مدل‌سازی اثر سن وسایل نقلیه در برخورد با اشیا ثابت حاشیه راه‌ها

علی توکلی کاشانی[۱و۲*]، ایمان تابع بردبار[۲و۳]، مرضیه رخشانی مقدم[۲و۳]

۱- دانشیار گروه حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۲- مرکز تحقیقات ایمنی کاربردی حمل و نقل جاده‌ای، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

* alitavakoli@iust.ac.ir

چکیده

در این مقاله اثر افزایش سن خودرو بر شدت جراحت رانندگان در تصادفات برخورد با شیء ثابت، با بررسی ایمنی برخورد پنج خودروی پر کاربرد در ایران (پراید، پژو ۴۰۵، پژو ۲۰۶، سمند، تندر ۹۰) بررسی شده است. با توجه به اینکه ایمنی راه‌های برون‌شهری و استفاده از امکانات ایمنی در این مسیرها ممکن است کمتر از مسیرهای شهری باشد، پژوهش حاضر تنها به تصادفات راه‌های برون‌شهری (۱۳۹۰-۱۳۹۶) پرداخته است. در ابتدا، از روش درخت تصمیم و رگرسیون برای شناسایی متغیرهای مهم استفاده شده و سپس مدل رگرسیون لجستیک دوگانه جهت بررسی رابطه شدت جراحت رانندگان و عملکرد ایمنی استفاده شده است، و شاخصی با نام "ایمنی برخورد" تعریف شده است. در این مطالعه، سن خودرو همراه هفت متغیر دیگر (سن و جنسیت راننده، وضعیت روشنایی، شرایط سطح راه، نوع راه، شانه راه، و استفاده از کمربند ایمنی) به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سن خودرو، عملکرد ایمنی کاهش می‌یابد، به طوری که بخت فوت یا جراحت رانندگان به طور متوسط پس از پنج سال ۲۰ درصد و بعد از ۱۰ سال ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. همچنین، این کاهش عملکرد ایمنی در تمامی خودروها یکسان نبوده است، به طوری که عملکرد سمند پس از ۱۰ سال به مراتب بدتر از سایر خودروها بوده است، در حالی که تاثیر افزایش سن برای پژو ۴۰۵ و پارس کمتر از سایر خودروها بوده است، که نشان می‌دهد خودروی سمند زودتر از سایر خودروها مستهلک می‌شود و عمر مفید کوتاه‌تری دارد.

کلمات کلیدی

ایمنی، برخورد با شیء ثابت، درخت تصمیم، رگرسیون لجستیک، سن خودرو.

ACCEPTED MANUSCRIPT

۱- مقدمه

سوانح ترافیکی و تلفات ناشی از آن یکی از مهم‌ترین مشکلاتی است که زندگی انسان‌ها را تحت تاثیر قرار داده است. طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی[1]، با ادامه روند افزایش تلفات تصادفات رانندگی، سالانه حدود ۱/۳ میلیون نفر در تصادفات جاده‌ای جان خود را از دست می‌دهند. همچنین، مصدومیت‌های ناشی از سوانح ترافیکی هشتمین علت مرگ و میر در تمام گروه‌های سنی محسوب می‌شود و در بیشتر کشورها، ۳٪ از تولید ناخالص داخلی را به خود اختصاص می‌دهد [۱]. در ایران نیز میزان بالای تلفات و جراحات ناشی از تصادفات ترافیکی، مورد انتقاد گسترده‌ای قرار گرفته و به یکی از چالش‌های اصلی کشور در سال‌های اخیر تبدیل شده است [۲]. در این راستا، دولت‌ها به ویژه کارشناسان حوزه برنامه‌ریزی حمل و نقل تلاش کرده‌اند با اتخاذ سیاست‌ها و برنامه‌های گوناگون، سوانح رانندگی و پیامدهای آن‌ها را کاهش دهند. در تصادفات سه عامل انسان، محیط و راه، و وسیله نقلیه بر شدت و وقوع تصادفات تأثیر گذارند. به‌عنوان مثال، تأثیر رفتار و خلق‌وخوی افراد، جنسیت، سن، و فرهنگ اجتماعی بر رانندگی (از عوامل انسانی)؛ تأثیر هندسه محل، شیب مسیر، شعاع قوس، وضعیت روشنایی و شرایط سطح راه (از عوامل محیط و راه)؛ و تأثیر نوع، وزن و سن خودرو و عوامل مشابه دیگر بر شدت تصادفات رانندگی (از عوامل مربوط به وسیله نقلیه) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مطالعات مختلفی به تحلیل هر یک از این عوامل پرداخته‌اند. به عنوان مثال، یان و همکاران[2] [۳]، یانگ و همکاران[3] [۴] و توکلی کاشانی و بشارتی [۵] تأثیر عوامل مختلف انسانی و جاده‌ای را بررسی کرده‌اند؛ کیل و نویستند[4] [۶]، هوانگ و همکاران[5] [۷, ۸] ، توکلی کاشانی و عارف خانی[۹]، وی جین و همکاران[6] [۱۰]، عارف خانی و همکاران [۱۱]، وانگ و همکاران[7] [۱۲, ۱۳] و یوان[8] و همکاران [۱۴] تأثیر نوع وسیله نقلیه را مطالعه کرده‌اند. همچنین نیوزتید و همکاران[9] [۱۵]، هوانگ و همکاران [۸, ۱۶]، و توکلی کاشانی و همکاران [۹, ۱۷, ۱۸]، اثر مدل‌های مختلف خودرو بر وضعیت آسیب سرنشینان در انواع مختلف تصادفات را بررسی قرار داده‌اند.

پژوهش‌های متعددی نقش وسیله نقلیه در شدت جراحت تصادفات را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. به عنوان مثال، فردت و همکاران[10] [۱۹] با استفاده از رگرسیون لجستیک و داده‌های تصادفات دو وسیله‌ای، تأثیرات ایمنی ناشی از ناسازگاری خودروهای سنگین (اتوبوس و کامیون)، مینی ون‌ها، شاسی‌بلندها و وانت‌بارها بر اساس شدت جراحت راننده را بررسی کردند. نتایج نشان داده است که در شرایط نبستن کمربند ایمنی، سرعت‌های بالا و سن بالای راننده، احتمال مرگ افزایش می‌یابد. همچنین، مینی‌ون‌ها، شاسی‌بلندها و به ویژه وانت‌ها در برخورد با خودروی مقابل تهاجمی‌تر عمل می‌کنند و برای رانندگان خود، ایمن‌تر هستند. ضمناً نسبت وزن دو خودروی برخوردکننده تأثیر بسیار زیادی در فوت یا جراحت راننده دارد. استیگسن و همکاران[11] [۲۰] در سال ۲۰۰۶ شدت جراحت و ریسک در تصادفات دو وسیله‌ای و تک وسیله‌ای را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که وزن و ویژگی‌های هندسی خودرو مانند سختی در شدت جراحت تصادفات تأثیر گذارند به طوری که با افزایش وزن خودروی مقابل، تغییرات سرعت برخورد و در نتیجه شدت جراحت بیشتر می‌شود. به طور کلی، هر چه تغییرات سرعت برخورد بیشتر باشد ، احتمال شدت جراحت نیز افزایش می‌یابد. کیم و همکاران[12] [۲۱] در سال ۲۰۱۳ اثر سن و جنسیت را بر شدت تصادف راننده در تصادفات تک وسیله‌ای بررسی کردند. آن‌ها با استفاده از مدل لوجیت مختلط به حل مشکل ناهمگنی سن و جنسیت پرداختند و دریافتند که سه پارامتر تحت تأثیر این ناهمگنی قرار می‌گیرند. نتایج نشان می‌دهد که تقریباً نیمی از افراد بالای ۶۵ سال، نسبت به گروه میانسال، احتمال بیشتری برای درگیر شدن در تصادفات منجر به مرگ دارند، اما برای نیمی دیگر از این گروه مسن، این احتمال کمتر است. همچنین، خودروهای جدید به طور کلی کمتر درگیر

1 World Health Organization (WHO)
2 Yan et al.
3 Yang et al.
4 Keall and Newstead
5 Huang et al.
6 Wei-jin et al.
7 Wang et al.
8 Yuan et al.
9 Newstead et al.
10 Fredette et al.
11 Stigson et al.
12 Kim et al.

ACCEPTED MANUSCRIPT

تصادفاتی با شدت جراحت بالا می‌شوند، اما این تأثیر در موارد منجر به مرگ در میان رانندگان مرد کاهش می‌یابد. لی و همکاران[۱۳] [۲۲] در سال ۲۰۱۴ در پژوهشی با استفاده از مدل لوجیت ترتیبی، شدت جراحت رانندگان در تصادفات تک وسیله‌ای و دو وسیله‌ای در بزرگراه‌های انتاریو به طور جداگانه بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که رانندگان کامیون‌های سنگین بیشتر از رانندگان خودروهای سواری و کامیونت‌ها در تصادفات تک وسیله‌ای دچار آسیب شدید می‌شوند.

مطالعات هوانگ و همکاران طی سال‌های مختلف به بررسی ایمنی تهاجمی[۱۴] و ایمنی برخورد[۱۵] خودروها با استفاده از روش‌های مختلف پرداخته‌اند. در پژوهشی که در سال ۲۰۱۱ انجام شد، آن‌ها با استفاده از مدل بیزین سلسله مراتبی[۱۶] و داده‌ها تصادفات دو وسیله‌ای در فلوریدا بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷، ایمنی تهاجمی و ایمنی برخورد ۱۰ نوع وسیله نقلیه مختلف (از جمله اتومبیل، ون، کامیون سبک، کامیون نیمه سنگین، تراکتورها، وسیله نقلیه تفریحی[۱۷]، اتوبوس و موتورسیکلت) را رتبه‌بندی کردند. یافته‌ها نشان می‌دهد که با افزایش وزن وسیله نقلیه، خطر کمتری برای سرنشینان آن وسیله ایجاد می‌شود؛ در حالی که وسایل نقلیه سبک‌تر، خطر کمتری برای سرشنیان خودروی مقابل ایجاد می‌کنند. همچنین، ایمنی تهاجمی کامیون‌های سنگین و تراکتورها بهتر از کامیون‌های سبک و نیمه سنگین است، زیرا این وسایل معمولاً توسط رانندگان حرفه‌ای رانده می‌شوند که انتظار می‌رود در شرایط برخورد شدید مهارت بیشتری داشته باشند. اتوبوس‌ها، به ویژه اتوبوس‌های سرویس مدارس، نیز به دلیل هشدارهای مربوط به سرعت پایین، ایمنی تهاجمی بالاتری دارند [۷]. لازم به توضیح است که منظور از ایمنی تهاجمی، قابلیت خودروها در محافظت یا جلوگیری از آسیب به سرنشینان خودروی مقابل است. در سال ۲۰۱۴، هوانگ و همکاران [۱۶] با استفاده از مدل لوجیت ترتیبی سلسله مراتبی بیزین و داده‌های تصادفات فلوریدا، شاخص‌های ایمنی برخورد و تهاجمی ۲۳ مدل خودروی معروف را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، تنها شدت جراحت رانندگان در تصادفات دو وسیله‌ای خودروهای سواری (۱۷۱۷۸ مورد تصادف) تحلیل شده است. از بین ۲۳ مدل خودروی بررسی‌شده، ولوو[۱۸] در هردو شاخص ایمنی برخورد و تهاجمی بهترین عملکرد را داشت. در حالی که خودروهای کادیلاک[۱۹] ، اینفینیتی[۲۰] ، لکسوس[۲۱] و مرسدس بنز از لحاظ شاخص ایمنی برخورد عملکرد بهتری نسبت به شاخص ایمنی تهاجمی خود داشتند. در مقابل، خودروهای پنتیاک[۲۲] و فولکس‌واگن[۲۳] بدترین عملکرد (ایمنی تهاجمی بالاتر و ایمنی برخورد پایین‌تر) را داشتند. همچنین، آن‌ها خودروها را براساس کشور سازنده نیز بررسی کردند، که نتایج نشان داد خودروهای اروپایی حفاظت بیشتری برای رانندگان فراهم می‌کنند اما در عین حال خطر بیشتری برای سایر خودروها در جاده ایجاد می‌کنند. در پژوهشی دیگری در سال ۲۰۱۶، هوانگ و همکاران [۸] به بررسی ارتباط بین برند خودرو و شدت جراحت وارده به راننده و صدمه وارده به خودرو با استفاده از داده‌های تصادفات دو وسیله‌ای خودروهای سواری فلوریدا پرداختند. آن‌ها برای مقایسه برندهای مختلف خودرو (۲۳ برند رایج مورد استفاده شهروندان فلوریدا) از مدل لوجیت سلسله مراتبی دوگانه بیزینی استفاده کردند، که در آن دو عامل صدمه واردشده به خودرو و شدت جراحت واردشده به راننده در نظر گرفته شده است. نتایج این مطالعه در سه بخش ارائه شده است: رتبه‌بندی برندهای خودرو بر اساس ایمنی سرنشینان، ایمنی خودرو و ترکیب این دو. در نهایت، خودروهای کیا و ساترن[۲۴] به‌عنوان ضعیف‌ترین برندها و کادیلاک، ولوو و لکسوس به‌عنوان ایمن‌ترین برندها بر اساس هر دو شاخص ایمنی خودرو و ایمنی سرنشینان معرفی‌شده‌اند.

عارف خانی و توکلی کاشانی [۲۳] در مطالعه‌ای به بررسی رابطه بین وضعیت آسیب راننده و ایمنی برخورد ۲۰ خودروی پر کاربرد در ایران با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک دو جمله‌ای پرداختند. در این پژوهش از داده‌های ۴۲۱۱۸ تصادف واژگونی در جاده‌های

13 Lee et al.
14 Crashaggressivity (CA)
15 Crashworthiness (CW)
16 Bayesian hierarchical model Ordered
17 Recreational vehicle
18 Volvo
19 Cadilac
20 Infiniti
21 Lexus
22 Pontiac
23 Volkswagen
24 Saturn

ACCEPTED MANUSCRIPT

شهری و روستایی ایران در طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۱ استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که خودروهای پروتون و هیوندای/کامیون سبک بهترین عملکرد را در تصادفات واژگونی داشتند، اما روند مشخصی در رابطه با قابلیت ایمنی برخورد خودروهای خارجی و ایرانی مشاهده نشد. در مطالعه دیگری، توکلی کاشانی و عارف خانی [۹] با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، ارتباط بین سطح شدت جراحت راننده را با ۲۰ مدل خودروی پر کاربرد در ایران بررسی کرده‌اند. این مطالعه که بر اساس ۱۶۷۷۵۹ رکورد تصادف و ۳۳۵۵۱۸ رکورد راننده انجام شد، سه شاخص ایمنی برخورد، ایمنی تهاجمی و ایمنی ثانویه کلی[۲۵] برای هر مدل خودرو بررسی شده است. نتایج نشان داد که خودروهای کیا[۲۶]، سوزوکی[۲۷] بهترین عملکرد و خودروهای سپند، پراید و پیکان ضعیف‌ترین عملکرد را داشته‌اند. همچنین در مطالعه‌ای دیگر توکلی کاشانی و همکاران [۲۴] در سال ۱۴۰۲، ایمنی خودرو ها از نظر نوع و وزن خودرو از لحاظ قابلیت حفاظت از سرنشین در لحظه‌ی وقوع تصادف با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه، از شاخص ایمنی برخورد که بر اساس نسبت بخت‌های به دست آمده از مدل‌سازی لجستیک محاسبه شده، برای مقایسه خودروها بر اساس نوع و وزن استفاده شده است. نتایج نشان داد که خودروهای شاسی‌بلند و کامیون‌ها نسبت سایر وسایل نقلیه عمکرد بهتری داشته‌اند. بررسی وزن خودرو نیز نشان داده است که افزایش وزن الزاماً سبب بهبود ایمنی خودرو نمی‌شود و دسته وزنی ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم کم‌خطرترین بوده است، به طوری که بخت فوت و جراحت راننده در این دسته نسبت به خودروهای زیر ۱۰۰۰ کیلوگرم، ۸۱/۵٪ کاهش داشته است.

با توجه به موارد گفته‌شده، بیشتر پژوهش‌های انجام شده در حوزه‌ی شدت جراحت با استفاده از انواع مدل‌های لجستیک انجام شده است. همچنین، تمرکز عمده این مطالعات بر مقایسه و رتبه‌بندی برندها و به‌خصوص انواع وسایل نقلیه (مانند وانت‌بار، اتوبوس، مینی‌بوس و ...) با توجه به ایمنی برخورد بوده است، و کمتر به بررسی اثر سن خودروها بر شدت جراحت پرداخته شده است. در مورد نوع تصادف نیز، برخورد دو وسیله‌ای و واژگونی بیشتر مورد توجه قرارگرفته است.

پژوهش حاضر به منظور پر کردن این خلاء تحقیقاتی، سطح ایمنی پنج خودروی پر کاربرد در ایران (پراید، پژو ۴۰۵، پژو ۲۰۶، سمند، تندر ۹۰) را بر اساس سن آن‌ها در لحظه‌ی تصادف، با تمرکز بر تصادفات برخورد با شیء ثابت، مقایسه کرده است تا اثر سن خودرو بر ایمنی ترافیک را مورد بررسی قرار دهد.

برای دستیابی به این هدف، ابتدا از روش درخت تصمیم و رگرسیون (کارت)[۲۸] جهت شناسایی مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر شدت جراحت استفاده شد. متغیرهای کلیدی شناسایی شده در مرحله بعد در مدل رگرسیون لجستیک دوگانه[۲۹] استفاده شده است. در این پژوهش، شدت جراحت راننده به صورت دو سطحی به عنوان متغیر وابسته و سن خودرو همراه با متغیرهایی مانند سن و جنسیت راننده، وضعیت روشنایی، شرایط سطح راه، نوع راه، نوع شانه راه، و استفاده از کمربند ایمنی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده‌اند. در پایان، شاخصی به نام "ایمنی برخورد" تعریف و مقایسه‌ای بین این خودروها از منظر سن خودرو انجام شده است.

۲- داده‌های مورد استفاده

پایگاه داده‌ی این پژوهش شامل تصادفات برخورد با شیء ثابت در راه‌های برون‌شهری ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ است که از فرم تصادفات پلیس راهنمایی و رانندگی جمع‌آوری شده است. اطلاعات مربوط به تصادف، شامل مشخصات رانندگان و سرنشینان (مانند سن، جنسیت، وضعیت گواهی‌نامه و ...) و مشخصات صحنه تصادف (از جمله شرایط سطح راه، وضعیت روشنایی، هندسه محل و ...) در فرمی به نام "کام ۱۱۴" توسط افسر پلیس در محل حادثه ثبت می‌شود. روند آماده‌سازی داده‌ها جهت مدل‌سازی و مقایسه بر اساس سن خودرو به این صورت است که چند مدل خودروی پرکاربرد ایرانی (پراید، پژو ۴۰۵، پژو ۲۰۶، سمند، تندر ۹۰) انتخاب شده و سپس تقسیم‌بندی سنی آن‌ها در لحظه‌ی تصادف، مطابق جدول ۱، به بازه‌های زیر پنج سال، پنج تا ده سال و بیشتر از ده سال صورت

25 Total secondary safety

26 Kia

27 Suzuki

28 Classification and regression tree (CART)

29 Bionmial logistic regreesion

ACCEPTED MANUSCRIPT

گرفته است. به دلیل تعداد کم رانندگان فوتی در بسیاری از مدل‌های خودرو، سطوح شدت جراحت به دو سطح "عدم آسیب‌دیدگی" و "جراحت یا فوت" دسته‌بندی شده است.

با توجه به اینکه نحوه رانندگی افراد در راه‌های برون‌شهری و درون‌شهری به‌طور ذاتی متفاوت است [۲۵]، در جاده‌های برون‌شهری سرعت وسایل نقلیه بیشتر است و خستگی نیز بیشتر قابل مشاهده است. از سوی دیگر، اگرچه تعداد تصادفات در راه‌های برون‌شهری نسبت به مسیرهای درون‌شهری کمتر است، اما به دلیل سرعت‌های بالاتر و درصد بیشتر وسایل نقلیه سنگین در مناطق برون‌شهری، تصادفات در این مناطق بیشتر منجر جراحات شدید و فوت می‌شود [۲۵-۲۷]. همچنین، ایمنی راه‌های برون‌شهری ممکن است نسبت به مسیرهای شهری کمتر باشد. علاوه بر این، در جاده‌های برون‌شهری ممکن است تمایل به استفاده از امکانات ایمنی مانند کمربند ایمنی یا وسیله نگه‌دارنده نوزادان و کودکان کمتر باشد [۲۸]. بر این اساس، در تمامی بررسی‌های این مطالعه، تنها تصادفات برون‌شهری مورد بررسی قرارگرفته است.

درصد فراوانی متغیرهای کنترلی مورد استفاده در این مطالعه، در جدول ۲ نشان داده شده است. سن و جنسیت نیز در مطالعات بسیاری از جمله عوامل تأثیرگذار بر شدت جراحت تصادفات رانندگی محسوب شده‌اند [۲۹]. علاوه بر این، بین ویژگی‌های فیزیولوژیکی و روانی رانندگان زن و مرد تفاوت‌هایی وجود دارد [۳۰]. بنابراین، سن و جنسیت راننده به عنوان متغیرهای کنترلی در مدل‌سازی لحاظ شده است. دسته‌بندی سن رانندگان نیز بر اساس بازه‌های سنی است که نشان‌دهنده‌ی مراحل پیری، میان‌سالی، جوانی و نوجوانی می‌باشد. کمربند ایمنی نیز به عنوان یک عامل مهم و تأثیر گذار بر شدت جراحت شناخته شده است، به طوری که عدم استفاده از آن احتمال جراحت در تصادفات را افزایش می‌دهد [۵, ۳۱-۳۳]. به همین دلیل، کمربند ایمنی نیز به عنوان متغیر کنترلی در نظر گرفته شد تا تأثیر آن در این مطالعه نیز بررسی و کنترل گردد. وضعیت روشنایی، نوع راه (به عنوان شاخصی از کیفیت راه)، شرایط سطح راه و نوع شانه راه پس از دسته‌بندی و کدگذاری مطابق جدول ۲ در مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که در انتخاب گروه مرجع برای هر متغیر، سعی شده است سطحی از متغیر که بیشترین فراوانی را دارد به عنوان مرجع قرار داده شود و سطوح دیگر با آن مقایسه گردند.

جدول ۱: آمار توصیفی پنج خودروی پرکاربرد بر اساس تقسیم‌بندی سن خودروهای ایرانی

Table 1. Descriptive statistics of the five most commonly used Iranian vehicles by age classification

مدل خودرو	سن خودرو	تعداد رانندگان صدمه ندیده	تعداد رانندگان صدمه‌دیده یا فوت‌شده	تعداد کل رانندگان	درصد ٪
پراید	۰ تا ۵ سال	۴۳۰۲	۷۵۳	۵۰۵۵	۴۹٪/۹۶
	۶ تا ۱۰ سال	۳۲۸۸	۶۷۶	۳۹۶۴	۳۶٪/۸۲
	بالاتر از ۱۰ سال	۱۳۶۸	۳۷۸	۱۷۴۶	۱۶٪/۲۲
	مجموع	۸۹۵۸	۱۸۰۷	۱۰۷۶۵	۱۰۰٪/۰۰
پژو ۴۰۵ و پارس	۰ تا ۵ سال	۴۲۹۵	۴۰۶	۴۷۰۱	۵۶٪/۳۴
	۶ تا ۱۰ سال	۲۳۵۳	۲۷۳	۲۶۲۶	۳۱٪/۴۷
	بالاتر از ۱۰ سال	۸۹۲	۱۲۵	۱۰۱۷	۱۲٪/۱۹
	مجموع	۷۵۴۰	۸۰۴	۸۳۴۴	۱۰۰٪/۰۰
	۰ تا ۵ سال	۱۸۹۰	۱۴۱	۲۰۳۱	۵۹٪/۲۰

ACCEPTED MANUSCRIPT

پژو ۲۰۶	۶ تا ۱۰ سال	۹۴۹	۱۰۵	۱۰۵۴	۳۰٪/۷۲
	بالاتر از ۱۰ سال	۳۱۴	۳۲	۳۴۶	۱۰٪/۰۸
	مجموع	۳۱۵۳	۲۷۸	۳۴۳۱	۱۰۰٪/۰۰
سمند	۰ تا ۵ سال	۲۳۰۵	۱۸۴	۲۴۸۹	۶۱٪/۳۲
	۶ تا ۱۰ سال	۱۱۲۸	۱۱۲	۱۲۴۰	۳۰٪/۵۵
	بالاتر از ۱۰ سال	۲۸۹	۴۱	۳۳۰	۸٪/۱۳
	مجموع	۳۷۲۲	۳۳۷	۴۰۵۹	۱۰۰٪/۰۰
تندر ۹۰	۰ تا ۵ سال	۱۰۴۱	۹۳	۱۱۳۴	۸۳٪/۰۲
	۶ تا ۱۰ سال	۲۱۱	۲۱	۲۳۲	۱۶٪/۹۸
	مجموع	۱۲۵۲	۱۱۴	۱۳۶۶	۱۰۰٪/۰۰

جدول ۲: درصد فراوانی متغیرهای کنترلی در بررسی سن خودرو برای تصادفات برخورد با شیء ثابت

Table 2. Frequency percentage of control variables in examining vehicle age in fixed-object crashes

متغیرهای کنترلی	توضیحات	پراید	پژو ۴۰۵ و پارس	پژو ۲۰۶	سمند	تندر ۹۰
		درصد ٪	درصد ٪	درصد ٪	درصد ٪	درصد ٪
نوع راه	آزادراه (گروه مرجع) = ۰	۲۵٪/۹۹	۲۷٪/۱۱	۳۶٪/۲۱	۲۷٪/۳۱	۳۸٪/۳۳
	بزرگراه = ۱	۱۶٪/۲۳	۱۵٪/۹۵	۱۶٪/۰۷	۱۷٪/۲۲	۱۷٪/۵۸
	جاده اصلی =۲	۳۵٪/۸۳	۳۷٪/۰۲	۳۴٪/۶۷	۳۷٪/۵۸	۳۰٪/۳۵
	جاده فرعی =۳	۲۱٪/۹۴	۱۹٪/۹۱	۱۳٪/۰۵	۱۷٪/۸۹	۱۳٪/۷۴
شرایط سطح راه	خشک (گروه مرجع) =۰	۹۱٪/۷۶	۸۹٪/۴۶	۸۸٪/۱۱	۸۸٪/۴۱	۸۶٪/۵۶
	خیس = ۱	۶٪/۸۵	۸٪/۲۲	۹٪/۴۳	۹٪/۲۳	۱۱٪/۹۴
	یخبندان برفی = ۲	۱٪/۳۹	۲٪/۳۲	۲٪/۴۶	۲٪/۳۷	۱٪/۵۰
نوع شانه راه	شانه دارد (گروه مرجع) = ۰	۷۰٪/۲۷	۶۹٪/۸۷	۶۹٪/۷۷	۷۰٪/۰۵	۷۳٪/۸۵
	شانه ندارد = ۱	۲۹٪/۷۳	۳۰٪/۱۳	۳۰٪/۲۳	۲۹٪/۹۵	۲۶٪/۱۵
روشنایی	روز (گروه مرجع) = ۰	۶۷٪/۰۴	۶۴٪/۳۴	۶۶٪/۷۲	۶۵٪/۳۹	۶۷٪/۸۵
	شب = ۱	۲۹٪/۱۷	۳۱٪/۵۱	۲۹٪/۷۶	۳۱٪/۱۱	۲۸٪/۶۱

ACCEPTED MANUSCRIPT

	طلوع =۲	۱٪/۴۲	۱٪/۵۱	۱٪/۳۰	۰٪/۰۰	۱٪/۸۰
	غروب = ۳	۲٪/۳۸	۲٪/۶۵	۲٪/۲۲	۳٪/۵۱	۱٪/۷۴
جنسیت	مرد (گروه مرجع) = ۰	۸۹٪/۰۸	۹۴٪/۲۳	۸۰٪/۶۲	۹۳٪/۹۵	۸۹٪/۲۶
	زن = ۱	۱۰٪/۹۲	۵٪/۷۷	۱۹٪/۳۸	۶٪/۰۵	۱۰٪/۷۴
سن راننده	زیر ۲۵ سال = ۱	۶۸٪/۶۰	۶۱٪/۶۲	۶۹٪/۷۵	۶۱٪/۵۰	۶۱٪/۳۱
	از ۲۵ تا ۴۴ سال (گروه مرجع) = ۰	۱۳٪/۱۷	۱۲٪/۸۲	۱۳٪/۴۵	۱۱٪/۲۱	۹٪/۴۸
	از ۴۵ تا ۶۴ سال =۲	۱۶٪/۴۶	۲۳٪/۰۳	۱۵٪/۶۰	۲۴٪/۹۶	۲۶٪/۷۵
	۶۵ سال و بالاتر = ۳	۱٪/۷۶	۲٪/۵۳	۱٪/۲۱	۳٪/۳۳	۲٪/۴۶
کمربند ایمنی	استفاده کرده (گروه مرجع) = ۰	۶۲٪/۱۳	۶۷٪/۳۳	۶۵٪/۷۳	۶۵٪/۶۰	۶۹٪/۰۵
	استفاده نکرده = ۱	۱۳٪/۱۵	۱۰٪/۴۲	۹٪/۵۰	۹٪/۰۵	۱۰٪/۷۴
	نامشخص = ۲	۲۴٪/۷۲	۲۲٪/۲۵	۲۴٪/۷۷	۲۵٪/۳۵	۲۰٪/۲۲

۳- روش تحقیق

به منظور دستیابی به اهداف پژوهش، از دو روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون (کارت) و رگرسیون لجستیک دوگانه استفاده می‌شود. روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون برای شناسایی متغیرهای مؤثر بر شدت جراحت رانندگان استفاده شده است [۳۴]. در این مدل، اهمیت هر متغیر با توجه به تأثیر آن بر متغیر وابسته و کاهش نابرابری در گره‌های پایانی محاسبه می‌شود. برای محاسبه اهمیت متغیرها در مدل کارت، از شاخص جینی استفاده می‌شود. این شاخص میزان نابرابری را اندازه‌گیری می‌کند و با افزایش خلوص هر گره، اهمیت متغیرها را مشخص می‌سازد. فرمول اهمیت متغیرها به صورت زیر بیان می‌شود:

$$VIMX = \sum_{i=1}^{n} \frac{nx_i}{n}(I(C \mid X = X_i) - (c)) \quad (۱)$$

در این فرمول، وقتی متغیر کلاس به عنوان C در نظر گرفته می‌شود، nx_i نشان‌دهنده تعداد نمونه‌هایی است که در آن مقدار X برابر X_i است. همچنین، n تعداد کل نمونه‌ها و I شاخص جینی را نشان می‌دهد [۳۵]. روش کارت با ارزیابی متغیرهای مؤثر در مدل و شناسایی متغیرهایی که نقش اساسی در شدت تصادف و جراحت ایفا می‌کنند، به تحلیل داده‌ها کمک می‌کند. این اطلاعات می‌تواند برای طراحی راهکارهای مؤثرتری در کاهش شدت جراحت و بهبود ایمنی جاده‌ها استفاده شود.

با توجه به محدودیت‌های آماری، سطوح شدت جراحت و فوت در یک سطح ترکیب شده‌اند، چراکه تعداد رانندگان فوتی در برخی برندها بسیار اندک بوده و این امر می‌توانست باعث کاهش سطح معناداری برای آن برندها منجر شود. از آنجایی که در این پژوهش، سطوح شدت جراحت راننده به دو سطح "عدم آسیب‌دیدگی" و "جراحت یا فوت" تقسیم شده‌اند، از مدل رگرسیون لجستیک دوگانه برای تحلیل داده‌ها استفاده شده است. فرم کلی تابع لوجیت به‌صورت زیر است:

$$f(z) = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad (۲)$$

بدین ترتیب اگر $z = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + ... + \beta_K X_K$ (که در آن X متغیر مستقل و kاندیس متغیرهای مستقل است) مدنظر قرار گیرد، آنگاه می‌توان نوشت:

ACCEPTED MANUSCRIPT

$$P(D=1|X_1, X_2, ..., X_k) = \frac{1}{1+e^{-(\alpha+\sum \beta_i X_i)}} \quad (۳)$$

تبدیل لوجیت مدل لجستیک به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$In[\frac{P(X)}{1-P(X)}] = In[\frac{\frac{1}{1+e^{-(\alpha+\sum \beta_i X_i)}}}{\frac{e^{-(\alpha+\sum \beta_i X_i)}}{1+e^{-(\alpha+\sum \beta_i X_i)}}}] = \alpha + \sum \beta_i X_i \quad (۴)$$

به این ترتیب، مدل رگرسیون لجستیک طبق رابطه (۴) به فرم خطی تبدیل می‌شود و پارامترهای آن با استفاده از روش بیشینه درست‌نمایی[۳۰] تخمین زده می‌شوند. لازم به ذکر است که $odds = \frac{P(x)}{1-P(x)}$ نشان‌دهنده‌ی بخت وقوع متغیر وابسته‌ی X است. همچنین، $Logit\ P(X)$ بیانگر لگاریتم بخت X می‌باشد. بخت مفهومی مستقل از ریسک است زیرا ریسک از تقسیم احتمال وقوع به احتمال کل به دست می‌آید، درحالی‌که بخت از تقسیم احتمال وقوع به احتمال عدم وقوع به دست می‌آید.

در مدل لجستیک، پارامتر a نشان‌دهنده‌ی لگاریتم بخت زمینه‌ای[۳۱] است. به عبارت دیگر، این مقدار بیانگر لگاریتم بخت وقوع متغیر وابسته در حالتی است که تمام متغیرهای مستقل (X_i) برابر با صفر باشند. این وضعیت معمولاً به مشاهده‌ای اشاره دارد که تمامی متغیرهای مستقل آن در سطح مرجع قرار دارند. برای به دست آوردن اثر خالص یک سطح خاص از یک متغیر مستقل بر متغیر وابسته (مانند شدت جراحت راننده) در مقایسه با سطح مرجع آن متغیر مستقل، از مفهومی به نام نسبت بخت[۳۲] استفاده می‌شود.

اگر بخواهیم تأثیر زن بوده راننده (X_1) بر شدت جراحت را نسبت به زمانی که راننده مرد است (سطح مرجع متغیر جنسیت، یعنی (X_0) محاسبه کنیم، نسبت بخت به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Odds\ ratio = \frac{odds\ for\ X_1}{odds\ for\ X_0} = e^{\beta_i (X_1 - X_0)} \quad (۵)$$

مشاهده می‌شود که β_i بیانگر تغییر در نسبت لگاریتم بخت‌ها است و اثر زن بودن راننده بر شدت جراحت در مقایسه با جنسیت مرد (گروه مرجع) نشان می‌دهد [۳۶, ۳۷].

جهت درک بهتر، فرض می‌شود که تغییر در نسبت لگاریتم بخت وانت‌بار برابر با $\beta_i = 0.243$ باشد. در این صورت، تغییر در نسبت بخت به صوت $e^{0.243} = 1.275$ محاسبه می‌شود. این بدان معناست که بخت فوت یا جراحت راننده وانت‌بار ۲۷/۵٪ بیشتر از بخت فوت یا جراحت راننده در شرایطی است که خودرو پراید باشد.

نکته‌ی مهم این است که برای یافتن تأثیر چند متغیر مستقل، این اثر به‌صورت ضربی بر روی متغیر وابسته نمایان می‌شود. به‌عنوان نمونه، اگر تغییر در نسبت بخت برای شب بودن زمان تصادف از متغیر وضعیت روشنایی (روز به‌عنوان مرجع) برابر با $e^{0.263} = 1.3$ باشد، آنگاه بخت فوت یا جراحت راننده درصورتی‌که خودرو وانت‌بار و زمان تصادف شب باشد، برابر با $1.275 \times 1.3 = 1.657$ خواهد بود. این مقدار نشان می‌دهد که بخت فوت یا جراحت همان راننده در خودرو وانت‌بار و در شرایط شب، ۶۵/۷٪ بیشتر از بخت فوت یا جراحت در خودروی پراید و در شرایط روز در تصادفی مشابه (با سایر متغیرهای یکسان) است.

30 Maximum Liklihood

31 Background log odds

32 Odds Ratio

ACCEPTED MANUSCRIPT

۳-۱- شاخص ایمنی برخورد

در بحث عملکرد ایمنی وسایل نقلیه، شاخصی به نام ایمنی برخورد تعریف می‌شوذ که نشان‌دهنده میزان قابلیت حفاظت از سرنشین در خودروی مورد نظر نسبت به یک مرجع است. ازآنجایی‌که در این پژوهش بررسی و مقایسه عملکرد خودروها مورد توجه است، نسبت بخت‌های به‌دست‌آمده بر اساس شدت جراحت راننده به‌عنوان شاخص ایمنی برخورد خودرو در نظر گرفته می‌شود. به‌طور خلاصه $e^{\beta_{\text{vehicle age}}}$ نسبت به گروه مرجع، به عنوان شاخص ایمنی برخورد تعریف می‌شود؛ که در اینجا $\beta_{\text{vehicle age}}$ ضریب متغیر مستقل مربوط به سن خودرو است.

۳-۲- روش‌های ارزیابی مدل

در این پژوهش از آزمون ضریب تعیین سودو[۳۳] و نسبت درست‌نمایی[۳۴] استفاده شده است.

۳-۲-۱- ضریب تعیین سودو

ضریب‌های تعیین سودو برای سنجش میزان توانایی متغیرهای مستقل در تبیین واریانس متغیر وابسته به کار می‌روند. از بین این ضریب‌ها، دو ضریب معروف‌تر شامل ضریب تعیین کاکس و اسنل[۳۵] و ضریب تعیین ناگل‌کرک[۳۶] هستند. ضریب تعیین کاکس و اسنل طبق رابطه‌ی (۶) تعریف می‌شود [۳۸]:

$$\mathrm{R}^2_{\mathrm{C\&S}} = 1 - \left(\frac{LL(0)}{LL(\beta)}\right)^{\frac{2}{n}} \qquad (۶)$$

در رابطه، n حجم نمونه، $LL(\beta)$ لگاریتم درستنمایی برای مدل و $LL(0)$ لگاریتم درستنمایی[۳۷] در حالت فرض صفر (یعنی زمانی که تمام ضرایب متغیرها صفر هستند) است. مشکل اصلی این ضریب این است که حداکثر مقدار آن همیشه کمتر از یک است. برای بهبود این وضعیت، ضریب تعیین ناگل‌کرک که اصلاح شده ضریب کاکس و اسنل است، طبق رابطه‌ی (۷) محاسبه می‌شود:

$$\mathrm{R}^2_{\mathrm{N}} = \frac{R^2_{\mathrm{C\&S}}}{1 - LL(0)^{\frac{2}{n}}} \qquad (۷)$$

پارامترهای این رابطه همانند پارامترهای رابطه‌ی (۶) تعریف می‌شوند. لازم به ذکر است که مقادیر ضریب تعیین ناگل‌کرک بین صفر و یک تغییر می‌کند و مقادیر بالاتر از ۰/۱۵ نشان‌دهنده‌ی برازش قابل قبول مدل است [۳۸].

۳-۲-۲- آزمون نسبت درستنمایی

برای برآورد ضرایب مدل از روش حداکثر درستنمایی[۳۸] (ML) استفاده می‌شود. در این روش، پارامترها به‌گونه‌ای محاسبه می‌شوند که احتمال وقوع هم‌زمان مشاهدات به بیشترین مقدار برسد. در مدل رگرسیون لجستیک، دو فرض مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۱) فرضیه صفر: به معنای این است که تمامی ضرایب مدل (β ها) برابر صفر باشند.
۲)) مدل با متغیرهای در نظر گرفته‌شده[۳۹]

33 Pseudo R Square
34 Likelihood Ratio
35 Cox & Snell R Square
36 Nagelkerke R Square
37 Log Likelihood (LL)
38 Maximum likelihood
39 Variables in the Equation

ACCEPTED MANUSCRIPT

هدف این است که بررسی کنیم آیا مدل لجستیک با متغیرهای مطرح شده از نظر آماری عملکرد بهتری دارد یا خیر؟ برای این منظور ابتدا نسبت درست‌نمایی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$LR = 2(LL(\beta) - LL(0)) \quad (۸)$$

سپس مقدار LR^* با توجه به سطح معناداری و درجه آزادی (تعداد متغیرهایی که در نظر گرفته شده) از جدول توزیع کای دو (x^2) به دست آورده می‌شود. در صورتی که $LR > LR^*$ باشد، مدل با متغیرهای لحاظ شده نسبت به حالتی که تمام ضرایب صفر باشند، عملکرد بهتری خواهد داشت و فرضیه صفر رد می‌شود.

۴- نتایج تفسیرها

نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های صورت گرفته به همراه تفسیرهای مربوطه برای تمامی بررسی‌ها در بندهای مختلف ارائه شده است.

۴-۱- شناسایی متغیرهای مؤثر بر شدت جراحت رانندگان بر اساس درخت تصمیم و رگرسیون (کارت)

در این بخش، با استفاده از الگوریتم کارت، متغیرهای مؤثر بر شدت جراحت رانندگان در تصادفات برخورد با شیء ثابت شناسایی شدند. فهرست متغیرهای مهم که میزان اهمیت آن‌ها بیش از ۲۰٪ بوده، به همراه میزان اهمیت شناسایی شده برای هر یک در جدول ۳ ارائه شده است و این متغیرها به عنوان متغیرهای مهم در مرحله بعدی در مدل رگرسیون لجستیک دوگانه استفاده می‌شوند.

جدول 3: متغیرهای مهم مؤثر بر شدت جراحت رانندگان بر اساس روش کارت

Table 3. Important variables influencing drivers' injury severity by the CART method

متغیر	میزان اهمیت
نوع راه	۱۰۰٪
کمربند ایمنی	۸۴٪
سن راننده	۷۰٪
عمر خودرو	۴۹٪
روشنایی	۴۸٪
شرایط سطح راه	۲۵٪
نوع شانه راه	۲۴٪
جنسیت راننده	۲۱٪

۴-۲- تحلیل نتایج بررسی اثر سن خودرو

در این بخش، نتایج بررسی تأثیر سن خودرو در لحظه‌ی تصادف بر شدت جراحت در برخورد با شیء ثابت برای خودروهای مورد نظر، طبق جدول ۴ آورده شده است. با توجه به اینکه عمر مفید خودروها معمولاً ۱۰ سال در نظر گرفته می‌شود، در دسته‌بندی سن خودروها به این مسئله توجه شده است.

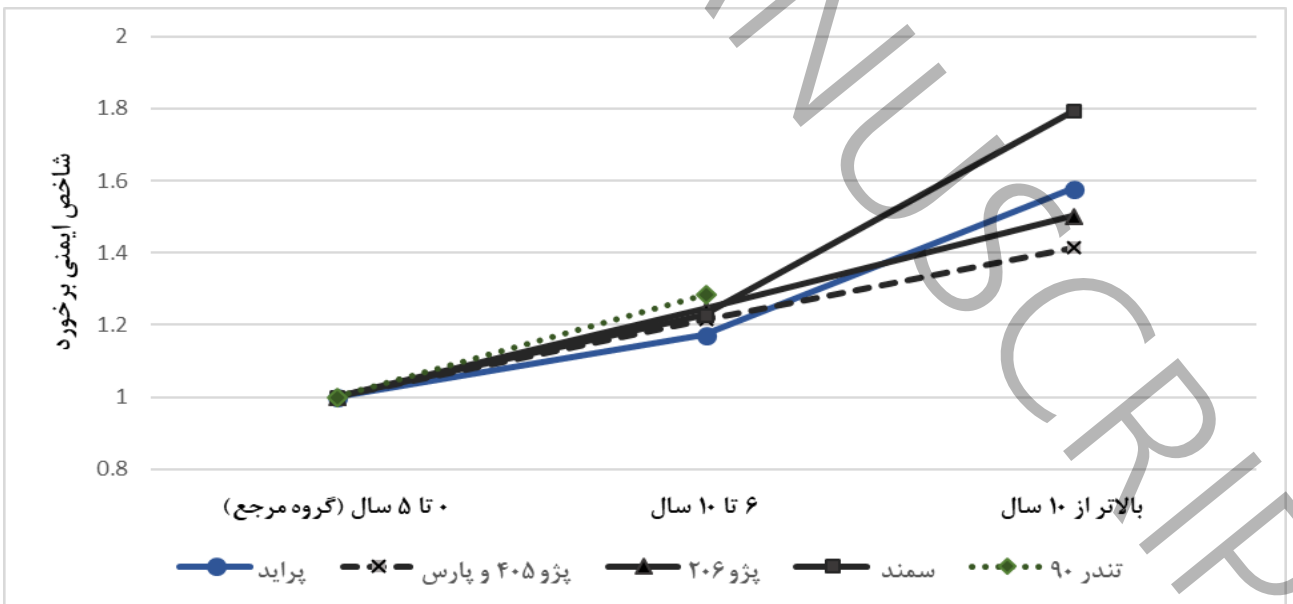
در شکل ۱، شاخص ایمنی برخورد خودروها بر اساس سن آن‌ها به نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش سن خودرو، عملکرد ایمنی برای تمام خودروها کاهش می‌یابد به طور خاص، پس از گذر از سن ۱۰ سال، بخت فوت یا جراحت راننده به‌طور میانگین حدود ۵۰ درصد بیشتر از راننده‌ای است که خودرویی با سن زیر ۵ سال را رانندگی می‌کند.

ACCEPTED MANUSCRIPT

جدول ۴: ایمنی برخورد خودروها بر اساس سن خودرو

Table 4. Crashworthiness of vehicles by vehicle age

برند خودرو	سن خودرو	B	S.E.	Wald	Sig.	Exp(B)	95% C.I.for EXP(B)	
							Lower	Upper
	۰ تا ۵ سال (گروه مرجع)			۴۹/۴۸۸	۰/۰۰۰			
پراید	۶ تا ۱۰ سال	۰/۱۵۸	۰/۰۵۳	۸/۷۹۶	۰/۰۰۳	۱/۱۷۱	۱/۰۵۵	۱/۲۹۹
	بالاتر از ۱۰ سال	۰/۴۵۵	۰/۰۶۵	۴۹/۳۹۲	۰/۰۰۰	۱/۵۷۷	۱/۳۸۹	۱/۷۹۱
	۰ تا ۵ سال (گروه مرجع)			۱۵/۰۶۷	۰/۰۰۱			
پژو ۴۰۵ و پارس	۶ تا ۱۰ سال	۰/۱۹۴	۰/۰۷۴	۶/۸۲۰	۰/۰۰۹	۱/۲۱۴	۱/۰۵۰	۱/۴۰۴
	بالاتر از ۱۰ سال	۰/۳۴۷	۰/۰۹۸	۱۲/۳۸۵	۰,۰۰۰	۱/۴۱۴	۱/۱۶۶	۱/۷۱۵
	۰ تا ۵ سال (گروه مرجع)			۶/۸۵۳	۰/۰۳۲			
پژو ۲۰۶	۶ تا ۱۰ سال	۰/۲۱۸	۰/۱۲۳	۳/۱۴۱	۰/۰۷۶	۱/۲۴۴	۰/۹۷۷	۱/۵۸۴
	بالاتر از ۱۰ سال	۰/۴۰۶	۰/۱۷۴	۵/۴۶۸	۰/۰۱۹	۱/۵۰۰	۱/۰۶۸	۲/۱۰۸
	۰ تا ۵ سال (گروه مرجع)			۱۲/۹۴۶	۰/۰۰۲			
سمند	۶ تا ۱۰ سال	۰/۲۰۳	۰/۱۱۳	۳/۲۴۱	۰/۰۷۲	۱/۲۲۶	۰/۹۸۲	۱/۵۲۹
	بالاتر از ۱۰ سال	۰/۵۸۳	۰/۱۶۸	۱۲/۰۰۵	۰/۰۰۱	۱/۷۹۱	۱/۲۸۸	۲/۴۹۰
تندر ۹۰	۰ تا ۵ سال (گروه مرجع)							
	۶ تا ۱۰ سال	۰/۲۵۰	۰/۲۴۰	۱/۰۸۵	۰/۲۹۸	۱/۲۸۴	۰/۸۰۳	۲/۰۵۳



شکل ۱: شاخص ایمنی برخورد خودروها بر اساس دسته‌بندی‌های سن خودرو در لحظه‌ی تصادف

Figure 1. Crashworthiness index of vehicles by vehicle age categories at the time of the crash

ACCEPTED MANUSCRIPT

فرض اولیه پژوهش مبنی بر کاهش عملکرد ایمنی خودروها با افزایش سن آن‌ها در تصادفات برخورد با شیء ثابت تأیید می‌شود. نکته مهم این است که این افزایش شاخص ایمنی (که نشان‌دهنده ضعیف‌تر شدن عملکرد ایمنی است) برای همه‌ی خودروها یکسان نیست. از شکل ۱ مشخص است که تا سن ۱۰ سال، عملکرد ایمنی تمامی خودروها به صورت تقریباً یکسان کاهش یافته است. با این حال، پس از سن ۱۰ سال، عملکرد خودروی سمند، با نسبت بخت ۱/۷۹، به طور محسوسی ضعیف‌تر از دیگر خودروها بوده است. از طرف دیگر، اثر افزایش سن در خودروهای پژو ۴۰۵ و پارس کمتر از سایر خودروهای بررسی‌شده بوده است. بنابراین، به نظر می‌رسد خودروی سمند زودتر از سایر خودروها مستهلک شده و عمر مفید کوتاه‌تری دارد.

به‌عنوان نتیجه‌گیری، می‌توان گفت که افزایش سن خودرو در لحظه‌ی تصادف به طور کلی منجر به کاهش عملکرد ایمنی خودرو می‌شود، اما این روند در همه خودروها یکسان نیست.

۳-۴- تحلیل متغیرهای کنترلی

در جدول ۵ نتایج مدل‌سازی برای متغیرهای کنترلی ارائه شده است. هفت متغیر کنترلی در مدل‌سازی منظور شده است و تمامی آن‌ها تا سطح ۹۵ درصد از لحاظ آماری معنادار هستند. تنها در برخی سطوح، مانند غروب در متغیر وضعیت روشنایی عدم معناداری مشاهده شده است. نسبت بخت به‌دست‌آمده برای هر سطح از متغیرهای کنترلی نشان‌دهنده اثر خالص آن بر شدت جراحت راننده (که متغیر وابسته می‌باشد) در تصادفی مشابه است. به عنوان مثال، نسبت بخت ۱/۴۲ برای رانندگان زن در خودروی تندر ۹۰ نشان می‌دهد که بخت فوت یا جراحت رانندگان زن در تصادفات برخورد با شئ ثابت، ۴۲٪ بیشتر از رانندگان مرد با شرایط یکسان است. این یافته‌ها نتایج پژوهش وانگ را تأیید می‌کند که در آن احتمال آسیب‌دیدگی زنان ۱۲/۵٪ و احتمال فوت آن‌ها ۳۷/۵٪ بیشتر گزارش شده است [۳۹].

در تمامی خودروهای سواری بررسی شده، بخت فوت یا جراحت راننده در تغییر از آزادراه به بزرگراه، جاده اصلی یا جاده فرعی بیش از دو برابر افزایش می‌یابد. با اینکه سرعت خودروها در آزادراه‌ها بیشتر است، کیفیت ایمنی، روسازی، و روشنایی در آزادراه‌ها نیز بهتر است. پژوهش ژو[۴۰] نشان داده است که تصادفات در جاده‌های با تعداد خطوط حرکتی بیشتر، شدت جراحات کمتری دارند[۴۰]. عرض بیشتر معبر نیز به رانندگان اجازه می‌دهد تا مانور بیشتری در لحظه تصادف داشته باشند، که باعث می‌شود برخورد احتمالی با سرعت کمتری رخ دهد. بنابراین، نسبت بخت‌ها نشان می‌دهد که کیفیت مسیر می‌تواند شدت جراحت تصادفات را کاهش دهد.

خطرناک‌ترین گروه سنی برای خودروهای پژو ۴۰۵ و پارس، پژو ۲۰۶، سمند و تندر ۹۰، افراد زیر ۲۵ سال و برای خودروی پراید، رانندگان بالای ۶۵ سال بوده‌اند. این امر ممکن است به دلیل آسیب‌پذیری بیشتر افراد مسن در برابر صدمات جسمی و عملکرد ضعیف‌تر بدنه خودرو پراید باشد.

عدم استفاده از کمربند ایمنی نیز در تمامی مدل‌های خودرو سبب می‌شود بخت فوت یا جراحت راننده بیش از ۲ برابر شود. اینکه نبستن کمربند ایمنی سبب تشدید جراحت وارده در تصادفات می‌شود بر کسی پوشیده نیست، اما در تصادفات صرفاً خسارتی، رانندگان به دلیل ترس از جریمه ممکن است در مورد بستن کمربند ایمنی به افسر پلیس دروغ بگویند، درنتیجه این موضوع می‌تواند تأثیر نبستن کمربند ایمنی را بیشتر از آنچه هست نشان دهد.

خطرناک‌ترین زمان وقوع تصادف، طلوع آفتاب بوده است که ممکن است به دلیل خواب‌آلودگی رانندگان در این ساعت باشد. همچنین، بخت جراحت و فوت در شب‌ها، به ویژه برای خودروی سمند، بیشتر از روز بوده است که این موضوع می‌تواند ناشی از تأمین نشدن مسافت دید کافی در شب باشد که سبب کاهش فرصت عکس‌العمل راننده برای کاهش سرعت برخورد می‌شود. این نتیجه در پژوهش‌های پیشین نیز تأیید شده است[۲۹]. اگر شرایط سطح راه خیس یا برفی و یخبندان باشد، بخت فوت و جراحت راننده کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد چون رانندگان معمولاً در هوای بارانی و برفی سعی می‌کنند با سرعت‌های کمتر حرکت کنند و از مانورهای خطرناک اجتناب کنند درنتیجه بخت فوت و جراحت کاهش می‌یابد.

40 Xiaoyu Zhu

ACCEPTED MANUSCRIPT

جدول ۵: نتایج متغیرهای کنترلی بررسی سن خودرو

Table 5. Results of control variables in examining vehicle age

متغیرهای کنترلی مدل خودرو		پراید		پژو ۴۰۵ و پارس		پژو ۲۰۶		سمند		تندر ۹۰	
		Sig.	Exp(B)	Sig.	Exp(B)	Sig.	Exp(B)	Sig.	Exp(B)	Sig.	Exp(B)
شرایط سطح راه	خشک (گروه مرجع)	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۲	۱	۰/۰۰۶	۱	۰/۹۵۱	۱
	خیس	۰/۰۰۰	۰/۶۳۵	۰/۰۰۴	۰/۶۷۳	۰/۰۰۹	۰/۵۵۲	۰/۰۲۹	۰/۶۲۹	۰/۷۵۱	۰/۹۱۲
	یخبندان و برفی	۰/۰۰۲	۰/۴۳۱	۰/۰۰۰	۰/۲۳۴	۰/۰۲۰	۰/۰۹۶	۰/۰۱۹	۰/۱۸۵	۰/۹۹۸	۰/۰۰۰
وضعیت روشنایی	روز (گروه مرجع)	۰/۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۱۴	۱	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۱	۱
	شب	۰/۰۰۰	۱/۳۳۳	۰/۰۰۰	۱/۳۶۳	۰/۰۰۳	۱/۴۲۳	۰/۰۰۰	۱/۵۰۷	۰/۰۰۱	۱/۹۳۸
	طلوع	۰/۰۱۱	۱/۶۱۰	۰/۰۰۳	۱/۹۷۵	۰/۱۶۴	۱/۸۶۳	۰/۹۱۷	۱/۰۳۱	۰/۰۲۰	۳/۴۱۰
	غروب	۰/۷۵۱	۱/۰۵۲	۰/۹۶۴	۱/۰۱۰	۰/۶۲۴	۰/۸۰۸	۰/۰۱۲	۰/۷۴۱	۰/۵۰۰	۰/۴۹۸
وضعیت شانه راه	شانه ندارد	۰/۰۰۰	۰/۸۱۵	۰/۰۰۰	۰/۶۱۲	۰/۰۱۵	۰/۷۳۲	۰/۰۱۲	۰/۷۴۱	۰/۱۲۰	۰/۷۱۲
نوع راه	آزاد راه (گروه مرجع)	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱
	بزرگراه	۰/۰۰۰	۲/۵۷۸	۰/۰۰۰	۲/۱۳۷	۰/۰۰۹	۱/۶۱۰	۰/۰۰۰	۲/۴۹۸	۰/۰۰۴	۲/۲۷۰
	جاده اصلی	۰/۰۰۰	۲/۷۹۳	۰/۰۰۰	۲/۳۵۷	۰/۰۰۰	۲/۱۴۵	۰/۰۰۰	۱/۹۷۶	۰/۰۰۰	۲/۵۵۷
	جاده فرعی	۰/۰۰۰	۳/۳۸۳	۰/۰۰۰	۲/۹۲۵	۰/۰۰۰	۲/۵۴۱	۰/۰۰۰	۲/۱۶۱	۰/۰۰۰	۴/۳۶۹
جنسیت	زن	۰/۱۵۴	۱/۱۱۵	۰/۰۶۸	۱/۲۷۷	۰/۳۱۹	۱/۱۵۱	۰/۳۹۳	۱/۱۹۵	۰/۲۱۷	۱/۴۲۰
سن راننده	از ۲۵ تا ۴۴ سال (گروه مرجع)	۰/۰۱۵	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۴	۱	۰/۰۵۷	۱	۰,۲۲۱	۱
	زیر ۲۵ سال	۰/۰۲۸	۱/۱۶۳	۰/۰۰۰	۱/۴۵۱	۰/۰۱۰	۱/۴۵۵	۰/۰۰۷	۱/۴۸۰	۰/۰۶۵	۱/۶۲۸
	از ۴۵ تا ۶۴ سال	۰/۷۸۴	۱/۰۱۸	۰/۶۷۳	۱/۰۳۶	۰/۰۴۵	۰/۶۹۶	۰/۸۸۳	۱/۰۱۹	۰/۶۱۱	۰/۸۹۲
	۶۵سال و بالاتر	۰/۰۱۲	۱/۵۳۰	۰/۲۴۷	۰/۷۴۲	۰/۵۹۷	۰/۷۲۵	۰/۹۴۸	/۹۷۶	۰/۸۵۳	۰/۸۸۸
وضعیت کمربند ایمنی	استفاده کرده	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱
	استفاده نکرده	۰/۰۰۰	۲/۷۶۴	۰/۰۰۰	۲/۷۲۳	۰/۰۰۰	۲/۲۹۱	۰/۰۰۰	۲/۵۸۶	۰/۰۰۱	۲/۲۲۲
	نامشخص	۰/۰۰۷	۰/۸۴۹	۰/۰۰۳	۰/۷۵۹	۰/۰۰۱	۰/۵۸۵	۰/۰۰۱	۰/۶۳۳	۰/۰۰۸	۰/۴۴۱
	Constant	۰/۰۰۰	۰/۰۶۲	۰/۰۰۰	۰/۰۴۲	۰/۰۰۰	۰/۰۵۰	۰/۰۰۰	۰/۰۳۹	۰/۰۰۰	۰/۰۳۴

۴-۴- ارزیابی مدل‌های ساخته شده

با توجه به اینکه تعداد مدل‌سازی‌های انجام‌شده زیاد بوده است، به جهت اختصار تنها ارزیابی مدل‌سازی مربوط به بررسی اثر سن خودروی تندر ۹۰ در تصادفات برخورد با شئ ثابت ارائه شده است. بدیهی است سایر مدل‌ها نیز به همین صورت مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

نتایج مربوط به لگاریتم درستنمایی و ضرایب تعیین سودو مربوط برای مدل لجستیک مربوط به سن خودرو تندر ۹۰ در تصادفات برخورد با شیء ثابت در جدول ۶ نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که ضریب تعیین ناگل‌کرک بیشتر از ۰/۱۵ است، که نشان می‌دهد برازش مدل قابل قبول است.

ACCEPTED MANUSCRIPT

جدول ۶: نتایج مربوط به دو آماره لگاریتم درستنمایی و ضرایب تعیین سودو خودرو تندر ۹۰

Table 6. Results of the likelihood ratio statistic and pseudo-R-square coefficients for Thunder 90 vehicle

Nagelkerke R Square	Cox & Snell R Square	-2 Log likelihood (full)	-2 Log likelihood (intercept)
۰/۱۹۵	۰/۰۸۳	۹۲۳۴۹/۰۴۴	۱۰۹۴۸۲/۲۰۹

در آزمون نسبت درستنمایی نیز به شکل زیر عمل می‌شود:

$$LR = 109482.209 - 92349.044 = 17133.165$$

با استفاده از جدول توزیع کای دو (x^2)، مقدار بحرانی نسبت درستنمایی برای سطح اطمینان ۹۵٪ با ۱۱ درجه آزادی برابر با ۱۹/۶۷۵ است:

$$LR^* = 19.675$$

ملاحظه می‌شود که $LR > LR^*$ است؛ بنابراین فرض صفر مبنی بر صفر بودن ضرایب متغیرها رد می‌شود. به عبارت دیگر، مدل لجستیک با متغیرهای در نظر گفته‌شده از نظر آماری برازش بهتری دارد.

همچنین، به منظور اعتبارسنجی مدل درخت تصمیم و رگرسیون در این مطالعه، قبل از مدل‌سازی، ۳۰ درصد از داده‌ها به صورت تصادفی جدا شدند و مدل با استفاده از ۷۰ درصد داده‌های باقی‌مانده ساخته شد. همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، دقت مدل در هر دو کلاس بسیار بالا بوده است.

جدول ۷: دقت مدل درخت تصمیم و رگرسیون

Table 7. Accuracy of decision tree and regression models

شدت جراحت	دقت مدل برای داده‌های آموزشی (۷۰٪)	دقت مدل برای داده‌های آزمون (۳۰٪)
عدم آسیب‌دیدگی	۱۰۰٪	۱۰۰٪
مصدوم یا فوتی	۱۰۰٪	۱۰۰٪

۵- نتیجه گیری

این پژوهش به بررسی اثر سن پنج مدل خودروی پر کاربرد ایرانی (پراید، پژو ۴۰۵، پژو ۲۰۶، سمند و تند ۹۰) بر شدت جراحت در تصادفات برخورد با شیء ثابت پرداخته است. با توجه به اینکه ایمنی راه‌های برون‌شهری و تمایل به استفاده از امکانات ایمنی در این مسیرها ممکن است نسبت به مسیرهای درون‌شهری کمتر باشد، تمرکز این پژوهش بر بررسی ایمنی خودروها از نظر حفاظت از سرنشینان در لحظه وقوع تصادف، به ویژه در تصادفات برخورد با شیء ثابت در راه‌های برون‌شهری، بوده است. برای دستیابی به این هدف، از داده‌های تصادفات پلیس مربوط به تصادفات برخورد با شیء ثابت طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ استفاده شده است. در این تحلیل، ابتدا از روش درخت تصمیم و رگرسیون (کارت) جهت شناسایی متغیرهای مؤثر بر شدت جراحت رانندگان استفاده شده و سپس این متغیرها در مدل رگرسیون لجستیک دوگانه به کار گرفته شدند. شدت جراحت راننده به صورت دو سطحی به عنوان متغیر وابسته و سن خودرو به همراه سایر متغیرهای کنترلی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. ، سن خودروها نیز به سه بازه زیر پنج سال، پنج تا ده سال، و بیش از ده سال تقسیم‌بندی شده است.

نتایج نشان داده است که با افزایش سن خودروهای مورد بررسی، شاخص ایمنی برخورد افزایش یافته و در نتیجه عملکرد ایمنی ضعیف‌تر می‌شود. به‌طوری‌که پس از عبور از سن ده سال، بخت فوت یا جراحت راننده خودرو به‌طور میانگین حدود ۵۰ درصد بیشتر از

ACCEPTED MANUSCRIPT

خودرویی با سن زیر پنج سال است. البته این روند ضعیف شدن ایمنی برای همه‌ی خودروها یکسان نبوده است. با افزایش سن خودرو تا ده سال، عملکرد ایمنی خودروها تقریباً به یک اندازه کاهش یافته، درحالی‌که بعد از ده سال، وضعیت خودروی سمند با نسبت بخت ۱/۷۹ به مراتب بدتر از سایر خودروها بوده است. از طرف دیگر، اثر افزایش سن برای خودروهای پژو ۴۰۵ و پارس کمتر از سایر خودروهای بررسی‌شده بوده است. در نتیجه، به نظر می‌رسد خودروی سمند زودتر از سایر خودروها مستهلک شده و عمر مفید کوتاه‌تری دارد. با توجه به این نتایج، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش سن خودرو در لحظه تصادف، باعث کاهش عملکرد ایمنی خودرو می‌شود، البته این روند برای همه‌ی خودروها به یک اندازه نیست.

بررسی سن راننده نیز نشان داد که خطرناک‌ترین گروه سنی برای خودروهای پژو ۴۰۵ و پارس، پژو ۲۰۶، سمند و تندر ۹۰، رانندگان زیر ۲۵ سال و برای خودروی پراید، رانندگان بالای ۶۵ سال هستند. این مسئله ممکن است به دلیل آسیب‌پذیری بیشتر افراد مسن در برابر صدمات جسمی و عملکرد ضعیف‌تر بدنه خودروی پراید باشد. علاوه بر این، بررسی وضعیت روشنایی نشان داد که احتمال شدت جراحت و فوت رانندگان در زمان طلوع آفتاب و شب نسبت به روز بیشتر است. در تمامی خودروهای سواری بررسی شده، احتمال شدت جراحت و فوت رانندگان در آزادراه‌ها به دلیل کیفیت بالای ایمنی، روسازی و روشنایی، به مراتب کمتر از سایر راه‌ها بوده است. این پژوهش همچنین بر اهمیت استفاده از کمربند ایمنی و کاهش سرعت، به ویژه در شرایط آب و هوایی نامساعد مانند بارندگی، برف و خیسی سطح جاده، برای کاهش احتمال جراحت و فوت راننده تأکید کرده است.

با توجه به نتایج فوق و در راستای کاهش احتمال جراحت و فوت رانندگان، اقداماتی مانند برگزاری کلاس‌های آموزشی برای افزایش آگاهی رانندگان زیر ۲۵ سال ، بهبود نوردهی و افزایش کیفیت ایمنی و روسازی راه‌ها و همچنین استفاده از سیستم‌های هوشمند و اخطاردهنده در خودروها، به ویژه برای جلوگیری از خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان در زمان طلوع آفتاب و شب، توصیه می‌شود. همچنین بهبود عملکرد خودروی پراید و تأکید بر معاینه فنی مکرر خودروهای با سن بیش از ده سال ضروری است. علاوه بر این، با توجه به اینکه سرعت خروج ناوگان فرسوده با افزایش سن خودروها هماهنگ نیست، این مسئله به عنوان یک تهدید جدی برای آینده تلقی می‌شود که می‌تواند منجر به افزایش تلفات شود. پیشنهاد می‌شود طرح نوسازی خودروها در سطح کشور با جدیت بیشتری دنبال شود. همچنین برای پژوهش‌های آینده، بررسی رفتارهای فردی مؤثر در تصادفات در کنار ارزیابی خودروها و تأثیر گواهی معاینه فنی خودروها توصیه می‌شود.

مراجع

[۱] World Health Organization (2021). extranet. who.int/roadsafety/death-on-the roads/#country_or_area/IRN.

[۲] A. Tavakoli Kashani, M.M. Besharati, An analysis of vehicle occupants' injury severity in crashes occurred on rural freeways and multilane highways in Iran, International Journal of Transportation Engineering, 4(2) (2016) 137-146.

[۳] X. Yan, J. He, C. Zhang, Z. Liu, C. Wang, B. Qiao, Temporal analysis of crash severities involving male and female drivers: A random parameters approach with heterogeneity in means and variances, Analytic methods in accident research, 30 (2021) 100161.

[٤] M. Yang, Q. Bao, Y. Shen, Q. Qu, R. Zhang, T. Han, H. Zhang, Determinants influencing alcohol-related two-vehicle crash severity: A multivariate Bayesian hierarchical random parameters correlated outcomes logit model, Analytic Methods in Accident Research, 44 (2024) 100361.

[٥] A.T. Kashani, M.M. Besharati, Fatality rate of pedestrians and fatal crash involvement rate of drivers in pedestrian crashes: A case study of Iran, International journal of injury control and safety promotion, 24(2) (2017) 222-231.

[٦] M.D. Keall, S. Newstead, Are SUVs dangerous vehicles?, Accident Analysis & Prevention, 40(3) (2008) 954-963.

[۷] H. Huang, C. Siddiqui, M. Abdel-Aty, Indexing crash worthiness and crash aggressivity by vehicle type, Accident Analysis & Prevention, 43(4) (2011) 1364-1370.

ACCEPTED MANUSCRIPT

[۸] H. Huang, C. Li, Q. Zeng, Crash protectiveness to occupant injury and vehicle damage: An investigation on major car brands, Accident Analysis & Prevention, 86 (2016) 129-136.
[۹] A. Tavakoli Kashani, H. Arefkhani, Indexing crash worthiness, crash aggressivity, and total secondary safety for major car brands: A case study of Iran, International Journal of Civil Engineering, 16 (2018) 857-86.۹
[۱۰] W.J. Wu, C.S. Li, S.C. Peng, The relationships between vehicle characteristics and automobile accidents, Risk Management and Insurance Review, 23(4) (2020) 331-377.
[۱۱] H. Arefkhani, M.M. Besharati, M. Azizi Bondarabadi, A. Tavakoli Kashani, How does the incompatibility of different vehicle types affect the odds of driver injury?, Journal of Transportation Safety & Security, 13(8) (2021) 860-876.
[۱۲] C. Wang, F. Chen, Y. Zhang, J. Cheng, Analysis of injury severity in rear-end crashes on an expressway involving different types of vehicles using random-parameters logit models with heterogeneity in means and variances, Transportation letters, 15(7) (2023) 742-753.
[۱۳] C. Wang, M. Abdel-Aty, L. Han, Effects of speed difference on injury severity of freeway rear-end crashes: Insights from correlated joint random parameters bivariate probit models and temporal instability, Analytic Methods in Accident Research, 42 (2024) 100320.
[۱٤] R. Yuan, X. Gu, Z. Peng, Q. Xiang, Analysis of factors affecting occupant injury severity in rear-end crashes by different struck vehicle groups: A random thresholds random parameters hierarchical ordered probit model, Journal of Transportation Safety & Security, 15(6) (2023) 636-657.
[۱٥] S.V. Newstead, L.M. Watson, A.K. Delaney, M.H. Cameron, Crashworthiness and aggressivity of the Australian light vehicle fleet by major crash type, Monash University Accident Research Centre Reports, (227) (2004) 124.
[۱٦] H. Huang, S. Hu, M. Abdel-Aty, Indexing crash worthiness and crash aggressivity by major car brands, Safety science, 62 (2014) 339-347.
[۱۷] A. Tavakoli Kashani, I. Tabe Bordbar, M. Rakhshani Moghadam, The safety performance of vehicles in crashes with fixed objects, In The 13th International Congress on Civil Engineering, Tehran, https://civilica.com/doc/1853154, 1402, (in Persian).
[۱۸] A. Tavakoli Kashani, I. Tabe Bordbar, M. Rakhshani Moghadam, Analysis on different passenger car brands' crashworthiness in two-vehicle, and rollover crashes on rural roads of Iran, In The 19th International Conference on Traffic and Transportation Engineering, Tehran,https://civilica.com/doc/1675920, 1401.
[۱۹] M. Fredette, L.S. Mambu, A. Chouinard, F. Bellavance, Safety impacts due to the incompatibility of SUVs, minivans, and pickup trucks in two-vehicle collisions, Accident Analysis & Prevention, 40(6) (2008) 1987-1995.
[۲۰] H. Stigson, A. Ydenius, A. Kullgren, Variation of crash severity and injury risk depending on collisions with different vehicle types and objects, In 2006 international IRCOBI conference on the biomechanics of impact, Madrid, Spain, 2006, pp. 20-22.
[۲۱] J.-K. Kim, G.F. Ulfarsson, S. Kim, V.N. Shankar, Driver-injury severity in single-vehicle crashes in California: a mixed logit analysis of heterogeneity due to age and gender, Accident Analysis & Prevention, 50 (2013) 1073-1081.
[۲۲] C. Lee, X. Li, Analysis of injury severity of drivers involved in single-and two-vehicle crashes on highways in Ontario, Accident Analysis & Prevention, 71 (2014) 286-295.
[۲۳] H. Arefkhani, A. Tavakoli Kashani, An investigation on crash worthiness of different vehicle brands: A case study of rollover crashes, International Journal of Transportation Engineering, 6(2) (2018) 111-122.
[۲٤] A. Tavakoli Kashani, M. Rakhshani Moghadam, A. Taheri, G. Müller, D.A. Dissanayake, How does the safety performance of different vehicle types and weights affect the severity of a driver's injury?, International journal of crashworthiness, 29(2) (2024) 198-209.
[۲٥] L. Gong, W.D. Fan, Modeling single-vehicle run-off-road crash severity in rural areas: Accounting for unobserved heterogeneity and age difference, Accident Analysis & Prevention, 101 (2017) 124-134.
[۲٦] S.J. Weiss, R. Ellis, A.A. Ernst, R.F. Land, A. Garza, A comparison of rural and urban ambulance crashes, The American journal of emergency medicine, 19(1) (2001) 52-56.
[۲۷] C. Chen, G. Zhang, H. Huang, J. Wang, R.A. Tarefder, Examining driver injury severity outcomes in rural non-interstate roadway crashes using a hierarchical ordered logit model, Accident Analysis & Prevention, 96 (2016) 79-87.

ACCEPTED MANUSCRIPT

[۲۸] R.L. Muelleman, K. Mueller, Fatal motor vehicle crashes: variations of crash characteristics within rural regions of different population densities, Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 41.2 (1996): 315-320.
[۲۹] K.D. Awadzi, S. Classen, A. Hall, R.P. Duncan, C.W. Garvan, Predictors of injury among younger and older adults in fatal motor vehicle crashes, Accident Analysis & Prevention, 40(6) (2008) 1804-1810.
[۳۰] G.F. Ulfarsson, F.L. Mannering, Differences in male and female injury severities in sport-utility vehicle, minivan, pickup and passenger car accidents, Accident Analysis & Prevention, 36(2) (2004) 135-147.
[۳۱] Y. Kweon, K. Kockelman, Driver attitudes and choices: Seatbelt use, speed limits, alcohol consumption, and crash histories, In Washington DC: 82nd Annual Meeting of Transportation Research Board, Citeseer, 2003.
[۳۲] M. Bedard, G.H. Guyatt, M.J. Stones, J.P. Hirdes, The independent contribution of driver, crash, and vehicle characteristics to driver fatalities, Accident Analysis & Prevention, 34(6) (2002) 717-727.
[۳۳] D. Delen, R. Sharda, M. Bessonov, Identifying significant predictors of injury severity in traffic accidents using a series of artificial neural networks, Accident Analysis & Prevention, 38(3) (2006) 434-444.
[۳٤] L. Breiman, Classification and regression trees, Routledge, 2017.
[۳٥] A. Pande, M. Abdel-Aty, Assessment of freeway traffic parameters leading to lane-change related collisions, Accident Analysis & Prevention, 38(5) (2006) 936-948.
[۳٦] D.N. Gujarati, Econometrics by example, Palgrave Macmillan New York, 2011.
[۳۷] S. Washington, M. Karlaftis, F. Mannering, P. Anastasopoulos, Statistical and econometric methods for transportation data analysis, Chapman and Hall/CRC, 2020.
[۳۸] D.G. Kleinbaum, K. Dietz, M. Gail, M. Klein, M. Klein, Logistic regression, Springer, 2002.
[۳۹] X. Wang, K.M. Kockelman, Use of heteroscedastic ordered logit model to study severity of occupant injury: distinguishing effects of vehicle weight and type, Transportation Research Record, 1908(1) (2005) 195-204.
[٤۰] X. Zhu, S. Srinivasan, A comprehensive analysis of factors influencing the injury severity of large-truck crashes, Accident Analysis & Prevention, 43(1) (2011) 49-57.

ACCEPTED MANUSCRIPT

Modeling the effect of age of vehicles in collisions with fixed roadside objects

Ali Tavakoli Kashani[a,b]*, *Iman Tabe bordbar*[b,c], Marzieh Rakhshani Moghadam[b,c]

[a] Associate Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
[b] Road Safety Research Centre, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
[c] Master of Transportation Engineering, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

ABSTRACT

This study aimed to examine the crashworthiness (CW) index of the five most commonly used Iranian passenger vehicle brands (Pride, Peugeot 405, Peugeot 206, Samand, and Thunder 90) by assessing the effect of vehicle age on driver injury severity in rural fixed-object crashes. Since rural roads have mostly lower safety standards and usage of safety features than urban areas, only rural crash data from Iran (2011-2017) were analyzed. A two-step approach was applied: initially, the Classification and Regression Tree (CART) method identified important variables, and then, Bionamial Logistic Regression modeled the relationships between injury severity and safety performance, using vehicle age and seven additional variables (driver age and gender, lighting conditions, road surface, road type, shoulder type, and seatbelt use) as independent variables. The CW index, based on the odds ratios, exhibited that vehicles over five years old had a 20% increase in odds of fatal or severe injury, which rose to 50% for vehicles over ten years old. Notably, safety performance declines were not uniform. While most brands decreased similarly up to ten years, Samand showed faster deterioration after this period. Conversely, Peugeot 405 and Pars demonstrated slower declines, indicating longer effective lifespans. Additionally, drivers under 25, driving at sunrise, and not wearing seatbelts were identified as high-risk groups across most brands.

KEYWORDS

Crashworthiness, Collision with fixed objects, CART, Binomial Logistic Regression, Vehicle age.

* Corresponding Author: Email: alitavakoli@iust.ac.ir

ACCEPTED MANUSCRIPT