

تحلیل عوامل مؤثر بر شدت تصادفات مرتبط با موتورسیکلت در معابر برون‌شهری استان زنجان

علمی - پژوهشی

علی توکلی کاشانی*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران
و مرکز تحقیقات ایمنی کاربردی حمل‌ونقل جاده‌ای، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران
محمد نجف‌پور درو، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
غلامرضا کرمی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد زنجان، زنجان، ایران
اعظم محمدی، دانش آموخته کارشناسی، دانشکده عمران، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: AliTavakoli@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۵ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۱

صفحه ۵۳۲-۵۱۹

چکیده

تلفات ترافیکی به‌عنوان اولین عامل مرگ جوانان زیر ۲۹ سال در سطح جهان شناخته می‌شود. سهم ۴۸ درصدی کاربران آسیب‌پذیر از تلفات ترافیکی ایران در سال ۱۴۰۱ نشان‌گر اهمیت توجه به این کاربران راه است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های پایگاه داده‌ای اداره راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای استان زنجان به بررسی عوامل مؤثر در شدت تصادفات مرتبط با موتورسیکلت در معابر برون‌شهری استان زنجان پرداخته شد. با توجه به ماهیت ترتیبی عامل شدت تصادفات یعنی تصادفات خسارتی، جرحی و فوتی از مدل‌های آماری رگرسیون لاجیت و پروبیت ترتیبی برای مدل‌سازی استفاده شد که مدل رگرسیون لاجیت ترتیبی برآزش بهتری بر روی داده‌ها از خود نشان داد. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر شدت تصادفات؛ سرعت مجاز، نوع برخورد، نوع راه، وجود شانه راه، وضعیت توپوگرافی منطقه، وضعیت روشنایی نامناسب، رخ دادن تصادف در پیچ، لغزندگی راه و زمان (فصل) وقوع تصادف شناسایی شد. اقداماتی مانند کاهش سرعت مجاز، هدایت اقدامات ایمن‌سازی بر نقاط و معابر خاصی مانند پیچ‌ها و راه‌های فرعی و همچنین افزایش مهارت و آموزش به کاربران از جمله موارد توصیه شده در این پژوهش برای کاهش شدت تصادفات مرتبط با موتورسیکلت است که می‌تواند مورد توجه سیاست‌گذاران این حوزه قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: کاربران آسیب‌پذیر، ایمنی راه، رگرسیون لاجیت ترتیبی، موتورسیکلت، تلفات ترافیکی

۱- مقدمه

مدیریت ایمنی راه‌ها را به یک چالش اساسی برای مسئولین کشورهای مختلف تبدیل کرده است. ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست و با ۱۹۴۹۰ فوتی در سال ۱۴۰۱ آمار بالایی از تلفات جاده‌ای را تجربه می‌کند (Statistics of the dead and injured in traffic accidents, 2022 and injured in traffic accidents, یکی از

تلفات جاده‌ای یکی از مهم‌ترین عوامل مرگ و میر ناخواسته در سراسر جهان است به صورتی که طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی تصادفات دوازدهمین عامل مرگ در بین تمامی افراد و اولین عامل مرگ جوانان زیر ۲۹ سال شناخته می‌شود (Safety and Mobility (SAM), 2023). این وضعیت

شاخص‌هایی که در حوزه ایمنی به‌منظور تعیین وضعیت ایمنی در بین کشورهای مختلف استفاده می‌شود شاخص تعداد کشته به صدهزار نفر جمعیت است که این شاخص به طور متوسط در جهان ۱۵ و در کشور ایران عدد ۲۴/۳۸ را نشان می‌دهد (Statistics ;Safety and Mobility (SAM), 2023) of the dead and injured in traffic accidents, 2022). شاخص یاد شده نشان‌دهنده وضعیت نامناسب ایمنی راه‌های کشور در مقایسه با کشورهای جهان است که نمایانگر اهمیت تحقیق و پژوهش در حوزه ایمنی راه در سطح کشور است. در بین کاربران مختلفی که از راه‌های کشور استفاده می‌کند گروهی از کاربران مانند موتورسواران و عابرین پیاده که کابین یا محفظه‌ای برای حفاظت از آن‌ها در تصادفات وجود ندارد و در صورت وقوع حادثه ضربه مستقیمی به جسم آن‌ها وارد می‌شود به‌عنوان «کاربر آسیب‌پذیر» شناخته می‌شوند (Jansen et al., 2017). کاربران آسیب‌پذیر سهم چشمگیری از تلفات رانندگی کشور راه به خود اختصاص داده‌اند به صورتی که ۴۸ درصد از تلفات جاده‌ای در سال ۱۴۰۱ به این گروه از کاربران اختصاص دارد (Statistics of the dead and injured in traffic accidents, 2022 and injured in traffic accidents, بررسی علل وقوع تصادفات و شناسایی عوامل مؤثر بر شدت آسیب وارد شده در تصادفات مرتبط با موتورسواران به‌عنوان زیرگروهی از کاربران آسیب‌پذیر در استان زنجان هدف پژوهش حاضر است تا به ایجاد پشتوانه‌ای علمی برای بهبود وضعیت ایمنی موتورسواران کمک کند.

۲- پیشینه تحقیق

در خصوص ویژگی‌های هندسی راه‌ها و اثر آن‌ها بر شدت تصادفات نیز مطالعات روابط مستقیمی را گزارش کرده‌اند. تصادفاتی که در محل قوس رخ می‌دهند و خصوصاً تصادفات تک وسیله‌ای دارای شدت آسیب بیشتری بوده است (Farid & Ksaibati, 2021; Schneider & Savolainen, 2011). همچنین راه‌های آزادراهی و جداشده مسیرهای ایمن تر و دارای شدت آسیب کمتری برای موتورسواران گزارش شده‌اند (Farid & Ksaibati, 2021). اثر روشنایی بر شدت تصادفات به این صورت گزارش شده است که کاهش روشنایی بر احتمال وقوع و افزایش شدت آسیب وارده اثر مستقیم داشته است (Asgarzadeh et al., 2018; Schneider & Savolainen, 2011; Sivasankaran et al., 2021). علت ذکر شده برای این موضوع قابلیت دید بهتر در روشنایی بالا و امکان انجام مانورهای لازم برای اجتناب از تصادف یا کاهش شدت آن بوده است (Sivasankaran et al., 2021). وجود شانه راه باعث کاهش شدت و وجود شیب طولی باعث افزایش شدت تصادفات گزارش شده است (Pervez et al., 2021). لغزندگی راه از دیگر عواملی گزارش شده است که با کاهش قابلیت مانور رانندگان باعث افزایش وقوع تصادفات و شدت آن می‌شود (Haque et al., 2009). وضعیت نامناسب خط کشی راه و جداشدگی مسیر از دیگر عوامل مؤثر بر شدت تصادفات گزارش شده‌اند (Haque et al., 2009; Wali et al., 2019). برخی از مطالعات نیز عکس این

شاهد شده است (Pervez et al., 2021). درخصوص تأثیر فصول مختلف بر شدت تصادفات اینگونه گزارش شده است که امکان وقوع تصادفات شدید آسیب‌پذیر دوچرخه و موتور سوار در فصول گرم تر بیشتر از فصول سرد سال بوده است (Eisenberg & Warner, 2005; Kamel & Sayed, 2021). تصادف موتورسیکلت با سایر وسایل نقلیه‌ای که از خود این وسیله سنگین تر بوده‌اند شدت بیشتری داشته‌اند (Pai & Saleh, 2002). عدم توجه خودروهای سواری به موتورسیکلت‌ها و شتاب و شدت ضربه بیشتر آن‌ها به‌عنوان علت این موضوع گزارش شده است (Pervez et al., 2021). برخی از مطالعات نیز گزارش کرده‌اند که تصادفات با جسم ثابت احتمال افزایش شدت آسیب‌ها و مرگ را در تصادفات مرتبط با موتورسیکلت افزایش می‌دهد (Quddus et al., 2002; Savolainen & Mannering, 2007).

شدت تصادفات همواره یکی از موضوعات مورد توجه پژوهشگران حوزه ایمنی راه‌ها بوده است و پژوهش‌های متعددی به بررسی عوامل مؤثر در شدت تصادفات مرتبط با کاربران آسیب‌پذیر و مشخصاً تصادفات مرتبط با موتورسواران پرداخته‌اند. یکی از مهم‌ترین عواملی که در مطالعات زیادی به‌عنوان عامل مؤثر در افزایش شدت تصادفات شناسایی شده است سرعت تردد بوده است به این صورت که افزایش سرعت رابطه مستقیمی با افزایش شدت آسیب‌های وارده در تصادفات بوده است (Lin & Kraus, 2009; Savolainen & Mannering, 2007; Theofilatos & Ziakopoulos, 2018). علت این موضوع دشواری در انجام مانورهای مرتبط با رانندگی ایمن مانند ترمز کردن گزارش شده است (Pervez

آستانه‌هایی به صورت رابطه (۲) طبقه‌بندی خواهد شد.

$$y_n = \begin{cases} 1, & \text{if } z_n \leq \mu_1 \\ 2, & \text{if } \mu_1 < z_n \leq \mu_2 \\ 3, & \text{if } \mu_2 < z_n \end{cases} \quad (2)$$

که در آن μ_S آستانه‌های شدت تصادفات را تعیین می‌کند که توسط β تعریف می‌شوند. طبقات ۱، ۲ و ۳ به ترتیب نشان دهنده شدت تصادف خسارتی، جرحی و فوتی است و این طبقات احتمال رخ دادن شدت‌های مختلف تصادف را نشان می‌دهند. قابل ذکر است مدل بیان شده با استفاده از روش حداکثر درست‌نمایی برآورد می‌شود.

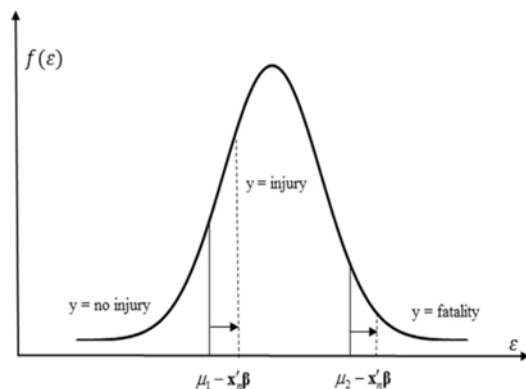
اگر فرض شود که عبارت خطای مدل (ε) از توزیع نرمال تبعیت می‌کند، احتمالات مرتبط با پاسخ‌های مشاهده شده یک مدل پروبیت ترتیبی و به شرح زیر خواهد بود:

(۳)

$$\begin{aligned} p_n(1) &= p_r(y_n = 1) = p_r(z_n \leq \mu_1) = p_r(x'_n B + \varepsilon_n \leq \mu_1) \\ &= p_r(\varepsilon_n \leq \mu_1 - x'_n B) = F(\mu_1 - x'_n \beta) \\ p_n(i+1) &= F(\mu_{i+1} - x'_n \beta) - F(\mu_i - x'_n \beta) \quad (4) \\ p_n(I) &= p_r(y_n = I) = p_r(z_n > \mu_{I-1}) = 1 - F(\mu_{I-1} - x'_n \beta) \quad (5) \end{aligned}$$

که در آن i برابر i امین طبقه از سطوح احتمالی تعریف شده است و I نشان‌دهنده بالاترین طبقه تعریف شده است. تابع F نیز تابع توزیع تجمعی (CDF) برای ε است که در این مدل پروبیت فرم تابعی آن از توزیع نرمال تبعیت می‌کند.

شکل زیر مفهوم ضمنی ساختار مدل را برای توزیع نرمال نشان می‌دهد و در آن محور افقی نشان‌دهنده ε یا متغیرهای ناشناخته در تصمیم‌گیری افراد و محور عمودی نشان‌دهنده تابع چگالی ε است.



شکل ۱. تشریح مدل ترتیبی با افزایش مقدار $x'_n \beta$

موضوع را مشاهده به‌عنوان مثال (Cheng et al., 2017) گزارش کرده‌اند که در جاده خیس احتمال مشاهده تمامی سطوح آسیب کمتر از جاده‌های خشک است. افزایش دقت و احتیاط رانندگان، کاهش احساس ایمنی رانندگان به‌عنوان عامل این موضوع گزارش شده است (Cheng et al., 2017).

۳- روش تحقیق

مدل‌های با پاسخ‌های بیش از دو گزینه، به دودسته ترتیبی و غیر ترتیبی تقسیم‌بندی می‌شوند. در این پژوهش به دلیل ماهیت ترتیبی متغیر شدت تصادفات که در سه دسته؛ تصادفات خسارتی، تصادفات جرحی و تصادفات فوتی طبقه‌بندی می‌شود، از مدل لاجیت و پروبیت ترتیبی استفاده می‌شود که یکی از کامل‌ترین مدل‌ها برای برآورد در چنین مطالعاتی بوده و قادر به تقسیم‌بندی و تمییز متغیر وابسته مورد مطالعه به طبقات مختلف هستند؛ بدین صورت که متغیر وابسته تحت مجموعه‌ای از فرضیات قرار می‌گیرد و با توجه به طبقات مختلف مشخص شده، مقادیری را به خود اختصاص می‌دهد (Lord et al., 2021). در این مطالعه تأثیر متغیرهای توضیحی مختلفی که در پایگاه اطلاعاتی اداره راهداری و حمل و نقل جاده‌ای استان زنجان موجود بوده‌اند بر روی شدت تصادفات رخ داده، بررسی و تعیین می‌گردد.

الگوی مدل رگرسیون لاجیت/پروبیت ترتیبی

مدل لاجیت/پروبیت ترتیبی بر اساس برآورد یک متغیر پنهان پیوسته به نام Z_n است که به صورت رابطه (۱) است.

$$Z_n = x'_n \beta + \varepsilon_n \quad (1)$$

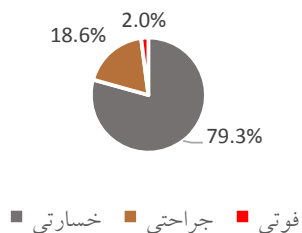
که در این رابطه β بردار پارامترها است که باید تخمین زده شود، x_n بردار مشاهده شده متغیر توضیحی غیر تصادفی که ویژگی شخص n ام را نشان می‌دهد، ε_n عبارت خطای ناشی از فاکتورهای دیده نشده در انتخاب افراد است که به صورت لاجستیک در لاجیت ترتیبی و به صورت نرمال در پروبیت ترتیبی توزیع شده است. از آنجایی که Z_n یک متغیر پنهان است، تکنیک‌های رگرسیون استاندارد برای تخمین اندازه نمونه قابل اجرا نیست. اگر y_n به‌عنوان یک متغیر گسسته و قابل مشاهده در نظر گرفته شود که سطوح شدت تصادفات مرتبط با موتورسیکلت در معابر برون‌شهری استان زنجان را نشان دهد، رابطه بین متغیر پنهان Z_n و متغیر مشاهده شده y_n از طریق

۴-۱-آمار توصیفی

باتوجه به داده‌های گزارش شده موجود در پایگاه داده اداره راهداری و حمل و نقل جاده‌ای استان زنجان مجموعاً ۵۰۹۲ تصادفات مرتبط با موتورسیکلت رخ داده است. از بین مجموع تصادفات رخ داده ۴۰۴۰ مورد صرفاً موجب خسارت مالی شده و آسیبی به هیچ کدام از کاربران وارد نشده است. از مجموع تصادفات باقی مانده ۹۴۹ مورد منجر به جراحت و ۱۰۳ مورد منجر به فوت حداقل یکی از کاربران شده است. سهم هر یک از نوع تصادفات در نمودار شکل ۲ نشان داده شده است.

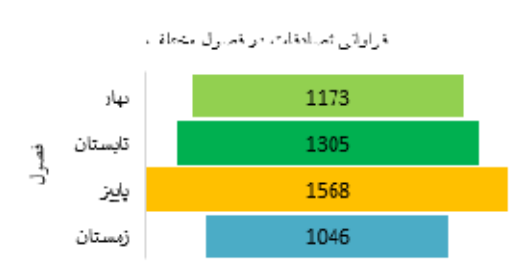
سهم انواع شدت آسیب در تصادفات مرتبط با

موتورسیکلت استان زنجان



شکل ۲. سهم انواع شدت آسیب در تصادفات مرتبط با موتورسیکلت در استان زنجان

در خصوص تاریخ وقوع تصادفات بر اساس فصول مختلف سال سهم هریک از فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان در شکل ۳ نشان داده شده است. قابل ذکر است که به دلیل ایجاد یکنواختی بیشتر و دستیابی به روابط معنا دار آماری فصول بهار و تابستان به عنوان فصول گرم و فصول پاییز و زمستان به عنوان فصول سرد طبقه بندی شده و در مدل آماری مورد استفاده قرار گرفته‌اند.



شکل ۳. نمودار توزیع فراوانی تصادفات موتورسیکلت استان زنجان در فصول مختلف سال

مدل لاجیت ترتیبی که به آن مدل لاجیت تجمیعی نیز گفته می‌شود، زمانی فرموله می‌شود که نتایج گسسته به عنوان توزیع تجمیعی پاسخ در نظر گرفته شود. اگر $P_r(y_n > i)$ احتمال تجمعی مشاهده y_n متعلق به دسته بالاتر از i را نشان دهد، می‌توانیم مدل لاجیت ترتیبی را به صورت زیر تعریف کنیم.

$$\log\left(\frac{P_r(y_n > i)}{1 - P_r(y_n > i)}\right) = \alpha_i + x'_n \beta \quad (6)$$

$$(i = 1, 2, \dots, I - 1)$$

$$P_r(y_n > i) = \frac{\exp(\alpha_i + x'_n \beta)}{1 + \exp(\alpha_i + x'_n \beta)} \quad (7)$$

که در آن α_i برای هر یک از معادله‌ها متفاوت است و β

مجموعه‌ای از ضرایب منفرد است.

همچنین می‌توانیم فرمول را بر اساس متغیر پنهان Z_n استخراج کنیم و فرض کنیم که عبارت خطا ε_n به صورت لاجستیکی بین مشاهدات توزیع شده است و تابع توزیع تجمعی آن به صورت زیر است:

$$F(\varepsilon_n) = \frac{\exp(\varepsilon_n)}{1 + \exp(\varepsilon_n)} \quad (8)$$

$$P_r(y_n > i) = P_r(z_n > \mu_i) = \quad (9)$$

$$P_r(\varepsilon_n > \mu_i - x'_n \beta) = \frac{1}{1 + \exp(\mu_i - x'_n \beta)} =$$

$$\frac{\exp(x'_n \beta - \mu_i)}{1 + \exp(x'_n \beta - \mu_i)}$$

باتوجه به ماهیت ترتیبی مدل‌های لاجیت و پروبیت ترتیبی مدل آماری با استفاده از هر دو مدل برآورد شده و سپس با معیارهای ارزیابی معیار اطلاعاتی آکائیکه (AIC) و معیار اطلاعاتی بی‌زین - شوارتز (BIC) که بر اساس معیار درست‌نمایی (Likelihood) هستند مدل نهایی انتخاب و گزارش می‌شود (Lord et al., 2021).

$$AIC = -2LL + 2P \quad (10)$$

$$BIC = -2LL + 2P * \ln N \quad (11)$$

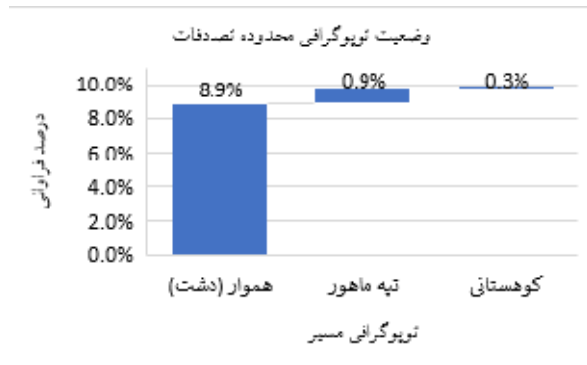
در این روابط P برابر تعداد متغیرها، LL برابر لگاریتم

درست‌نمایی و N برابر تعداد نمونه است.

قابل ذکر است که هرچقدر AIC و BIC مقادیر کوچک‌تری داشته باشند مدل بهتری توسعه داده شده است (Lord et al., 2021).

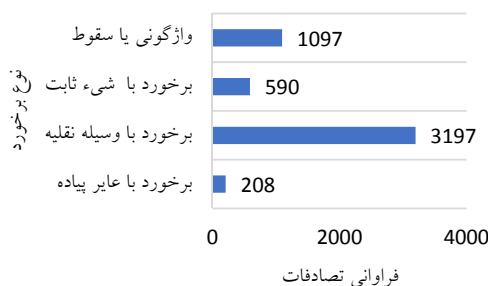
۴- نتایج

نتیجه حاصل از بررسی داده‌ها و مدل‌سازی صورت گرفته در دو بخش آمار توصیفی و آمار استنباطی گزارش می‌شود. بخش اول به گزارش داده‌های مرتبط با تصادفات مختلف پرداخته و در بخش دوم نتایج مدل‌سازی و روابط آماری شناسایی شده بین متغیرهای موجود گزارش می‌شود.



شکل ۶. نمودار توزیع تصادفات بر اساس انواع توپوگرافی منطقه

فراوانی تصادفات رخ داده در انواع مختلف برخورد

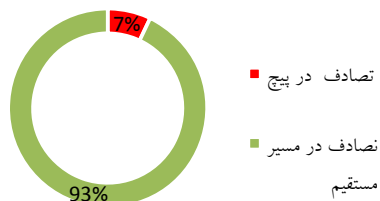


شکل ۵. توزیع فراوانی تصادفات بر اساس نوع برخورد



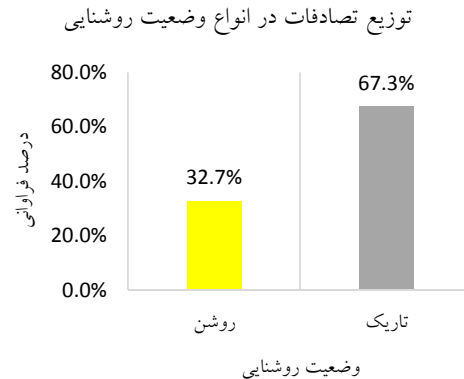
شکل ۷. سهم معابر لغزنده از تصادفات

توزیع تصادفات بر اساس وجود عارضه پیچ



شکل ۸. نمودار توزیع تصادفات در مقاطع مستقیم یا دارای پیچ

عامل روشنایی هوا یکی از مهم‌ترین عوامل معرفی شده در ادبیات مرتبط با تصادفات کاربران آسیب‌پذیر است. سهم هریک زمان‌های روشن و تاریک شبانه‌روز از تصادفات موتورسیکلت در شکل ۴ نشان داده شده است.



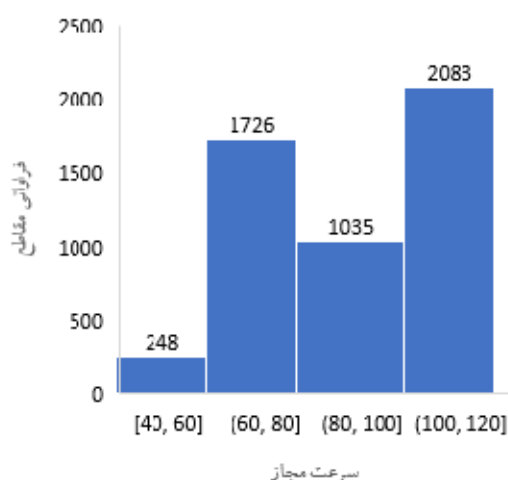
شکل ۴. سهم زمان‌های تاریک و روشن در تصادفات مرتبط با موتورسیکلت

وضعیت توپوگرافی منطقه یکی دیگر از عوامل مؤثر بر شدت تصادفات مرتبط با موتورسیکلت در استان زنجان است که توزیع فراوانی هر یک از وضعیت ۳ گانه هموار (دشت)، تپه ماهور و کوهستانی در شکل ۵ نشان داده شده است. به‌منظور یکپارچه‌سازی بیشتر جهت دستیابی به روابط معنادار آماری زیرسطح‌های منطقه تپه ماهور و کوهستانی ادغام و یک سطح منطقه ناهموار ایجاد شد.

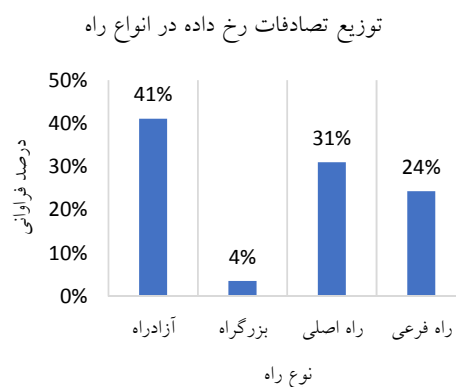
در بین تصادفات مرتبط با موتورسیکلت انواع مختلفی از نوع برخورد ممکن است که به‌منظور یکپارچه‌سازی انواع برخورد با عابر پیاده در یک گروه، انواع سقوط و واژگونی در یک گروه، انواع برخورد با اشیاء ثابت در یک گروه و انواع برخورد بین یک یا چند وسیله نقلیه موتوری با موتورسیکلت در یک گروه قرار گرفتند که سهم هریک از این انواع برخورد در شکل ۶ نمایش داده شده است.

در خصوص لغزندگی راه که یکی از عوامل مهم در وقوع و شدت تصادفات است دو زیرگروه روسازی خشک و لغزنده برای وضعیت لغزندگی در نظر گرفته شد است که سهم هر یک از آنها در تصادفات در شکل ۷ نشان داده شده است.

در خصوص وجود عارضه پیچ به‌عنوان یکی از نقاط مهم برای تصادفات، سهم نقاط دارای پیچ از تصادفات در شکل ۸ نشان داده شده است.



توزیع تصادفات رخ داده در استان زنجان بر اساس نوع راه بسیار متفاوت بوده و سهم هر یک از راه‌های فرعی، اصلی، بزرگراهی و آزادراهی در شکل ۹ نشان داده شده است.



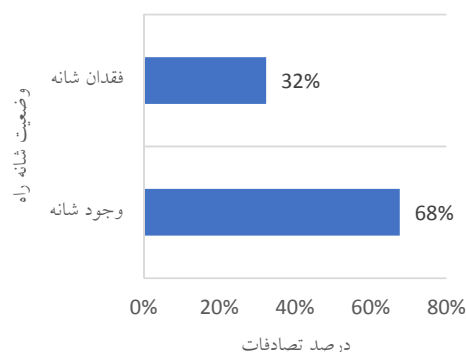
شکل ۱۱. نمودار سرعت مجاز مقاطع مختلف مربوط به تصادفات

شکل ۹. توزیع تصادفات رخ داده در انواع راه‌های استان زنجان

جدول ۱. خلاصه جزئیات متغیرهای استفاده شده

متغیر	سطوح متغیر	فراوانی	درصد
شدت تصادف	فوتی	۱۰۳	۲
	جرحی	۹۴۹	۱۹
	خسارتی	۴۰۴۰	۷۹
فصل	گرم	۲۷۴۱	۵۴
	سرد	۲۳۵۱	۴۶
روشنایی	تاریک	۳۴۲۵	۶۷
	روشن	۱۶۶۷	۳۳
توپوگرافی	هموار	۴۵۱۷	۸۹
	ناهموار	۵۷۵	۱۱
نوع برخورد	برخورد با پیاده	۲۰۸	۴
	برخورد با وسیله نقلیه	۳۱۹۷	۶۳
	برخورد موتور با شیء ثابت	۵۹۰	۱۲
	واژگونی و سقوط	۱۰۹۷	۲۲
لغزندگی راه	خشک	۴۵۸۵	۹۰
	لغزنده	۵۰۷	۱۰
تصادف در پیچ	بله	۳۵۷	۷
	خیر	۴۷۳۴	۹۳
نوع راه	آزادراه	۲۰۹۲	۴۱
	بزرگراه	۱۸۲	۴
	راه اصلی	۱۵۸۰	۳۱
وجود شانه راه	راه فرعی	۱۲۳۸	۲۴
	بله	۳۴۴۵	۶۸
	خیر	۱۶۴۷	۳۲
سرعت مجاز	-	-	-

وجود شانه راه یکی از عوامل مؤثر در شدت تصادفات است که بر اساس وجود آن، تصادفات به دودسته تقسیم شده‌اند که خلاصه وضعیت آن در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰. توزیع فراوانی تصادفات بر اساس وجود شانه راه در محل تصادف

در خصوص سرعت مجاز محل تصادفات گزارش متنوعی وجود دارد که فراوانی مقادیر آن در نمودار شکل ۱۱ نمایش داده شده است.

خلاصه نتایج حاصل از آمار توصیفی که به صورت بصری نشان داده شد، در جدول ۱ گزارش شده است.

۴-۲-آمار استنباطی

به منظور بررسی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات موتورسیکلت مدل‌های پروبیت و لاجیت ترتیبی بر روی داده‌های تصادفات استان زنجان توسعه داده شده است که نتایج خروجی هر یک از این مدل‌ها به ترتیب در جداول ۲ و ۳ گزارش شده است.

باتوجه به اینکه با معیارهای AIC و BIC مدل رگرسیون لاجیت ترتیبی برآزش بهتری را نسبت به مدل رگرسیون پروبیت ترتیبی از خود نشان داده است، این مدل به عنوان مدل نهایی انتخاب می‌شود. باتوجه به متغیر P-value می‌توان مشاهده کرد که روابط به دست آمده همگی از نظر آماری با سطح اطمینان بالای ۹۹ درصد معنی‌دار شده‌اند.

با استفاده نتایج به دست آمده می‌توان اثر هر یک از متغیرهای مدل را بر افزایش سطح شدت تصادفات مشاهده شده بررسی کرد. به این منظور نسبت شانس که برابر است با تابع نمای ضرایب به دست آمده به ما کمک می‌کند تا اثر یک واحد افزایش در مقدار یک متغیر را بر افزایش احتمال یک سطح بالاتر از شدت آسیب را مشاهده کنیم. مقادیر مرتبط با نسبت شانس متغیرهای مشاهده شده در جدول ۴ گزارش شده است.

در خصوص سرعت مجاز مشاهده می‌شود که به ازای هر یک کیلومتر در ساعت افزایش سرعت مجاز احتمال افزایش شدت آسیب در تصادفات ۱/۰۲ برابر افزایش می‌یابد. برای درک صحیح‌تر به ازای افزایش هر ۲۰ کیلومتر در ساعت سرعت مجاز حدود ۵۰ درصد احتمال افزایش شدت آسیب از خسارتی به جرحی و یا از جرحی به فوتی را خواهیم داشت. این یافته در راستای یافته گزارش شده در ادبیات و همسو با مطالعات (Lin & Kraus, 2009; Savolainen & Mannering, 2007; Theofilatos & Ziakopoulos, 2018) است که پیش‌تر گزارش شد.

در خصوص تأثیر فصول مشاهده می‌شود که در فصول سرد سال احتمال مشاهده آسیب‌های شدیدتر ۰/۷۸ برابر فصول گرم است که ناشی از ویژگی‌های آب‌وهوایی این فصول و تفاوت آن‌ها با فصول گرم سال است. این گزاره در راستای یافته‌های (Eisenberg & Warner, 2005; Kamel & Said, 2021) در خصوص مشاهده تصادفات بیشتر و شدیدتر این کاربران آسیب‌پذیر در فصول گرم سال نسبت به فصول سرد سال است.

در خصوص وضعیت روشنایی مشاهده می‌شود که در زمان‌های تاریکی ۴۴ درصد احتمال افزایش شدت آسیب‌ها را نسبت به زمان‌هایی که روشن‌تر است خواهیم داشت. با این مقیاس وضعیت روشنایی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در شدت تصادفات خواهد بود. این گزاره پیش‌تر نیز در ادبیات موضوع گزارش شده و این پژوهش نیز نتایج مشابهی را با مطالعات قبلی نشان می‌دهد (Asgarzadeh et al., 2018; Schneider & Savolainen, 2011; Sivasankaran et al., 2021).

نکته جالب حاصل شده اثر کاهشی وضعیت توپوگرافی ناهموار بر شدت تصادفات است به صورتی که احتمال مشاهده سطح بالاتر شدت آسیب در تصادفاتی که در مناطق ناهموار اتفاق می‌افتد ۰/۶۳ برابر مناطق هموار است. کاهش احساس ایمنی افراد در این مناطق و احتیاط بیشتر می‌تواند عامل این اثر کاهشی باشد. این یافته برخلاف یافته‌های (Pervez et al., 2021) در خصوص اثر مسیرهای شیب‌دار بر شدت تصادفات است.

وقوع تصادف در پیچ‌ها باعث افزایش احتمال سطوح بالاتر شدت آسیب به میزان ۱/۴۱ برابر خواهد شد. همچنین وجود شانه راه باعث افزایش ۱/۷۹ برابری احتمال مشاهده سطوح بالاتر شدت آسیب است. این موضوع در راستای مشاهدات (Farid & Ksaibati, 2021; Schneider & Savolainen, 2011) در مطالعات پیش مرتبط است.

جدول ۲. نتایج مدل رگرسیون لاجیت ترتیبی

جایگاه	متغیر	سطوح متغیر	ضریب برآورد شده	خطای استاندارد	مقدار p-value	سطح اطمینان ۹۵ درصد	
						حد بالا	حد پایین
آستانه‌ها	شدت تصادف	خسارتی	۲/۴۵۷	۰/۴۳۷	۰/۰۰۰	۱/۵۹۹	۳/۳۱۴
		جراحی	۵/۱۰۹	۰/۴۴۹	۰/۰۰۰	۴/۲۲۹	۵/۹۸۹
متغیرها	سرعت مجاز	-	۰/۰۱۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۲۸
	فصل	سرد	-۰/۲۷۰	۰/۰۷۴	۰/۰۰۰	-۰/۴۱۴	-۰/۱۲۵
		گرم	مینا	-	-	-	-
	وضعیت روشنایی	تاریک	۰/۳۶۸	۰/۰۷۵	۰/۰۰۰	۰/۲۲۰	۰/۵۱۶
		روشن	مینا	-	-	-	-
	توپوگرافی	ناهموار	-۰/۴۵۸	۰/۱۴۵	۰/۰۰۲	-۰/۷۴۳	-۰/۱۷۴
		هموار	مینا	-	-	-	-
	نوع برخورد	برخورد با پیاده	۰/۹۰۴	۰/۱۵۳	۰/۰۰۰	۰/۶۰۵	۱/۲۰۳
		برخورد با وسیله نقلیه	-۰/۹۱۹	۰/۰۸۲	۰/۰۰۰	-۱/۰۸۱	-۰/۷۵۷
		برخورد موتور با شیء ثابت	-۱/۰۹۲	۰/۱۴۱	۰/۰۰۰	-۱/۳۶۸	-۰/۸۱۵
		واژگونی و سقوط	مینا	-	-	-	-
	لغزندگی راه	خشک	۰/۳۳۵	۰/۱۴۸	۰/۰۲۳	۰/۰۴۶	۰/۶۲۵
		لغزنده	مینا	-	-	-	-
	تصادف در پیچ	بله	۰/۳۴۶	۰/۱۵۰	۰/۰۲۱	۰/۰۵۲	۰/۶۴۱
		خیر	مینا	-	-	-	-
	نوع راه	آزادراه	-۱/۲۷۶	۰/۲۷۸	۰/۰۰۰	-۱/۸۲۱	-۰/۷۳۰
بزرگراه		-۱/۴۹۱	۰/۲۸۸	۰/۰۰۰	-۲/۰۵۶	-۰/۹۲۷	
راه اصلی		-۰/۳۸۱	۰/۱۱۵	۰/۰۰۱	-۰/۶۰۷	-۰/۱۵۴	
راه فرعی		مینا	-	-	-	-	
شانه راه	وجود دارد	۰/۵۸۰	۰/۰۹۶	۰/۰۰۰	۰/۳۹۲	۰/۷۶۷	
	وجود ندارد	مینا	-	-	-	-	
ارزیابی	LL=۲۳۱۵/۶۱, P=13, N=۵۰۹۲, AIC= ۲۳۲۸/۶۱, BIC= ۲۴۲۷/۵۷						

جدول ۳. نتایج مدل رگرسیون پروبیت ترتیبی

جایگاه	متغیر	سطوح متغیر	ضریب برآورد شده	خطای استاندارد	مقدار p-value	سطح اطمینان ۹۵ درصد		
						حد بالا	حد پایین	
آستانه‌ها	شدت تصادف	خسارتی	۱/۴۵۲	۰/۲۴۴	۰/۰۰۰	۰/۹۷۵	۱/۹۲۹	
		جرحی	۲/۷۷۴	۰/۲۴۷	۰/۰۰۰	۲/۲۸۹	۳/۲۵۸	
متغیرها	سرعت مجاز	-	۰/۰۱۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۱۷	
		فصل	سرد	-۰/۱۵۷	۰/۰۴۱	۰/۰۰۰	-۰/۲۳۸	-۰/۰۷۷
	وضعیت روشنایی	گرم	مینا	-	-	-	-	-
		تاریک	۰/۲۰۷	۰/۰۴۲	۰/۰۰۰	۰/۱۲۴	۰/۲۹۰	
	توپوگرافی	روشن	مینا	-	-	-	-	-
		ناهموار	-۰/۲۳۱	۰/۰۷۹	۰/۰۰۳	-۰/۳۸۵	۰/۰۷۷	
	نوع برخورد	هموار	مینا	-	-	-	-	-
		برخورد با پیاده	۰/۴۹۶	۰/۰۹۰	۰/۰۰۰	۰/۳۲۰	۰/۶۷۲	
		برخورد با وسیله نقلیه	-۰/۵۳۰	۰/۰۴۷	۰/۰۰۰	-۰/۶۲۲	-۰/۴۳۷	
		برخورد موتور با شیء ثابت	-۰/۶۲۸	۰/۰۷۷	۰/۰۰۰	-۰/۷۷۹	-۰/۴۷۶	
	لغزندگی راه	واژگونی و سقوط	مینا	-	-	-	-	-
		خشک	۰/۱۳۶	۰/۰۷۹	۰/۰۸۲	-۰/۰۱۷	۰/۲۹۰	
	تصادف در پیچ	لغزنده	مینا	-	-	-	-	-
		بله	۰/۱۹۶	۰/۰۸۵	۰/۰۲۱	۰/۰۳۰	۰/۳۶۲	
	نوع راه	خیر	مینا	-	-	-	-	-
		آزادراه	-۰/۷۴۷	۰/۱۵۷	۰/۰۰۰	-۱/۰۵۴	-۰/۴۴۰	
بزرگراه		-۰/۷۹۵	۰/۱۵۱	۰/۰۰۰	-۱/۰۹۱	-۰/۴۹۹		
راه اصلی		-۰/۱۹۴	۰/۰۶۵	۰/۰۰۳	-۰/۳۲۱	-۰/۰۶۸		
راه فرعی		مینا	-	-	-	-	-	
شانه راه	وجود دارد	۰/۳۱۴	۰/۰۵۳	۰/۰۰۰	۰/۲۰۹	۰/۴۱۹		
	وجود ندارد	مینا	-	-	-	-		
ارزیابی	LL=۲۳۳۳/۰۰, P=13, N=۵۰۹۲, AIC=۲۳۳۶/۰۰, BIC=۲۴۳۳/۹۶							

نسبت به حالت واژگونی یا سقوط موتورسیکلت می‌شوند. این نتایج برخلاف یافته‌های (Pai & Saleh, 2007; Quddus et al., 2002) و به نوعی در راستای مطالعات (Asgarzadeh et al., 2018; Quddus et al., 2002) است. در مقاطعی و زمان‌هایی که معابر خشک هستند ۱/۴۰ برابر احتمال افزایش سطح آسیب را نسبت به حالتی که معابر لغزنده هستند را انتظار خواهیم داشت. این به این معنی است که احتمال تصادفات خسارتی نسبت به جرحی و تصادفات جرحی نسبت فوتی در زمان‌های لغزندگی افزایش پیدا می‌کنند. کاهش احساس ایمنی کاربران، احتیاط بیشتر رانندگان، کاهش سرعت، کاهش حضور عابرین پیاده و ... می‌تواند از علل این موضوع باشد. این نتایج عکس نتایج گزارش شده توسط (Haque et al., 2009) و در راستای پژوهش‌های (Cheng et al., 2017) است.

در خصوص انواع راه‌ها مشاهده می‌شود که تصادفات راه‌های فرعی شدیدترین نوع تصادفات را تجربه می‌کنند و پس از آن به ترتیب راه‌های اصلی، آزادراه‌ها و بزرگراه‌های تصادفات شدیدتری دارند. این یافته در راستای یافته‌های (Farid & Ksaibati, 2021) است. وجود عابرین پیاده بیشتر در معابر فرعی، احتمال واژگونی یا سقوط بیشتر موتورسواران به علت کیفیت راه می‌تواند از علل این موضوع باشد.

۵- نتیجه‌گیری

تصادفات ترافیکی یکی از مهم‌ترین معضلات مدیریت راه‌ها و سیاست‌گذاران در سطح کشور است. این پژوهش با استفاده داده‌های اطلاعاتی اداره راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای استان زنجان، عوامل مؤثر در شدت آسیب تصادفات مرتبط با موتورسیکلت به‌عنوان گروهی از کاربران آسیب‌پذیر که سهم قابل توجهی از تلفات ترافیکی را به خود اختصاص داده‌اند را مورد بررسی قرارداد. باتوجه به یافته‌های پژوهش؛ وجود شانه راه، وضعیت توپوگرافی هموار منطقه، وضعیت روشنایی نامناسب، رخ دادن تصادف در پیچ، لغزندگی راه و وقوع تصادف در فصول گرم مهم‌ترین فاکتورهای دوگانه مؤثر در شدت تصادفات شناخته شده‌اند که به ترتیب باعث افزایش ۱/۷۹، ۱/۵۹، ۱/۴۱، ۱/۴۰ و ۱/۳۲ برابری احتمال مشاهده آسیب‌های شدیدتر در تصادفات می‌شوند. از این نتایج می‌توان به‌منظور

جدول ۴. مقادیر نسبت شانس متغیرهای مؤثر بر شدت تصادفات

متغیر	سطوح متغیر	نسب شانس
شدت تصادف	خسارتی	-
	جرحی	-
سرعت مجاز	-	۱/۰۲
فصل	سرد	۰/۷۶
	گرم	مینا
وضعیت روشنایی	تاریک	۱/۴۴
	روشن	مینا
توپوگرافی	ناهموار	۰/۶۳
	هموار	مینا
نوع برخورد	برخورد با پیاده	۲/۴۷
	برخورد با وسیله نقلیه	۱/۴۰
	برخورد موتور با شیء ثابت	۰/۳۴
لغزندگی راه	واژگونی و سقوط	مینا
	خشک	۱/۴۰
تصادف در پیچ	لغزنده	مینا
	بله	۱/۴۱
	خیر	مینا
نوع راه	آزادراه	۰/۲۸
	بزرگراه	۰/۲۳
	راه اصلی	۰/۶۸
	راه فرعی	مینا
شانه راه	وجود دارد	۱/۷۹
	وجود ندارد	مینا

در خصوص انواع برخوردهای ممکن مشاهده می‌شود که نسبت به تصادفاتی که در اثر واژگونی یا سقوط موتورسیکلت اتفاق می‌افتند، شدیدترین تصادفات مربوط به برخورد با عابر پیاده است که احتمال آسیب‌های شدید را ۲/۴۷ برابر نسبت به حالت واژگونی افزایش می‌دهد. این گزاره نشان‌گر اهمیت توجه مضاعف به ایمنی عابرین پیاده به‌عنوان گروه دیگری از کاربران آسیب‌پذیر در کنار موتورسیکلت سواران است. مشاهده می‌شود که انواع برخورد موتورسیکلت با وسیله نقلیه و موتورسیکلت با شیء ثابت به ترتیب باعث آسیب‌های کمتری

۶- مراجع

-آمار متوفیات و مصدومین حوادث رانندگی (۱۴۰۱).

<https://lmo.ir>

-Asgarzadeh, M., Fischer, D., Verma, S. K.,

Courtney, T. K., & Christiani, D. C. (2018). The impact of weather, road surface, time-of-day, and light conditions on severity of bicycle-motor vehicle crash injuries. *American Journal of Industrial Medicine*, 61(7), 556-565 .

-Cheng, W., Gill, G. S., Sakrani, T., Dasu, M., & Zhou, J. (2017). Predicting motorcycle crash injury severity using weather data and alternative Bayesian multivariate crash frequency models. *Accident Analysis & Prevention*, 108, 172-180 .

-Eisenberg, D., & Warner, K. E. (2005). Effects of snowfalls on motor vehicle collisions, injuries, and fatalities. *American Journal of Public Health*, 95(1), 120-124 .

-Farid, A., & Ksaibati, K. (2021). Modeling severities of motorcycle crashes using random parameters. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English edition)*, 8(2), 225-236 .

-Haque, M. M., Chin, H. C., & Huang, H. (2009). Modeling fault among motorcyclists involved in crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 41(2), 327-335 .

-Jansen, R. J., Lotan, T., Winkelbauer, M., Bärghman, J., Kovaceva, J., Donabauer, M., Pommer, A., Musicant, O., Harel, A., Wesseling, S., Christoph, M., & Nes, N. v. (2017). *Interactions with Vulnerable Road Users*. UDRIVE D44.1(EU FP7 Project UDRIVE Consortium). [doi.org/https://doi.org/10.26323/UDRIVE_D44.1](https://doi.org/10.26323/UDRIVE_D44.1)

-Kamel, M. B., & Sayed, T. (2021). Accounting for seasonal effects on cyclist-vehicle crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 159, 106263 .

-Lin, M.-R., & Kraus, J. F. (2009). A review of risk factors and patterns of motorcycle injuries. *Accident Analysis & Prevention*, 41(4), 710-722 .

توسعه سیاست‌های بهبود ایمنی با تمرکز بر تصادفات موتورسیکلت استفاده کرد. اقداماتی مانند بهبود وضعیت روشنایی منطقه، ایمن‌سازی نقاط حساس مانند پیچ‌ها و آموزش به موتورسواران یا سایر کاربران می‌تواند در کاهش آسیب‌های ناشی از تصادفات موتورسیکلت مؤثر باشد.

شدیدترین نوع تصادف شناسایی شده برای تصادفات مرتبط با موتورسیکلت به ترتیب: برخورد با عابر پیاده، واژگونی یا سقوط موتورسیکلت، برخورد با سایر وسایل نقلیه و برخورد با شیء ثابت شناسایی شد؛ بنابراین در تصادفات مرتبط با موتورسیکلت شدیدترین تصادفات ناشی خطاهایی است که به‌نوعی کاربران آسیب‌پذیر (عابر و موتورسیکلت‌سوار) در آن مقصر هستند. آگاه‌سازی عابرین پیاده و افزایش مهارت موتورسیکلت‌سواران با تمرکز بر تصادفات واژگونی و تصادف با عابر می‌تواند به کاهش شدت‌های ناشی از تصادفات موتورسیکلت کمک کند.

از دیگر نتایج مشاهده شده می‌توان به اثر نوع راه اشاره داشت به این صورت که شدیدترین تصادفات به ترتیب در راه‌های فرعی، اصلی، آزادراهی و بزرگراهی رخ می‌دهند. معابر فرعی به دلیل حجم تردهای کم‌تر معمولاً اولویت‌های پایین‌تری در طرح‌های ایمن‌سازی به خود اختصاص می‌دهند درحالی‌که ممکن است ایرادات مهم‌تری نسبت به سایر راه‌ها داشته باشند. همان‌طور که مشخص است شدیدترین تصادفات نه در بزرگراه و آزادراه بلکه در معابر فرعی و اصلی رخ می‌دهد؛ بنابراین اولویت‌دهی به ایمن‌سازی این معابر در پروژه‌های مرتبط با ایمنی کاربران آسیب‌پذیر می‌تواند به کاهش تلفات ناشی از تصادفات کمک کند.

در خصوص متغیر سرعت نیز مشاهده شد که هر ۲۰ کیلومتر افزایش سرعت مجاز احتمال تصادفات شدیدتر را ۱/۴۹ برابر می‌تواند افزایش دهد. با توجه به این یافته کاهش سرعت تردد خصوصاً در معابر فرعی و با اهمیت کمتر می‌تواند اقدامی بسیار مؤثر در خصوص بهبود وضعیت ایمنی کاربران تلقی شود.

- Schneider, W. H., & Savolainen, P. T. (2011). Comparison of severity of motorcyclist injury by crash types. *Transportation Research Record*, 2265(1), 70-80.
- Sivasankaran, S. K., Rangam, H., & Balasubramanian, V. (2021). Investigation of factors contributing to injury severity in single vehicle motorcycle crashes in India. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 28(2), 243-254 .
- Theofilatos, A., & Ziakopoulos, A. (2018). Examining injury severity of moped and motorcycle occupants with real-time traffic and weather data. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 144(11), 04018066 .
- Wali, B., Khattak, A. J., & Ahmad, N. (2019). Examining correlations between motorcyclist's conspicuity, apparel related factors and injury severity score: Evidence from new motorcycle crash causation study. *Accident Analysis & Prevention*, 131, 45-62.
- Lord, D., Qin, X., & Geedipally, S. R. (2021). Highway safety analytics and modeling. *Elsevier*.
- Pai, C.-W., & Saleh, W. (2007). An analysis of motorcyclist injury severity under various traffic control measures at three-legged junctions in the UK. *Safety Science*, 45(8), 832-847 .
- Pervez, A., Lee, J., & Huang, H. (2021). Identifying factors contributing to the motorcycle crash severity in Pakistan. *Journal of Advanced Transportation*, 2021, 1-10.
- Quddus, M. A., Noland, R. B., & Chin, H. C. (2002). An analysis of motorcycle injury and vehicle damage severity using ordered probit models. *Journal of Safety Research*, 33(4), 445-462 .
- Safety and Mobility (SAM), S. D. o. H. S. (2023). Global status report on road safety 2023 (ISBN: 978-92-4-008651-7). <https://www.who.int/publications/i/item/9789240086517>
- Savolainen, P., & Mannering, F. (2007). Probabilistic models of motorcyclists' injury severities in single-and multi-vehicle crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 39(5), 955-963 .

Analysis of Factors Affecting the Severity of Motorcycle-Related Accidents in the Suburban Roads of Zanjan Province

Ali Tavakoli Kashani, Associate Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran and Road Safety Research Center, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Mohammad Najafpour Derav, Ph.D. Student, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Gholamreza Karami, M.Sc., Grad., Administration, School of Management, Islamic Azad University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Azam Mohammadi, B.Sc., Grad., School of Civil Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

E-mail: Alitavakoli@iust.ac.ir

Received: January 2025- Accepted: April 2025

ABSTRACT

Traffic fatalities are recognized as the leading cause of death among young individuals under the age of 29 globally. In 2022, 48 percent of traffic fatalities in Iran involved vulnerable road users, highlighting the importance of focusing on these road users. This study utilizes data from the Road and Transportation Department of Zanjan Province to investigate the factors influencing the severity of motorcycle-related accidents on rural roads in Zanjan Province. Given the ordinal nature of accident severity—classified as property damage, injury, and fatality—ordered logit and probit regression models were employed for modeling, with the ordered logit regression model showing a better fit to the data. The most significant factors affecting accident severity were identified as speed limit, type of collision, type of road, presence of road shoulders, topography, inadequate lighting conditions, occurrence of accidents in curves, road slipperiness, and the time (season) of occurrence. Recommendations from this study for reducing the severity of motorcycle-related accidents include reducing speed limits, implementing safety measures at specific points and roads such as curves and secondary roads, and enhancing user skills and training. These measures are suggested for policymakers in this field to consider.

Keywords: Vulnerable Road Users, Road Safety, Ordered Logit Regression, Motorcycle, Traffic Fatalities