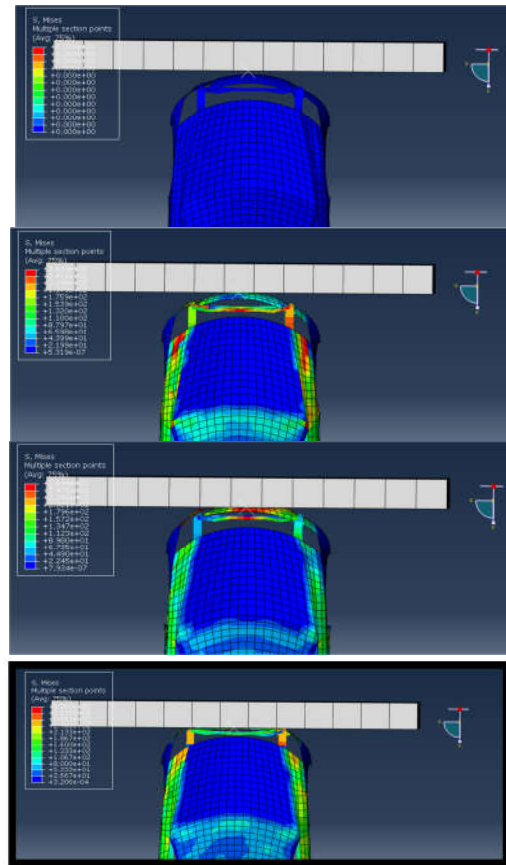
شکل ۱۴- الف) تغییر شکل کلی برای سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت، ب) تنش برای سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت، پ) انرژی جذب‌شده برای سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت



الف

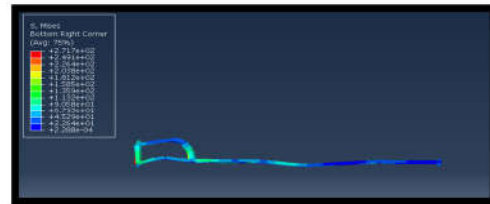


ب



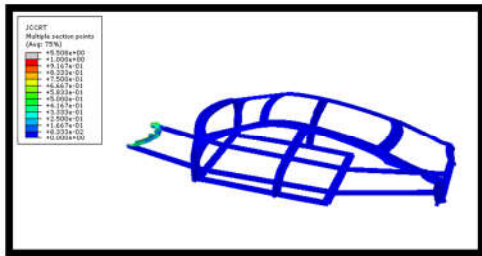
شکل ۱۲- برخورد خودرو Audi TT در گام‌های زمانی مختلف - نمای بالا

شاسی خودرو به‌تنهایی دچار تغییر شکل زیر شده است.



شکل ۱۳- تغییر شکل شاسی خودرو Audi TT در هنگام برخورد

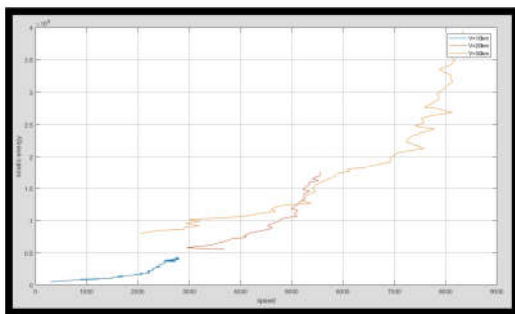
در تحلیل انجام‌شده، با برخورد خودرو به دیوار مشاهده می‌شود که کاپوت خودرو ضربه‌ای نمی‌بیند [۹]. دلیل آن شامل ضخیم بودن غیر ایدئال بدنه‌ی خودرو (۵ میلی‌متر)، جنس سپر از آلومینیوم در نظر گرفته‌شده است اما در واقعیت سپر پلاستیکی است بنابراین مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهد. شاسی ارتفاع زیادی دارد و محل قرارگیری شاسی در مدل به‌گونه‌ای است که قبل از رسیدن تغییر شکل و ضربه به کاپوت تمامی انرژی توسط شاسی جذب‌شده است که این در کل مطلوب نیست. چراکه ضربه‌ی شدیدی به سرنشینان منتقل می‌شود. شاسی به کاپوت کوپل نشده است.



شکل ۱۶- الف) وضعیت تنش فون میزز در کل خودرو، (ب) وضعیت تنش فون میزز شاسی و ستون‌ها، (پ) وضعیت پارامتر آسیب برای شاسی و ستون‌ها

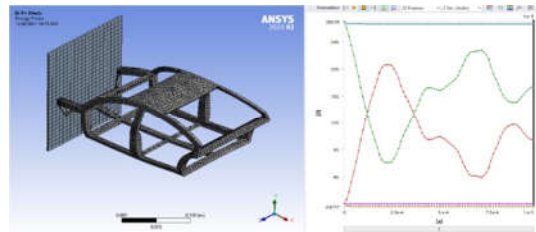
۳-۶- استخراج رابطه تحلیلی

اکنون رابطه‌ای به‌عنوان ارتباط میان انرژی جنبشی و قسمت جلویی خودرو از روش استدلالی و برازش منحنی در نرم‌افزار MATLAB^۱ ایجاد می‌کنیم.



شکل ۱۷- نمودارهای انرژی جنبشی برحسب سرعت در قسمت جلویی خودرو در سه سرعت مختلف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ کیلومتر بر ساعت

همان‌طور که مشاهده می‌شود نمودارها به شکل تابع نیستند اما با تقریب مناسبی می‌توان یک تابع برای آن‌ها پیدا کرد. در شکل ۱۸ نمودار برازش شده را برای داده‌های انرژی-سرعت در سرعت برخورد ۲۰ کیلومتر در ساعت آورده شده‌است. به‌منظور برازش از چندجمله‌ای درجه دو و سه استفاده شد. به‌دلیل رابطه نمایی انرژی با سرعت، دو نوع چندجمله‌ای مذکور انتخاب شدند. نتایج آماری خروجی و تناسب برازش حاکی از آن است که مقدار R-square بیش از ۰٫۹۶ است که بیان‌گر صحت برازش است.



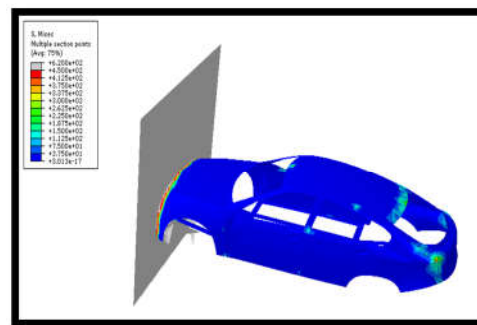
پ

شکل ۱۵- الف) تغییر شکل کلی برای سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت، (ب) تنش برای سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت، (پ) انرژی جذب‌شده برای سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت

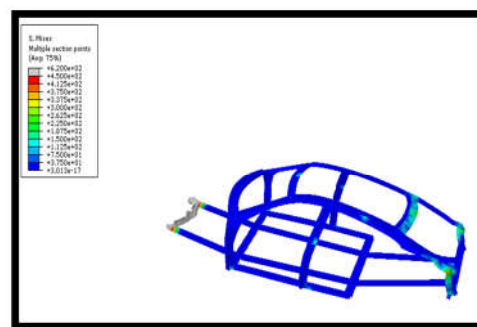
با انجام تغییرات ساختاری در بدنه می‌توان نحوه بهبود ساختار را بررسی نمود. مثلاً تیرهای تقویتی که در کف ساختار قرار دارند به‌جای شکل صلیبی می‌توانند به‌صورت ضریبی قرار گیرند و این مدل نیز بررسی و با مدل قبلی مقایسه گردد. نتایج نشان‌دهنده این است که بدنه طراحی شده با توجه به تنش و انرژی جذب‌شده در سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت عملکرد قابل قبولی دارد و می‌توان برای شرایط بحرانی‌تر نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۵- نتایج شبیه‌سازی المان محدود فاز ۵

در نتیجه تمام شبیه‌سازی، تنش فون میزز در حالت کلی به‌صورت شکل زیر است. کلیه المان‌های جلوی خودرو دچار آسیب شده و از حد پلاستیک عبور کرده‌اند. همچنین وضعیت پارامتر آسیب جانسون کوک که نشان‌دهنده‌ی خرابی و شکست در قطعات هست.



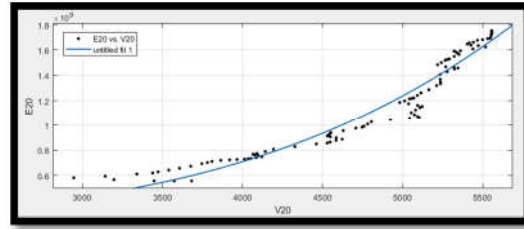
الف



ب

^۱ Matlab

- 2019.
- [6] Majid I.A., Laksono F.B., Suryanto H. and Prabowo A.R., Structural Assessment of Ladder Frame Chassis using FE Analysis: A Designed Construction referring to Ford AC Cobra, *Procedia Structural Integrity*, Vol. 33, pp. 35-42, 2021.
- [7] Sirsakar S., Bhosale A., Kurkute A., Ghawalkar S. and Sahane K., Review on Design, Analysis and Fabrication of Race Car Chassis, *International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 55, No. 66, pp. 55-60, 2020.
- [8] Rajasekar K. and Saravanan R., Literature Review on Chassis Design of On-Road Heavy Vehicles, *IJISSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, Vol. 1, No. 7, pp. 428-433, 2014.
- [9] Babamiri A., Hadian S. and Wheatley G., Fatigue and Stress Analysis of a Load Carrying Car Chassis with Reinforced Joint using Finite Element Method. *Revista GEINTEC: gestao, inovacao e tecnologias*, Vol. 11, pp. 2156-2176, 2021.
- [10] Bruck L., Haycock B. and Emadi A., A review of driving simulation technology and applications. *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, Vol. 2, pp.1-16, 2020.
- [11] Kashikar A., Mhartre S., Gumpalli A., Chavan R. and Shukla A., Design and Analysis of Formula Car Chassis. *JournalNX*, Vol. 3, No. 3, pp. 82-86, 2017.
- [12] Senthil K. M., Najju C.D., Chethan Kumar S.J. and Kurian J., Vibration Analysis and Improvement of a Vehicle Chassis Structure. *Applied mechanics and materials* Vol. 372, pp. 528-532, 2013
- [13] Anderson D., Dynamic Analysis of a Car Chassis Frame using the Finite Element Method. *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 14, No. 12, pp. 799-808, 1972.
- [14] G Shin M.K., Shin J.K., Hwang S.J. and Park G.J., Structural Analysis and Optimization of a Low-Speed Vehicle Body. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, Vol. 221 No. 3, pp. 313-326, 2007.
- [15] Yasar A, Bircan D. A. Design, Analysis and Optimization of Heavy Vehicle Chassis using Finite Element Analysis. *International Journal of Scientific and Technological Research*, New York, 2015
- [16] Chandan S.N., Sandeep G.M. and Vinayaka N., Design, analysis and optimization of race car chassis for its structural performance. *International journal of engineering research and technology*, Vol. 5, No. 7, pp. 361-367, 2016.
- [17] Ślaski G., Damping Parameters of Suspension of Passenger Vehicle Equipped with Semi-Active Dampers with by-pass Valve. *Transport Problems*, Vol. 6, pp. 35-42, 2011.
- [18] Marzougui D., Brown D., Park H.K., Kan C.D. and Opiela K.S., Development & Validation of a Finite Element Model for a Mid-Sized Passenger Sedan. In *Proceedings of the 13th international LS-DYNA users conference*, Dearborn, MI, USA 2014.
- [19] Nogayeva S., Gooch J. and Frascione N., The Forensic Investigation of Vehicle-Pedestrian Collisions: A Review. *Science & Justice*, Vol. 61, No. 2, pp. 112-118, 2021.
- [20] Kullgren A., Lie A. and Tingvall C., Comparison between Euro NCAP Test Results and Real-World Crash Data. *Traffic injury prevention*, Vol. 11, No. 6, pp. 587-593, 2010.



شکل ۱۸- نمودار برازش شده انرژی برحسب سرعت قسمت جلو خودرو در سرعت ۲۰ کیلومتر بر ساعت

در نهایت بهترین معادله برای سرعت‌های ۳۰ کیلومتر بر ساعت و بیشتر به صورت زیر به دست آمد:

$$K = 50.12 \times V^2 + 100.8$$

و برای سرعت‌های کمتر از ۳۰، معادله زیر، پاسخ دقیق‌تری را ارائه

می‌دهد:

$$K = 0.015 \times V^3 + 24$$

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش کنونی به بررسی شاسی‌های مختلف از چند نوع خودرو در محیط شبیه‌سازی نرم‌افزارهای المان محدود ABAQUS و ANSYS پرداخته شد. همان‌طور که از نتایج مشخص است بیشترین انتقال انرژی از قسمت جلوی شاسی‌ها به اتاقک بوده و نقاط جلویی نقش بسزایی را در تصادف ایفا می‌کند؛ بنابراین ضربه‌گیرها باید در جلوی شاسی‌ها نصب شود. در چند ثانیه ابتدایی سرعت با شتاب بسیار بالایی کاهش پیدا می‌کند که برای سرنشین بسیار خطرناک است؛ بنابراین با تغییر مواد به کاررفته در جلویی اتومبیل باید این مورد را کاهش داد. در حین شبیه‌سازی‌های متعددی که به منظور بررسی حالت دقیق برخورد خودرو توسط نرم‌افزارهای ABAQUS و ANSYS انجام شد و همچنین طبق پژوهش‌های سایر محققان، تفاوتی در دقت نتایج حاصل از این دو نرم‌افزار مشاهده نشد چراکه هر دو از یک روش حل عددی استفاده می‌کنند. تنها تفاوت در سرعت بیشتر حل مسائل ضربه در نرم‌افزار ABAQUS نسبت به نرم‌افزار ANSYS است.

۵- مراجع

- [1] Hobbs C.A. and McDonough P.J., Development of the European New Car Assessment Programme (Euro NCAP), In *International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*, 1998.
- [2] Wang H.P., Wu C.T., Guo Y. and Botkin M.E., A Coupled Meshfree/finite Element Method for Automotive Crashworthiness Simulations. *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 36 No. 10, pp. 1210-1222, 2009.
- [3] Babu T., Praveen D. and Venkateswarao M., Crash Analysis of Car Chassis Frame using Finite Element Method. *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 1 No. 8, pp. 1-8, 2012.
- [4] Kirkpatrick S.W., Simons J.W. and Antoun T.H., Development and validation of high fidelity vehicle crash simulation models. *International journal of crashworthiness*, Vol. 4 No. 4, pp. 395-406, 1999
- [5] Lan T.T., Kanitpong K., Tomiyama K., Kawamura A. and Nakatsuji T., Effectiveness of retro-reflective tape at the rear of heavy trucks to increase visibility and reduce rear-end collisions. *IATSS research*, Vol. 43, No. 3, pp. 176-184,