

بررسی کارایی کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه در افزایش سطح ایمنی راننده به هنگام واژگونی و تصادف از روبرو

حسن مالکی^۱، علی مالکی^۲

^۱ کارشناس مهندسی مکانیک، عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان؛ hassan_maleki_m@yahoo.com
^۲ دکترای مهندسی پزشکی، عضو هیات علمی دانشگاه سمنان؛ ali_maleki@aut.ac.ir

چکیده

سیستم‌های ایمنی در خودروها به مجموعه‌ای از سیستم‌های فعال^۱ و غیرفعال^۲ اطلاق می‌شود که هر کدام به نوبه‌ی خود در جهت بالا بردن سطح ایمنی سرنشینان و عابران پیاده طراحی شده‌اند. در این میان کمربند ایمنی به عنوان یکی از سیستم‌های ایمنی غیرفعال، اساسی‌ترین نقش را در کاهش آمار مرگ و میر و صدمات وارده به سرنشینان در هنگام بروز حادثه ایفا می‌کند. این صدمات غالباً در اثر برخورد سرنشین با اجزا داخلی خودرو پدید می‌آید. نوع و نحوه‌ی عملکرد سیستم کمربند از پارامترهای هستند که تاثیر زیادی بر اثربخشی آن دارند. در این مقاله عملکرد کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه را به این دلیل با کمربند ایمنی ۳ نقطه مقایسه نموده‌ایم، چون کمربند ایمنی ۳ نقطه از رایج‌ترین کمربندهایی است که بر روی خودروهای امروزی قرار دارد. این مقایسه به طور جداگانه برای دو نوع تصادف واژگونی و تصادف از روبرو (جلو) صورت گرفته است. برای هر دو تصادف واژگونی و تصادف از جلو، نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌ها نشان داد در حالتی که از کمربند ۳+۲ نقطه به جای کمربند ۳ نقطه استفاده می‌شود مقدار ماکزیمم شتاب سر به میزان چشمگیری کاهش یافته است. برای تصادف واژگونی معیار آسیب سر برای کمربند ۳+۲ نقطه از ۲۸۱ برای کمربند ایمنی ۳ نقطه به ۱۱۴ بهبود یافت. در مورد تصادف از جلو، حداکثر گشتاور اعمال شده به مفاصل گردن و کمر به ترتیب ۴۷۴٪ و ۱۱۳٪ کاهش یافته و همچنین معیار آسیب سر از ۹۹۵/۵ برای کمربند ۳ نقطه به ۷۰۷/۱ برای کمربند ۳+۲ نقطه بهبود یافته است.

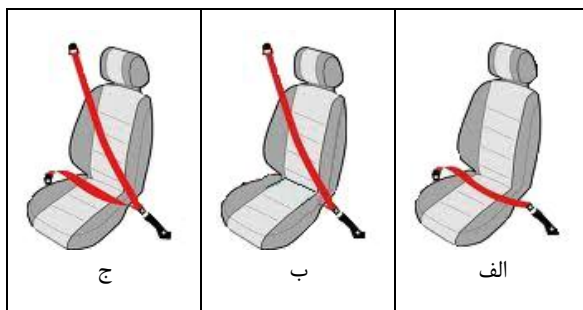
کلمات کلیدی: کمربند ایمنی، واژگونی، تصادف از جلو، معیار آسیب سر^۳

مقدمه

کاربرد وسایل نقلیه از بدو پیدایش توام با حوادث و تلفات بوده است، بطوری که امروزه حوادث رانندگی بالاترین آمار مرگ و میر و

جراحات را به خود اختصاص داده‌اند. با بالاتر رفتن آگاهی عمومی در سال‌های اخیر، برخورداری از قابلیت ایمنی مناسب اتومبیل به عامل تعیین کننده‌ای جهت انتخاب و خرید اتومبیل بدل گردیده و این خود محرک سازندگان خودرو در ارائه خودروهای ایمن‌تر جهت حفظ بازار و موقعیت خود و نتیجتاً سرمایه‌گذاری بر روی تحقیقات در ارتباط با سیستم‌های ایمنی شده است. در گذشته سازندگان، جهت تکامل بخشیدن سیستم‌های حفاظتی مجبور به انجام آزمایشات مخرب بودند. اینگونه آزمایشات طبیعتاً پرهزینه هستند و سازنده پس از هر تغییر مجبور به انجام آزمایشی مخرب است. ولی با پیدایش کامپیوتر و پیشرفت تکنیک‌های عددی امروزه استفاده از مدل‌های ریاضی جهت شبیه‌سازی وسیله نقلیه و سرنشین تا حدود زیادی از تعداد اینگونه آزمایشات کاسته است [۱]. شبیه‌سازی کامپیوتری به جهت کاربردی که در اعتبارسنجی تست‌های واقعی دارد و همچنین به لحاظ هزینه و زمان مقرون به صرفه بوده و امکان تکرار شبیه‌سازی به میزان نامحدود وجود دارد. درباره کمربند ایمنی، نکته قابل توجه این است که تمامی سیستم‌های ایمنی خودرو در صورتی عملکرد مفیدی دارند که حتماً در کنار کمربند ایمنی قرار گیرند، در غیر اینصورت کارایی آنها کاهش می‌یابد. برای مثال اگر شخص از کمربند ایمنی استفاده نکرده باشد، فعال کردن کیسه هوا در هنگام بروز حادثه عملکرد معکوسی داشته و به جای حفاظت جان سرنشین، باعث خفگی و فوت او شود [۲].

شرکت اتولیو^۳ برای اولین بار کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه را جهت ارتقاء ایمنی سرنشین در برابر تصادفات برخورد از کنار^۴ طراحی و ارائه نموده است. طبق پژوهش صورت گرفته، آنها معتقداند هنگامی که خودرو از سمت دورتر به راننده دچار تصادف از پهلو می‌شود، این امکان وجود دارد که راننده از زیر کمربند ایمنی خارج شده و دچار آسیب‌دیدگی جدی شود. آنها در واقع با ارائه کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه بر این اعتقادند که شخص بر روی صندلی استقرار بهتری داشته و ایمنی بیشتری دارد.



شکل ۲: کمربند ایمنی لپ، شولدر و ۳ نقطه

کمربند لپ (شکل ۲- الف)، نوار قابل تنظیمی است که بر روی کمر (ران) قرار می‌گیرد و بیشتر در خودروهای قدیمی بکار می‌رفت و اکنون غیر متداول بوده و فقط گاهی در صندلی میانی عقب خودرو استفاده می‌شود. معمولاً از این نوع کمربند در هواپیما برای جلوگیری از آسیب‌دیدگی مسافران استفاده می‌شود. کمربند شولدر (شکل ۲- ب)، نوار قابل تنظیمی است که بروی شانه قرار می‌گیرد و آن نیز مزایای محدودی دارد زیرا در هنگام بروز حادثه سرنشین بر اثر لغزش از زیر آن خارج می‌شود. کمربند ۳ نقطه (شکل ۲- ج) متشکل از یک کمربند لپ و یک کمربند شولدر به صورت یکپارچه می‌باشد که انرژی ناشی از ضربه تصادف را بین قفسه‌سینه، لگن و شانه‌ها توزیع می‌کند.



شکل ۳: کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه [۴]

کمربند ۳+۲ نقطه (شکل ۳) متشکل از یک کمربند ۳ نقطه و یک کمربند شولدر می‌باشد که بصورت ضربدری روی هم قرار می‌گیرند. این کمربند همانند کمربند ۴ نقطه (شکل ۴- الف) هنوز تجاری نشده‌اند. کمربند ۵ نقطه (شکل ۴- ب) در خودروهای مسابقه‌ای^۹ و کمربند ایمنی کودکان کاربرد دارد. کمربند ۶ نقطه (شکل ۴- ج) ترکیبی از یک کمربند ۴ نقطه و یک کمربند لپ می‌باشد که در خودروهای مسابقه‌ای کاربرد دارد. از کمربند ۷ نقطه (شکل ۴- د) به دلیل طراحی بسیار ایمن آن در هواپیماهای آکروباتی^{۱۰} استفاده می‌شود.



با کمربند ایمنی ۳ نقطه

با کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه

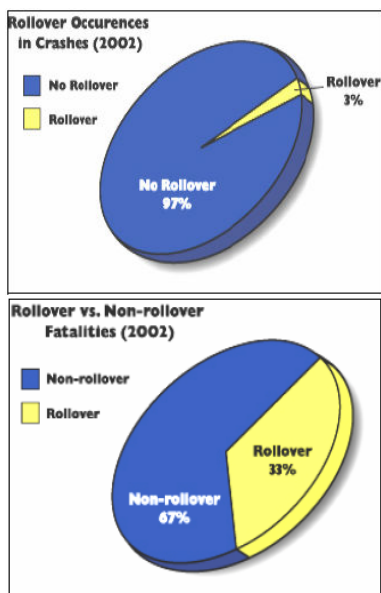
شکل ۱: تست تصادف برخورد از پهلو انجام شده توسط شرکت اتولویو [۳]

ماردهاموتو [۴] در سال ۲۰۰۵ عملکرد کمربند ۳+۲ نقطه را در طی تصادف چپ شدن مورد مطالعه قرار داد. در این مطالعه، با محاسبه فاکتورهای آسیب سر و گردن، تاثیر کمربند در کاهش صدمات وارده به سرنشینان مورد ارزیابی قرار گرفته است. آنها گزارش نموده‌اند که استفاده از کمربند ۳+۲ نقطه باعث ایجاد نیروی کششی بیشتری بر بدن سرنشین می‌شود در نتیجه، باعث به حداقل رسیدن حرکت آزادانه سرنشین و مانع از برخورد وی با بدنه داخلی خودرو می‌گردد. کومار [۵] در سال ۲۰۰۸ به بررسی مدل المان محدود سورت (هدف کش) در تصادف از جلو پرداخت. برای اعتبارسنجی مدل، ایشان نتایج شبیه‌سازی را با تست فیزیکی مقایسه نموده‌اند که نشانگر تطابق قابل قبولی بوده است. ریموند و همکارانش [۶] نیز با استفاده از یک هدف کش به بررسی عملکرد کمربند ایمنی در تصادف از جلو در سرعت‌های بالا پرداختند. آنها از شتاب قفسه‌سینه و معیار آسیب گردن برای تعیین میزان صدمات وارد شده استفاده نموده‌اند. تیلور و همکارانش [۷] در سال ۲۰۰۷ وضعیت سرنشین در تصادف از عقب در سرعت‌های پایین را مورد مطالعه قرار دادند. در این گونه برخوردهای تازیه‌ای شکل احتمال آسیب‌دیدگی سر و گردن وجود دارد. آنها در این پژوهش، مدل را با استفاده از داده‌هایی ایجاد نموده‌اند که از طرف مرکز تحقیقات اتومبیل ژاپن مورد تایید قرار گرفته بود. با توجه به نتایج، آنها ادعا نمودند که این مدل می‌تواند واکنش سرنشین را در برخورد از عقب با دقت بالایی مدل کند.

انواع کمربند ایمنی

کمربند ایمنی، وسیله‌ای برای محافظت سرنشینان خودرو در مقابل تکان‌های شدیدی است که ممکن است بر اثر تصادف و یا توقف ناگهانی ایجاد شود. کمربند ایمنی با کشیده شدن در طول فرآیند ضربه، انرژی ناشی از برخورد را جذب می‌کند و اختلاف سرعت بین بدن سرنشین و خودرو را کاهش داده و بار ناشی از ضربه را روی بدن توزیع می‌کند. انواع کمربند ایمنی عبارتند از: لپ^۷، شولدر^۸، ۳ نقطه، ۵ نقطه، ۶ نقطه، ۷ نقطه (۵+۲ نقطه) و کمربندهای تحقیقاتی ۳+۲ نقطه و ۴ نقطه.

^۹Racing cars
^{۱۰}Aerobatic aircraft



شکل ۵: سهم تصادف واژگونی از میزان تصادفات و تلفات [۴]

شبهه‌سازی تست واژگونی برای وضعیتی که سرنشین مجهز به کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه و همچنین کمربند ایمنی ۳ نقطه است، انجام شده است. مدل دینامیکی واژگونی منطبق با استاندارد، با استفاده از ابزار نرم افزاری Easi-Crash CAE مدل شده است. سرعت و شتاب مورد نیاز برای شبهه‌سازی مطابق با استاندارد واژگونی دولی (FMVSS 208) انتخاب شده و نتایج برای دو نوع کمربند ۳+۲ نقطه و کمربند ۳ نقطه مقایسه و آنالیز شده است. برای مطالعه واکنش سرنشین از مدل آدمک تصادف هیبرید پنجاه درصد از جامعه مردان استفاده شده است. نتایج مدل دینامیکی تست واژگونی دولی بوسیله مقایسه پارامترها و استانداردهای ارائه شده توسط NHTSA برای میزان صدمات آنالیز شده است. تست دولی یا تست استاندارد FMVSS 208 با هدف کاهش میزان مرگ و میر سرنشینان خودرو و کاهش شدت صدمات ناشی از تصادفات واژگونی ارائه شده است. در این تست، آدمک درون خودرویی قرار گرفته که آن خودرو بر روی فیکسچر تست دولی روی سطح شیب‌داری با زاویه ۲۳ درجه قرار داشته و برای انجام تست واژگونی جانبی با سرعت ۴۸ کیلومتر بر ساعت پرتاب می‌شود.



شکل ۶: تصویری از مدل‌های پیاده شده در نرم افزار [۴]

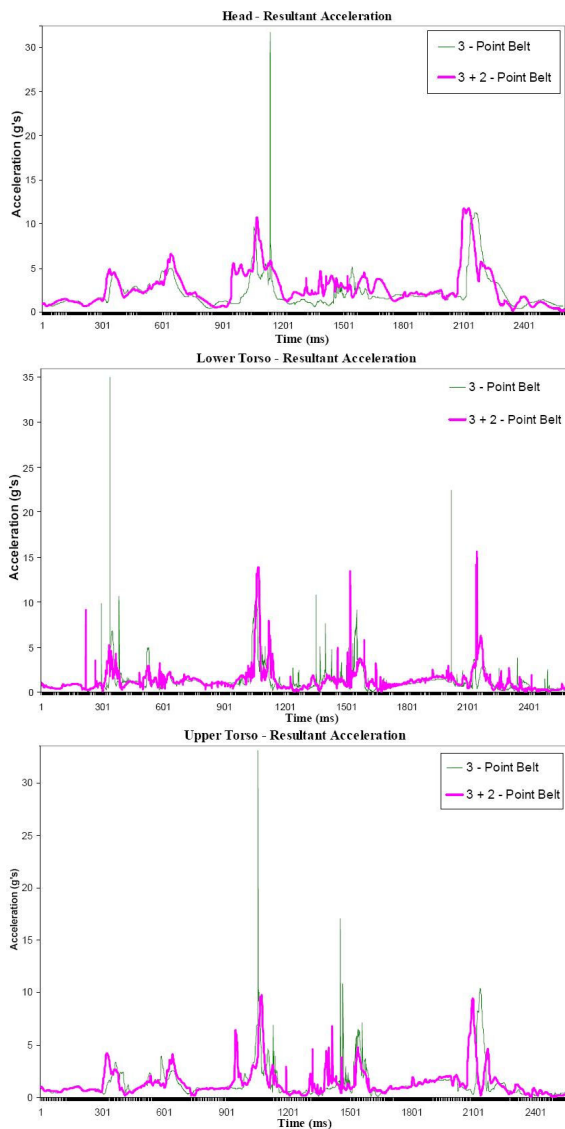


شکل ۴: کمربند ایمنی ۴ نقطه، ۵ نقطه، ۶ نقطه و ۷ نقطه

عملکرد کمربند ۳+۲ نقطه در تصادف واژگونی

واژگونی‌ها جزء خطرناک‌ترین حوادث رانندگی بوده بطوری که بالاترین نرخ تلفات را در بین انواع دیگر تصادفات وسایل نقلیه به خود اختصاص داده‌اند. در عصر کنونی صرفه جویی در وقت و راحتی سفر جزء مهمترین اولویتهای مردم برای سفرشان است. به همین جهت خودروهای شخصی بهترین انتخاب برای افراد برای برآورده کردن نیازهایشان در زندگی است. مزیت خودروها محیط امن و خصوصی است که برای افراد فراهم می‌آورد اما جنبه‌ی منفی آن تلفاتی است که ناشی از تصادفات خودروها به وقوع می‌پیوندد. بر طبق آمار، عمده دلیل مرگ و میر در امریکا مربوط به حوادث رانندگی است که این مقدار خیلی بیشتر از فوت در اثر سرطان و یا بیماری‌های قلبی و عروقی نظیر سکته و یا حمله قلبی است. در سال ۲۰۰۰ میلادی تعداد ۴۱۸۲۱ نفر در حوادث رانندگی در امریکا کشته شدند [۴].

در سال ۲۰۰۲ میلادی در امریکا قریب به ۱۱ میلیون انواع خودرو تصادف کرده‌اند که تنها ۳ درصد آنها مربوط به واژگونی می‌شود. این در حالی است که ۳۳ درصد تلفات این حوادث مربوط به واژگونی‌ها می‌شود. نکته ای که باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد این است که در سال ۲۰۰۲ میلادی بیش از ۱۰۰۰۰ نفر در تصادفات بر اثر واژگونی کشته شدند که از این میزان بیش از ۷۲ درصد آنها از کمربند ایمنی استفاده نکرده بودند (شکل ۵) [۴].



شکل ۷: نمودار زمانی شتاب سر، پایین تنه و بالا تنه مربوط به شبیه‌سازی واژگونی خودرو [۴]

عملکرد کمربند ۳+۲ نقطه در تصادف از روبرو

بیشتر آسیب‌دیدگی‌ها در تصادف از جلو مربوط به آسیب‌های سر می‌شود، که یا از شدت تصادف حاصل می‌شود و یا در اثر برخورد با تجهیزات داخلی خودرو نظیر فرمان، شیشه و ستون خودرو به وجود می‌آید. به همین دلیل برای ارزیابی کمی نتایج، از معیار آسیب سر استفاده شده است.

برای بررسی عملکرد کمربند ایمنی در تصادف از جلو، مدل بیومکانیکی دقیقی از سرنشین شامل ۱۹ جزء اسکلتی، ۱۸ مفصل و ۳۴ درجه‌آزادی پیاده‌سازی شده است. برای مفصل از مدل دقیق هیبرید ۳ استفاده شده است و پارامترهای اجزای اسکلتی نیز مبتنی بر داده‌های آنتروپومتری^{۱۴} جامعه‌ی مردان است. با انجام شبیه‌سازی نرم‌افزاری تصادف از جلو، عکس‌العمل سرنشین یک‌بار با کمربند

هنگامی که خودرو تحت زاویه ۴۵ درجه یا بیشتر واژگون شود کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه با ایجاد نیروی کششی بیشتری نسبت به کمربند ۳ نقطه سرنشین را نسبت به صندلی اش در وضعیتی قرار می‌دهد که مینیمم حرکت آزادانه به اطراف را هنگام تصادف داشته و به این طریق از برخورد سرنشین با تجهیزات داخلی خودرو جلوگیری می‌کند. همچنین استفاده از کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه بجای کمربند ایمنی ۳ نقطه مانع از برخورد سر با سقف شده و میزان صدمات وارد شده به گردن، سر و پای چپ و راست را کاهش می‌دهد. جالب‌تر اینکه در شبیه‌سازی انجام شده، خودرو یک دور کامل غلتیده ولی با این وجود سرنشین به خارج از خودرو پرتاب نشده است.

معیار آسیب سر

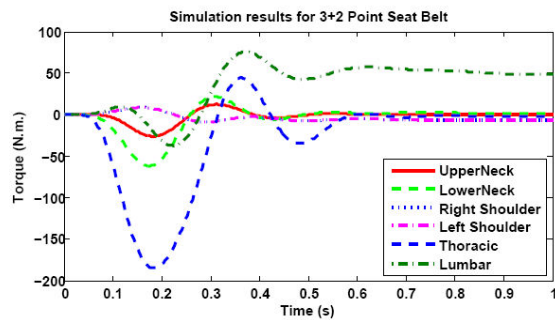
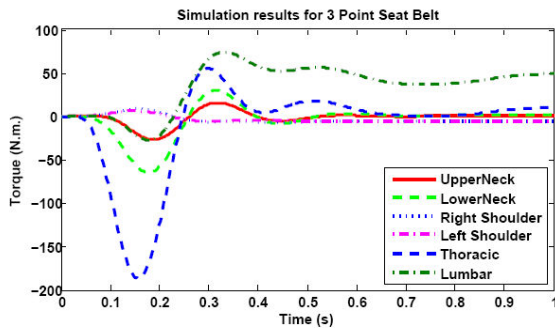
آسیب سر از متداول‌ترین صدماتی است که به هنگام تصادف منجر به مرگ سرنشینان می‌شود. شتابی که سر سرنشین به هنگام تصادف می‌گیرد در صورت شدت زیاد می‌تواند منجر به ضربه‌ی مغزی سرنشین شود. ضربه‌ی مغزی اغلب بر اثر تغییر حرکت ناگهانی سر اتفاق می‌افتد. از آنجایی که شتاب یک کمیت قابل اندازه‌گیری است لذا راحت‌ترین راه عملی برای اندازه‌گیری آسیب وارده به سر و تشخیص میزان صدمه وارد شده است. معیارهای آسیبی از سوی اداره ملی ایمنی ترافیک بزرگراهها (NHTSA)^{۱۱} مطرح شده است که از آن جمله می‌توان به معیار آسیب سر، معیار آسیب قفسه سینه^{۱۲}، معیار آسیب گردن^{۱۳} و ... اشاره کرد [۸]. معیار آسیب سر در تصادف به بررسی احتمال آسیب‌دیدگی حتمی سر در تصادفات رانندگی می‌پردازد.

$$HIC = \left[(t_2 - t_1) \left\{ \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right\}^{2.5} \right]_{\max} \quad (1)$$

معمولاً فاصله زمانی $t_2 - t_1$ را، ۳۶ میلی ثانیه در نظر گرفته و در صورتی که مقدار معیار آسیب سر از ۱۰۰۰ تجاوز کند، ایجاد آسیب دیدگی حتمی است [۹].

شکل ۷ شامل نمودار شتاب-زمان سر، پایین تنه و بالا تنه در شبیه‌سازی تصادف واژگونی می‌باشد. در هر یک از نمودارها دو گراف قابل تفکیک است که یکی مربوط به هنگامی است که شبیه‌سازی با کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه انجام شده و دیگری مربوط به زمانی است که شبیه‌سازی با استفاده از کمربند ایمنی ۳ نقطه انجام شده است.

¹¹ National Highway Traffic Safty Administration
¹² Chest Injury Criteria
¹³ Neck Injury Criteria



شکل ۱۰: نمودار زمانی گشتاور مفاصل گردن و کمر در تصادف از جلو [۲]

مقادیر مربوط به ماکزیمم شتاب سر و همچنین زمان ماکزیمم شتاب در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مقدار و زمان ماکزیمم شتاب سر برای دو مدل کمربند ایمنی

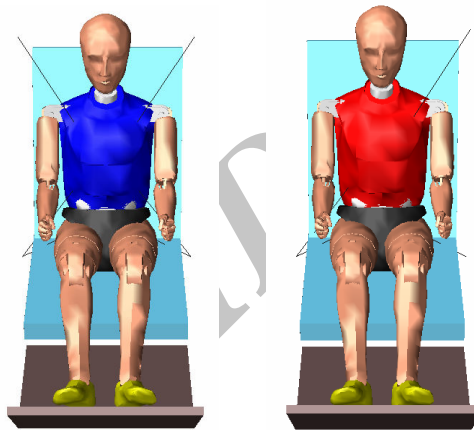
نوع کمربند ایمنی	سر ماکزیمم شتاب (m/s ²)	زمان ماکزیمم شتاب (s)
کمربند ایمنی ۳ نقطه	۶۲/۰۸۹۵	۰/۱۵۹۲
کمربند ترکیبی ۳+۲ نقطه	۵۴/۱۵۰۰	۰/۱۵۶۴

نتایج

با توجه به نمودارهای زمانی شتاب برای تصادف واژگونی در شکل ۷، پیک شتاب سر هنگامی اتفاق می افتد که سقف خودرو به زمین برخورد کرده است. استفاده از کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه پیک شتاب سر را از ۳۳ برای کمربند ایمنی ۳ نقطه به ۱۳ کاهش می دهد. همچنین معیار آسیب سر (که از نمودار زمانی شتاب سر، قابل محاسبه است) برای حالتی که از کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه استفاده شود از ۲۸۱ برای کمربند ایمنی ۳ نقطه به ۱۱۴ کاهش می یابد. پیک شتاب برای نمودار زمانی شتاب پایین تنه، هنگامی که خودرو به مانع (جدول) برخورد می کند، اتفاق می افتد. میزان پیک شتاب پایین تنه هنگامی که از کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه بجای کمربند ایمنی ۳ نقطه استفاده شود از ۳۵ به ۵ کاهش می یابد. پیک شتاب برای نمودار زمانی شتاب بالا تنه، هنگامی که خودرو با سقف به زمین برخورد می کند، اتفاق می افتد. میزان پیک شتاب بالا تنه هنگامی که از کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه بجای کمربند ایمنی ۳ نقطه استفاده شود از ۳۳ به ۹/۵ کاهش می یابد. برای تصادف از جلو معیار آسیب سر (HIC) بر

ایمنی ۳ نقطه و بار دیگر با کمربند ایمنی ترکیبی ۳+۲ نقطه مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است.

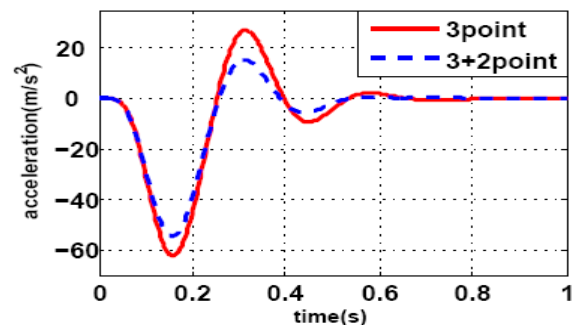
این شبیه سازی با استفاده از پالس تصادفی^{۱۵} معادل با سرعت ۲۰ کیلومتر بر ساعت صورت گرفته است. این پالس بر حسب مکان نسبت به زمان تعریف شده است، همچنین مدت زمان اعمال پالس ۱ ثانیه و شتاب جاذبه زمین ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه می باشد. پیاده سازی کل مدل در نرم افزار لایف مد^{۱۶} و ادامه صورت گرفته است (شکل ۸) [۲].



مدل مجهز به کمربند ۳ نقطه مدل مجهز به کمربند ۳+۲ نقطه

شکل ۸: تصویری از مدل های پیاده شده در نرم افزار [۲]

در شکل ۹، نمودار شتاب-زمان سر و در شکل ۱۰، نمودار زمانی گشتاور مفاصل گردن و کمر برای تصادف از جلو نشان داده شده است. همانطور که از نمودار مشخص است مقادیر شتاب و گشتاور برای مدل مجهز به کمربند ۳+۲ نقطه بسیار کمتر از حالتی است که از کمربند ۳ نقطه استفاده شده است. همچنین ماکزیمم شتاب سر در حالتی که از کمربند ۳+۲ نقطه استفاده شده است در زمان زودتری اتفاق افتاده است. از نمودار ۹ برای محاسبه معیار آسیب سر استفاده شده است. همانطور که در قسمت معیار آسیب سر اشاره شد برای محاسبه HIC، در بازه زمانی ۳۶ میلی ثانیه ای حول مقدار ماکزیمم شتاب سر، اقدام به انتگرال گیری از نمودار زمانی شتاب سر کرده ایم.



شکل ۹: نمودار زمانی شتاب سر در تصادف از جلو [۲]

- [3]- "3+2 point seat belt and side-support airbag", from Autoliv.
- [4]- Marudhamuthu, K., "Analysis of 3+2 Point Seat Belt Configuration and Occupant Responses in Rollover Crash of a Pick-Up Truck", M. Sc. Dissertation, 2005.
- [5]- Kumar, S., "Development and Validation of Sled FE Model for Frontal Crash", 2008.
- [6]- Raymond, D. E., Landerville, J. B., Wheeler, J. B., Dainty, D. A., "a Parametric MADYMO Analysis for Determining Seat Belt Usage in a Frontal Collision", ASB 29th Annual Meeting, Cleveland, Ohio, 2005.
- [7]- Himmetoglu, S., Acar, M., Taylor, A.J., Bouazza-Marouf, K., "A Multi-Body Head and Neck Model" for Low Speed Rear Impact Analysis", 12th IFToMM World Congress, Besançon, 2007.
- [8]- Medford, R, L, "Federal motor vehicle safety standards; seating systems, occupant crash protection, seat belt assembly anchorages, school bus passenger seating and crash protection," National Highway Traffic Safety Administration, 49 CRF part571, Docket No.NHTSA-2007-0014, RIN 2127-AK09.
- [9]- Kapoor, T., Altenhof, W., Howard, A., Rasico, J., Zhu, F., "methods to mitigate injury to toddlers in near-side impact crashes", 2008.

اساس رابطه (۱) و با استفاده از مقادیر نمودار شتاب زمانی سر برای هر دو مدل محاسبه شده است. نتایج مقدار آسیب سر را ۹۹۵/۵ برای کمربند ۳ نقطه نشان می‌دهد که خیلی نزدیک به مقدار بحرانی معیار، یعنی عدد ۱۰۰۰ است و احتمال آسیب دیدگی حتمی و جدی وجود دارد. در حالی که اگر در شرایط یکسان با قبل، از کمربند ۳+۲ نقطه به جای کمربند ۳ نقطه استفاده شود، معیار آسیب سر کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته و به مقدار ۷۰۷/۱ که فاصله مناسبی با مقدار بحرانی دارد می‌رسد. همچنین بر اساس نمودار شکل ۱۱، حداکثر گشتاور مفاصل گردن و کمر برای کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه کمتر از حالتی است که از کمربند ۳ نقطه استفاده شده است.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

نتایج بدست آمده از نمودار شتاب خطی سر برای تصادف از جلو و واژگونی بیانگر این است که ماکزیمم شتاب سر و پیرو آن معیار آسیب سر در حالتی که از کمربند ۳+۲ نقطه استفاده می‌شود نسبت به حالتی که از کمربند ۳ نقطه استفاده شده، به اندازه قابل ملاحظه کاهش یافته است. علاوه بر این در تصادف از جلو برای یک چنین مدلی، استفاده از کمربند ۳+۲ نقطه به جای کمربند ۳ نقطه، شرایط سر را از وضعیتی که در محدوده آسیب دیدگی حتمی قرار دارد (ناحیه بحرانی) خارج کرده و به یک ناحیه ایمن‌تر هدایت می‌کند. همچنین مقادیر گشتاور (شکل ۱۰) برای حالتی که از کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه استفاده شده است، برای مفصل پایینی گردن، ۴/۷۴ درصد و برای مفصل کمر ۱/۱۳ درصد کمتر از حالتی است که از کمربند ایمنی ۳ نقطه استفاده شده است. معیار آسیب سر در تصادف واژگونی در صورتی که از کمربند ایمنی ۳+۲ نقطه استفاده شود به حدود یک‌سوم حالتی که از کمربند ۳ نقطه استفاده شود، کاهش می‌یابد.

فهرست علائم

a	شتاب انتقالی سر، m/s^2
t_1	زمان اولیه انتگرال‌گیری، s
t_2	زمان ثانویه انتگرال‌گیری، s
	زیرنویس
max	ماکزیمم

مراجع

- [۱]- قاضوی، ا.، نکونی، ش.، "بررسی تحلیلی تاثیر مجموعه سیستم صندلی خودرو بر انسان هنگام تصادف"، هشتمین کنفرانس سالانه (بین‌المللی) مهندسی مکانیک، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۹.
- [۲]- مالکی، ح.، ارغوان، ع.، مالکی، ع.، "ارزیابی اثربخشی کمربند ایمنی ترکیبی ۳+۲ نقطه در مقایسه با کمربند ایمنی ۳ نقطه در کاهش صدمات وارده به سر برنشین با استفاده از شبیه‌سازی تست تصادف از جلو" هفدهمین کنفرانس سالانه (بین‌المللی) مهندسی مکانیک، ایران، تهران، دانشگاه تهران، ۱۳۸۸.