نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۴، شماره ۱۱، سال ۱۴۰۱، صفحات ۴۲۳۹ تا ۴۲۵۲
DOI: 10.22060/ceej.2022.20546.7457

# پایش ایمنی راه‌های برون‌شهری با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی شدت تصادفات، مطالعه موردی: استان خراسان رضوی ایران

امیرحسین طاهری، آرش رساءایزدی، سیداحسان سیدابریشمی*

دانشکده عمران و محیط زیست، تربیت مدرس، تهران، ایران.

**خلاصه:** یکی از پیامدهای منفی حمل و نقل بین‌شهری شدت بالای تصادفات ناشی از تردد با سرعت بالای وسایل نقلیه است. تصادفات با شدت بالا هزینه‌های سنگینی همچون مرگ و میر، جراحت، خسارت‌های وارده به جاده، تجهیزات جاده‌ای و وسایل نقلیه و همچنین عواقب مخرب روانی را در بردارد. این مطالعه قصد دارد تا با استفاده از متغیرهای ترافیکی که خود قابل پیش‌بینی هستند، شدت تصادفات در جاده‌های برون‌شهری را با بهره‌گیری از مدل‌های خانواده لوجیت پیش‌بینی کند. لذا در مرحله اول داده‌های تصادفات با داده‌های ترافیکی به دست آمده از تردد شمارهای موجود در راه‌ها تلفیق شده و سپس مورد تحلیل و مدل‌سازی قرار می‌گیرد. در تلفیق این دو داده از سناریوهای زمانی و مکانی به نوعی استفاده می‌شود که بیشترین معنی‌داری را برای مدل‌های تحلیلی این مطالعه به ارمغان آورند. مدل‌های لوجیت مورد استفاده در این مطالعه شامل؛ لوجیت ترتیبی و لوجیت چندگانه می‌شود. داده‌های مورد استفاده نیز مربوط به جاده‌های برون‌شهری استان خراسان رضوی است که طی یک بازه زمانی چهار ساله برداشت شده است. نتایج نشان می‌دهد ضریب خوبی برازش حاصل شده برای مدل لوجیت ترتیبی ۰/۰۱۷ و برای مدل لوجیت چندگانه ۰/۰۱۹ تخمین زده شده است. این بدان معناست که مدل لوجیت چندگانه برازش بهتری را از خود نشان داده است. در مدل لوجیت ترتیبی ارائه شده متغیرهای مستقل ترافیکی "جریان وسیله نقلیه سنگین" و "سرعت بالای ۸۵ کیلومتر بر ساعت" معنادار شده است. همچنین در مدل لوجیت چندگانه علاوه بر معنادار شدن متغیرهای مستقل "جریان وسیله نقلیه سنگین" و "سرعت بالای ۸۵ کیلومتر بر ساعت" برای شدت تصادفات جرحی و فوتی، متغیر مستقل "حداقل سرفاصله زمانی" نیز برای تصادفات با شدت خسارتی معنادار شده است.

**تاریخچه داوری:**
دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲
بازنگری: ۱۴۰۱/۰۲/۰۶
پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۵
ارائه آنلاین: ۱۴۰۱/۰۶/۰۷

**کلمات کلیدی:**
شدت تصادفات
پیش‌بینی تصادفات
تصادفات برون‌شهری
لوجیت ترتیبی،
لوجیت چندگانه

## ۱- مقدمه

طی یک دهه گذشته و با توجه به رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی در کشورهای در حال توسعه همچون ایران و پیدایش سبک زندگی شهرنشینی، بالطبع تقاضای برای حمل و نقل نیز روند صعودی را طی کرد. به دنبال افزایش تقاضای حمل و نقل وقوع عوارضی همچون تراکم ترافیک، آلودگی زیست‌محیطی و افزایش تعداد و شدت تصادفات قابل‌انتظار است. مباحث مرتبط با افزایش ایمنی راه به منظور مقابله با عارضه تصادفات یکی از مباحث بااهمیت در حوزه برنامه‌ریزی حمل و نقل است [۱]. ایمنی راه‌ها به دلیل ماهیت تصادفی وقوع سوانح جاده‌ای یکی از پیچیده‌ترین زمینه‌ها در مهندسی حمل و نقل است. تصادفات هزینه‌های زیادی از قبیل هزینه‌های اجتماعی، هزینه‌های اقتصادی و هزینه‌های پزشکی را به جوامع تحمیل می‌کنند. تعداد بالای مصدومان و کشته شدگان در هر سال در سطح جهان خود گواهی بر این موضوع است. در نتیجه، دارا بودن دانش کافی از عوامل مختلف مؤثر در تصادفات جاده‌ای، امکان پیش‌بینی شرایط بحرانی و پیش‌گیری از تصادفات عواملی مهم و کلیدی به حساب می‌آید [۲]. از جمله عوامل مؤثر بر وقوع و شدت تصادفات می‌توان به ویژگی‌های راننده، شرایط آب و هوایی، ویژگی‌های خودرو و مشخصات هندسی راه اشاره کرد [۴ و ۳]. نکته حائز اهمیت این است که علیرغم اثرگذاری این متغیرها بر وقوع و شدت تصادفات، اکثر این عوامل را نمی‌توان در مدل‌های پیش‌بینی کننده وقوع و شدت تصادفات به کار برد، زیرا خود قابل پیش‌بینی برای آینده نیستند و مقادیر متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی شدت تصادف در آینده مجهول است [۵]. دسته دیگر از عوامل اثرگذار بر تصادفات، متغیرهای ترافیکی همچون سرعت و حجم جریان ترافیک و سرفاصله مکانی و زمانی است. پیشرفت‌های اخیر در حوزه سامانه‌های هوشمند حمل و نقلی، شرایط را برای جمع‌آوری چنین متغیرهای ترافیکی‌ای را فراهم کرده است. بنابراین در گام نخست می‌توان این متغیرها را برای آینده کوتاه‌مدت پیش‌بینی کرده و از خروجی مدل‌های پیش‌بینی متغیرهای ترافیکی برای پیش‌بینی شدت

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Seyedabrishami@modares.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

تصادفات استفاده کرد [۶]. در این مطالعه رویکرد مطرح شده برای استفاده از متغیرهای مستقل، مبنای پیش‌بینی شدت تصادفات است. همچنین پیش‌بینی متغیرهای ترافیکی در حوزه این پژوهش قرار نمی‌گیرد و فرض بر این است که متغیرهای ترافیکی پیش‌بینی شده برای آینده موجود است (بر اساس مطالعات پیشین [۷]). در ادامه ادبیات پیشین مرتبط مرور شده است.

مطالعات پیشین به بررسی عوامل مختلف مؤثر بر ایمنی راه‌ها پرداخته‌اند [۱۱-۸]. شاخص‌های ایمنی راه تحت عنوان متغیرهای وابسته متنوع تعریف شده و اثرگذاری متغیرهای مستقل بر این شاخص‌ها و امکان پیش‌بینی این شاخص‌ها با استفاده از مدل‌های آماری بررسی شده است [۱۶-۱۲]. بررسی‌ها نشان می‌دهد اغلب مطالعات پیشین تنها به بررسی اثر متغیرهای ترافیکی بر وقوع و شدت تصادفات با استفاده از مدل‌های توصیفی پرداخته‌اند و مدل‌های پیش‌بینی کننده مغفول مانده است.

به عنوان مثال در مطالعه آناستاسپولوس و همکاران [۱۷] متغیر وابسته مورد نظر شدت تصادفات است و متغیرهای توصیف کننده مورد استفاده شامل ویژگی‌های روسازی، ویژگی‌های هندسی راه، ویژگی‌های ترافیکی، ویژگی‌های انسانی و ویژگی تصادفات هستند که در نهایت و با استفاده از مدل‌های لوجیت چندگانه و ترکیبی، ارجحیت مدل‌های لوجیت ترکیبی به مدل لوجیت چندگانه نتیجه‌گیری شد.

در مطالعه میلتن و همکاران نیز [۱۸] متغیر وابسته مورد نظر شدت تصادفات وسایل نقلیه تک‌سرنشین و چندسرنشین است. متغیرهای توصیف کننده مورد استفاده شامل طول راه، میانگین حجم ترافیک روزانه در طول سال (متغیر ترافیکی)، بارش برف سالانه، درصد کامیون‌ها، تعداد تقاطعات، محدودیت‌های سرعت (ترافیکی)، وضعیت سطح جاده و روسازی تعداد قوس‌های افقی راه، حجم ترافیکی روزانه کامیون‌ها (ترافیکی) هستند. که در نهایت و با استفاده از مدل لوجیت ترکیبی، تأثیر متغیرهای ذکر شده، من‌جمله متغیرهای ترافیکی، در شدت تصادفات وسایل نقلیه تک و چندسرنشین بررسی شد.

در مطالعه وو و همکاران [۱۹] متغیر وابسته مورد نظر شدت تصادفات وسایل نقلیه سنگین (کامیون) است و متغیرهای وابسته مورد استفاده شامل رفتار راننده، شرایط آب و هوایی، ویژگی‌های محیط زیستی، ویژگی‌های هندسی راه، ترکیب‌های ترافیکی (متغیر ترافیکی) هستند که در نهایت و با استفاده از لوجیت ترکیبی تأثیر متغیرهای ذکر شده در جاده‌های برون‌شهری دو طرفه مورد بررسی قرار گرفت.

تمامی مطالعات فوق به دنبال یافتن اثر متغیرهای مستقل بر متغیر شدت تصادفات با رویکرد توصیفی هستند. به عنوان مثالی از رویکرد پیش‌بینی شدت تصادفات می‌توان به مطالعه پی و همکاران [۲۰] اشاره کرد. در این مطالعه شدت تصادفات در چهار راه درون‌شهری با استفاده از مدل‌های زنجیره مارکوف و بیژین پیش‌بینی شده است. متغیرهای پیش‌بینی کننده مورد استفاده از جنس متغیرهای ترافیکی قابل پیش‌بینی مانند طول چرخه زمان چراغ راهنمایی، حجم عابر پیاده و سهم خودروهای سنگین و تجاری هستند.

در این مطالعه هدف پیش‌بینی شدت تصادفات برای راه‌های برون‌شهری استان خراسان رضوی با استفاده از متغیرهای مستقلی متغیرهای ترافیکی که خود برای آینده قابل پیش‌بینی هستند می‌باشد. بدین منظور ابتدا بانک داده مرتبط با تلفیق داده‌های تصادفات و داده‌های تردد شمارهای حلقه القایی در کف راه‌ها ایجاد می‌شود. سپس مدل‌های پیش‌بینی کننده پرداخت و ارزیابی می‌شوند. در پایان شدت تصادفات برای آینده کوتاه‌مدت پیش‌بینی می‌شود.

این مطالعه از چند منظر قابل بررسی است. اکثر مطالعات پیشین به رویکرد توصیفی پرداخته‌اند در حالی که رویکرد این مطالعه پیش‌بینی شدت تصادفات است. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، در طول چهار سال و برای کل جاده‌های استان خراسان رضوی در شمال شرقی ایران جمع‌آوری شده است. حجم بالای مشاهدات و تشکیل کلان داده ترافیکی مرتبط با ایمنی علاوه بر نداشتن سابقه در مطالعات پیشین، سبب دستیابی به نتایج معتبر و قابل اطمینان شده است. از سوی دیگر در این مطالعه شدت تصادف برای جاده‌های برون‌شهری که عموماً در آن‌ها تصادفات شدیدتر از معابر درون‌شهری است پیش‌بینی شده و نحوه ارتباط دادن متغیرهای ترافیکی ثبت شده در ایستگاه‌های تردد شماری و سرعت‌سنجی برون‌شهری به تصادفات اتفاق افتاده نیز به شکل نوآورانه انجام شده است. در پایان پس از تشکیل بانک داده، دو مدل لوجیت ترتیبی و لوجیت چندگانه مورد استفاده قرار گرفتند.

## ۲- روش‌شناسی

در این بخش روش‌شناسی مرتبط با مدل‌های پیش‌بینی کننده شدت تصادفات شامل مدل لوجیت ترتیبی و مدل لوجیت چندگانه بررسی می‌شود.

### ۲- ۱- لوجیت ترتیبی

ماهیت ترتیبی داده‌های تصادفات (به عنوان مثال در شدت تصادفات خسارتی، جرحی، فوتی) یکی از ملاحظات قابل‌اتکا در ساخت مدل‌های

شدت تصادفات به شمار می‌رود. مدل لوجیت ترتیبی به شکل گسترده‌ای برای مدل‌سازی متغیرهای ترتیبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رایج‌ترین رویکرد مورد استفاده در چنین مدل‌هایی بهره‌مندی از یک متغیر پنهان Z (رابطه ۱) است که برای مدل‌سازی ترتیبی بودن داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این متغیر غیرقابل مشاهده، در بیشتر موارد به عنوان یک تابع خطی برای هر تصادف مشاهده شده تخصیص می‌یابد [۲۲ و ۲۱].

$$Z = \beta * x + \varepsilon \qquad (۱)$$

که در آن x برداری است که ترتیب گسسته هر تصادف مشاهده شده را تعیین می‌کند. β بردار تخمین پارامترهاست و ε بخش خطا هست.

با این تفاسیر، داده مشاهده شده ترتیبی شدت تصادفات یعنی y به شکل رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$y = \mathrm{i} \quad if \quad Z \geq \mu_{i-1} \qquad (۲)$$

که در آن i شدن تصادف و μ پارامترهای حدی تخمین زده شده‌ای می‌باشند که y را تعریف می‌کنند. μ ها پارامترهای هستند که به وسیله‌ی β ها که همان پارامترهای مدل می‌باشند، تعیین می‌شوند. می‌تواند برابر صفر قرار گیرد، به شرطی که به کلیت مدل خدشه‌ای وارد نشود. با در نظر گرفتن توزیع نرمال برای بخش خطای مدل، یعنی ε و میانگین صفر و واریانس یک مدل پروبیت ترتیبی حاصل می‌شود [۲۱].

با در نظر گرفتن $\mu_0$ برابر با صفر( $\mu_0 = 0$)، آنگاه تابع احتمال به شکل رابطه (۳) خواهد بود [۲۳].

$$P(y=i) = \phi(\mu_i - \beta x) - \phi(\mu_{i-1} - \beta x) \qquad (۳)$$

که $\mu_i$ و $\mu_{i_1}$ نشانگر حدود بالا و پایین برای شدت تصادف i هستند. با در نظر گرفتن توزیع لجستیک مشاهدات برای بخش خطا، مدل لوجیت ترتیبی حاصل می‌شود. اگر چه دو ضعف بر رویکرد سنتی لوجیت ترتیبی وارد است. اول اینکه مدل‌های احتمال در قبال کمتر گزارش شدن داده‌های شدت تصادف حساس هستند؛ که این موضوع منجر به تخمین غیرمنسجم و جهت‌دار پارامترها می‌شود. اگر مقدار گزارش نشده‌ها یا بد گزارش شده‌ها مشخص باشد، می‌توان با تابع وزنی حداکثر درست‌نمایی برای تحلیل بهتر داده‌ها استفاده کرد [۲۴].

اما حقیقت این است که در تقریباً اکثر قریب به اتفاق موارد مقدار داده‌های گزارش نشده‌ها یا بد گزارش شده‌ها مشخص نیست و این برای تعیین مقادیر دقیق مشکل‌ساز است. ضعف دوم مربوط به محدودیت این مدل می‌شود که بر خروجی مؤثر است. فرض کنید که در مدل شدت تصادفات سه شدت: خسارتی، جرحی و فوتی در نظر گرفته شده است و ما می‌خواهیم تأثیر فاکتور آب و هوا را ارزیابی کنیم. در بسیاری موارد وجود ضریب منفی برای x ها، یعنی همان $\beta < 0$ ($-\beta X$) تفسیر درستی از واقعیت موجود داده‌ها در اختیارمان قرار نمی‌دهد؛ زیرا عوامل دیگری که از ماهیت خود داده‌ها نشئت می‌گیرند، می‌توانند در تفسیر مؤثر باشند و پیش‌بینی مدل را کاملاً زیر سؤال ببرند؛ بنابراین بررسی خود داده‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. این ضعف دوم به نوعی مهم‌ترین ضعف مدل لوجیت ترتیبی است [۲۵].

## ۲- ۲- لوجیت چندگانه

فرض مستقل بودن مطلوبیت مشاهده نشده‌ی گزینه‌ها برای مدل‌های انتخاب همیشه برقرار نیست و همچنین مدل‌های دیگر برای تأمین همبستگی بین پارامترهای مشاهده نشده با گزینه‌ها وجود دارند که از آن‌ها می‌توان به مدل‌های GEV[1] اشاره کرد که می‌تواند به صورت آشیانه‌ای باشد که در هر آشیانه مقدار ε با ویژگی‌ها و اعضای آن آشیانه همبستگی دارد ولی با آشیانه‌های دیگر غیرهمبسته است [۲۶ و ۲۲].

$$\mathbf{f}(\varepsilon_{nj}) = e^{-\varepsilon nj} e^{e^{-\varepsilon nj}} \qquad (۴)$$

$$\mathrm{F}(\varepsilon_{nj}) = e^{e^{-\varepsilon nj}} \qquad (۵)$$

مدل لوجیت با این فرض حاصل می‌شود که بخش غیرسیستماتیک یا ε دارای توزیع گامبل و فرض توزیع مستقل و یکسان باشد. چگالی مطلوبیت مشاهده نشده $\mathbf{f}(\varepsilon_{nj})$ و توزیع تجمعی $\mathrm{F}(\varepsilon_{nj})$ آن به ترتیب به صورت رابطه (۴) و رابطه (۵) است [۲۷].

1 General extreme value

i و j گزینه‌های شدت تصادفات، e تابع نمایی و توزیع فوق دارای واریانس $\frac{\pi^2}{6}$ است [۲۷].

در این صورت $\varepsilon_{nij} = \varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni}$ از توزیع لجستیک (رابطه ۶) پیروی می‌کند.

$$F(\varepsilon^*_{nji}) = \frac{\varepsilon^*_{nji}}{1+\varepsilon^*_{nji}} \qquad (۶)$$

رابطه فوق در مدل‌های لوجیت دوتایی استفاده می‌شود (مدل‌هایی که در آن دو گزینه وجود دارد). استفاده از توزیع لجستیک همانند این است که فرض کنیم خطاها به صورت مستقل نرمال هستند.

اگر فرض کنیم که مقدار $\varepsilon_{ni}$ را داشته باشیم آنگاه توزیع تجمعی هر $\varepsilon_{nj}$ با استفاده از فرمول توزیع تجمعی و با توجه به اینکه $\varepsilon$ ها از یکدیگر مستقل هستند به صورت رابطه (۷) به دست می‌آید.

$$P_{ni|\varepsilon_{ni}} = \int (\Pi_{j\neq i} e^{-e^{-(V_{ni}+\varepsilon_{ni}-V_{nj})}} \qquad (۷)$$

از آنجایی که مقدار $\varepsilon_{ni}$ را نداریم بنابراین احتمال انتخاب از انتگرال $P_{ni|\varepsilon_{ni}}$ بر روی تمامی مقادیر $\varepsilon_{ni}$ که به وسیله‌ی چگالی‌اش وزن‌دهی شده به دست می‌آید. در صورتی که انتخاب از میان چندین گزینه صورت بپذیرد، با استفاده از این مدل می‌توان احتمال انتخاب هر یک از گزینه‌ها را به دست آورد (رابطه ۸) [۲۸].

$$P_A = \frac{\exp(U_A)}{\sum_j^J \exp(U_j)} \qquad (۸)$$

که در آن:

$P_A$ = احتمال انتخاب گزینه A

$U_A$ = تابع مطلوبیت انتخاب گزینه A

$U_j$ = تابع مطلوبیت انتخاب گزینه J

نسبت احتمال دو گزینه فقط به تابع مطلوبیت دو گزینه وابسته است و از مطلوبیت سایر گزینه‌ها مستقل است.

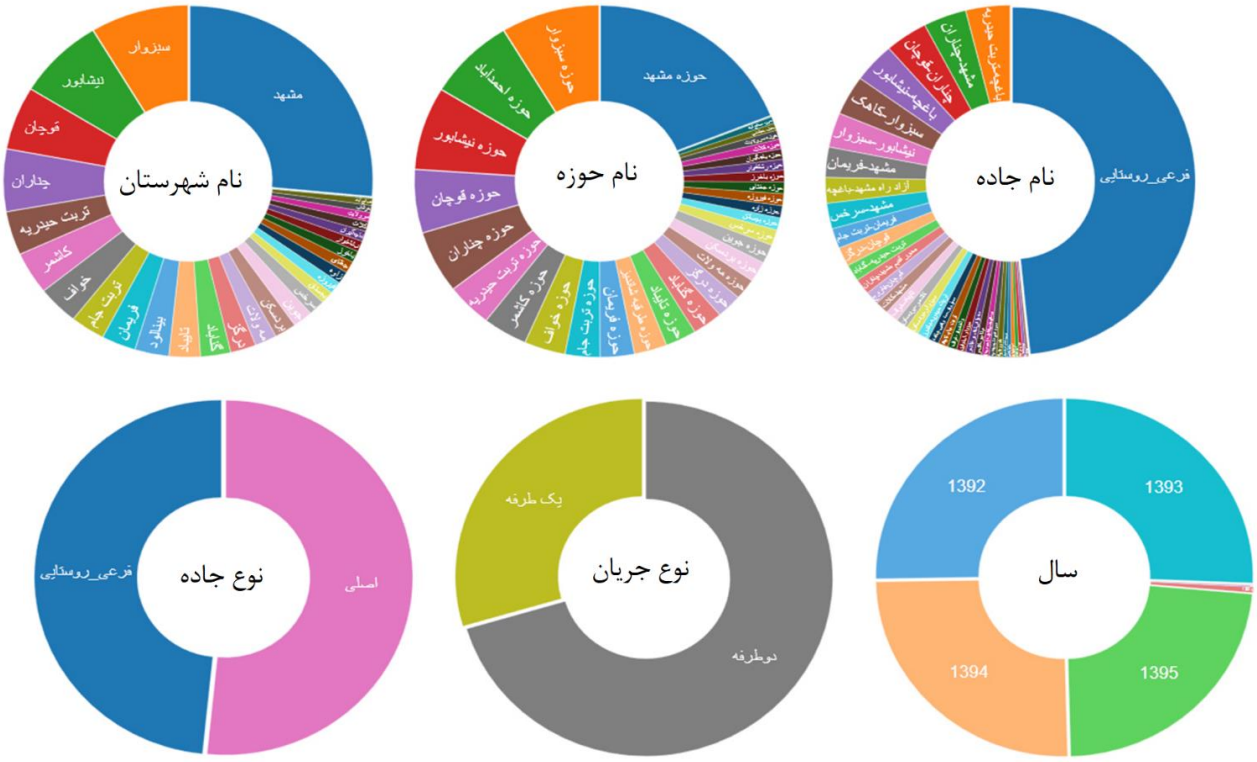
ویژگی مدل لوجیت درباره بی‌تأثیر بودن گزینه‌های غیرمرتبط، گاهی تبدیل به محدودیت می‌شود چون در برخی مواقع تمام روابط سیستماتیک، مشاهده نشده و در نتیجه بخشی از آن به قسمت غیرسیستماتیک تابع مطلوبیت منتقل می‌شود و باعث عدم استقلال $\varepsilon_{ni}$ شده و در نهایت ویژگی بی‌تأثیر بودن گزینه‌های غیرمرتبط برقرار نخواهد بود [۲۹].

## ۳- داده

استان خراسان رضوی یکی از استان‌های پرتردد به حساب می‌آید که در شمال شرق ایران واقع شده است. تنوع اقلیمی این استان سبب شده تا محورهای مواصلاتی با ویژگی‌های متفاوت را در آن شاهد باشیم. از جاده‌های باریک واقع در موقعیت نسبتاً کوهستانی شمال و شمال شرق این استان تا جاده‌های پهن با سطح سرویس خوب، واقع در موقعیت‌های با اقلیم کویری که در جنوب این استان واقع شده است. تردد کافی در کنار تنوع جاده‌ای، این استان را به عنوان یک نمونه مناسب در راستای فرآیند مدل‌سازی پیش‌بینی شدت تصادفات جاده‌ای بدل می‌کند. در این مطالعه اطلاعات تصادفات و ترددهای این استان طی چهار سال (۱۳۹۲-۱۳۹۵) مورد بررسی قرار گرفته است. این داده‌ها به منظور انجام پژوهش جاری از مراجع ذی‌ربط در سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای دریافت و مورد استفاده قرار گرفت. همچون برخی از داده‌های مورد استفاده برای دسترسی عموم در سایت این سازمان به آدرس ir.۱۴۱ موجود است.

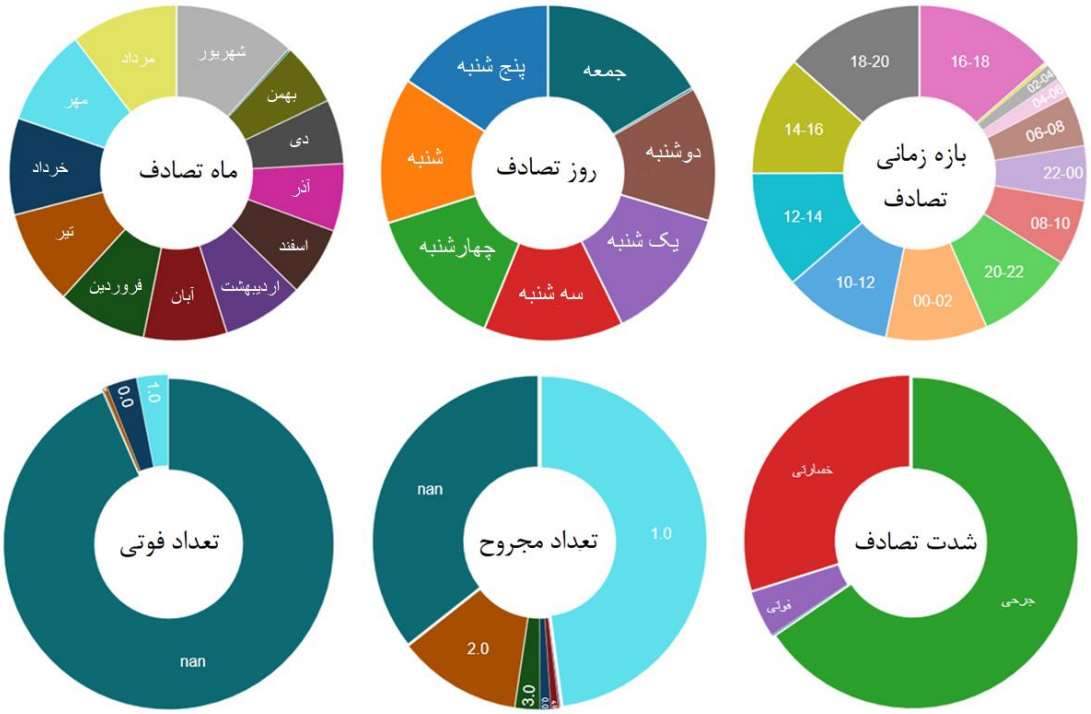
در ادامه در شکل ۱ و شکل ۲ طی چند نمودار دایره‌ای اطلاعات کلی از داده‌های در دسترس ذکر شده است. همچنین توزیع تصادفات در سه سطح شدتی، خسارتی، جرحی و فوتی در جدول ۱ و در جدول ۲ نیز متغیرهای مستقل موجود در مجموعه داده بررسی شده است.

در نمودار دایره‌ای با عنوان نام جاده، سهم هر محور مواصلاتی بین‌شهری از محورهای اصلی در کنار سهم محورهای فرعی-روستایی مورد بررسی قرار گرفته است. در نمودار دایره‌ای نام حوزه، سهم حوزه‌های شهری مختلف استان خراسان رضوی از ترددها نشان داده شده است، که سهم حوزه مشهد به عنوان مرکز این استان بیشتر از سایر حوزه‌ها است. در نمودار دایره‌ای نام شهرستان، سهم شهرستان‌های این استان مورد بررسی قرار گرفته است که مطابق انتظار سهم شهرستان مشهد به عنوان مرکز استان بیشتر از سایرین است. در نمودار دایره‌ای سال، سهم تصادفات هر یک از سال‌های مورد بررسی در این بازه چهار ساله مورد بررسی، نشان داده شده است که همان‌طور که از نمودار پیداست هر یک از سال‌ها تقریباً سهم برابری




**شکل ۱. توزیع موقعیت مکانی وقوع تصادفات راه‌های برون شهری استان خراسان رضوی**

**Fig. 1. Spatial distribution of accidents on suburban roads in Khorasan Razavi province**




**شکل ۲. توزیع زمانی و شدت تصادفات استان خراسان رضوی**

**Fig. 2. Temporal distribution of crash severity in Khorasan Razavi province**

**جدول ۱. بررسی آماری توزیع تصادفات در سه سطح شدتی خسارتی، جرحی و فوتی**

**Table 1. Statistical analysis of the distribution of accidents in three severity levels: damage, injury and fatal**

| نوع تصادف از منظر شدت | فراوانی | درصد |
|---|---|---|
| **تصادفات خسارتی** | ۱۷۵ | ۳۸/۲۱ |
| **تصادفات جرحی** | ۲۵۳ | ۵۵/۲۴ |
| **تصادفات فوتی** | ۳۰ | ۶/۵۵ |
| **مجموع** | ۴۵۸ | ۱۰۰ |

**جدول ۲. متغیرهای ترافیکی مورد بررسی در فرآیند مدل‌سازی به عنوان متغیرهای مستقل**

**Table 2. The investigated traffic variables in the modeling process as independent variables**

| ردیف | متغیر | ماهیت متغیر | ویژگی‌های مورد بررسی متغیر در مدل‌سازی |
|---|---|---|---|
| ۱ | محدودیت‌های سرعت جاده‌ای (کیلومتر بر ساعت) | ترافیکی | (۰-۴۰)- (۴۰-۶۰)- (۶۰-۸۰)- (۸۰-۱۰۰)- (۱۰۰-۱۲۰) |
| ۲ | حجم تردد عبوری که به متغیرهای ذیل تقسیم می‌شوند (وسیله نقلیه بر ساعت) | ترافیکی | حجم تردد عبوری وسایل نقلیه کلاس ۱- حجم تردد عبوری وسایل نقلیه کلاس ۲- حجم تردد عبوری وسایل نقلیه کلاس ۳- حجم تردد عبوری وسایل نقلیه کلاس ۴- حجم تردد عبوری وسایل نقلیه کلاس ۵- حجم تردد عبوری وسایل نقلیه سنگین- حجم تردد عبوری کل وسایل نقلیه – میانگین وزنی حجم تردد عبوری وسایل نقلیه سنگین، میانه حجم تردد عبوری وسایل نقلیه سنگین، خطای استاندارد حجم تردد عبوری وسایل نقلیه سنگین، چولگی حجم تردد عبوری وسایل نقلیه سنگین، حداقل حجم تردد عبوری وسایل نقلیه سنگین، حداکثر حجم تردد عبوری وسایل نقلیه سنگین، میانگین وزنی حجم و تردد عبوری تمامی وسایل نقلیه، میانه حجم و تردد عبوری تمامی وسایل نقلیه، خطای استاندارد حجم و تردد عبوری تمامی وسایل نقلیه، چولگی حجم و تردد عبوری تمامی وسایل نقلیه، حداقل حجم و تردد عبوری تمامی وسایل نقلیه، حداکثر حجم و تردد عبوری تمامی وسایل نقلیه. |
| ۳ | سرفاصله زمانی (ثانیه بر وسیله نقلیه) | ترافیکی | میانگین وزنی سرفاصله زمانی تمامی وسایل نقلیه، میانه سرفاصله زمانی تمامی وسایل نقلیه، خطای استاندارد سرفاصله زمانی تمامی وسایل نقلیه، چولگی سرفاصله زمانی تمامی وسایل نقلیه، حداقل سرفاصله زمانی تمامی وسایل نقلیه، حداکثر سرفاصله زمانی تمامی وسایل نقلیه |
| ۴ | میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت) | ترافیکی | میانگین وزنی میانگین سرعت تمامی وسایل نقلیه، خطای استاندارد میانگین سرعت تمامی وسایل نقلیه، چولگی میانگین سرعت تمامی وسایل نقلیه، حداقل میانگین سرعت تمامی وسایل نقلیه، حداکثر میانگین سرعت تمامی وسایل نقلیه |

از تصادفات دارند. در نمودار دایره‌ای نوع جریان، راه‌های برون‌شهری استان خراسان رضوی از دو منظر دو طرفه و یک طرفه مورد بررسی قرار گرفته است و همان‌طور که از نمودار دایره‌ای پیداست سهم جاده‌های دو طرفه بیشتر از یک طرفه است. در نمودار دایره‌ای نوع جاده راه‌های برون‌شهری استان خراسان رضوی از دو منظر اصلی و فرعی–روستایی مورد بررسی قرار گرفته است که سهم راه‌های اصلی بیشتر از راه‌های فرعی–روستایی است.

نمودار دایره‌ای بازه زمانی تصادف، توزیع تصادفات در ساعات مختلف شبانه‌روز را در بازه زمانی چهار ساله مورد بررسی در استان خراسان رضوی را نشان می‌دهد. نمودار دایره‌ای روز تصادف، توزیع تصادفات در روزهای مختلف هفته را در بازه زمانی چهار ساله مورد بررسی در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد. نمودار دایره‌ای ماه تصادف، توزیع تصادفات در ماه‌های سال را در بازه زمانی چهار ساله مورد بررسی در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد. نمودار دایره‌ای شدت تصادف، توزیع تصادفات از منظر شدت را در سه سطح خسارتی، جرحی و فوتی، در بازه زمانی چهار ساله مورد بررسی در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد. نمودار دایره‌ای تعداد مجروح، توزیع تصادفات جرحی از نظر تعداد افراد مجروح در تصادفات را در بازه زمانی چهار ساله مورد بررسی در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد. تعداد مجروحین یک نفر بیشتر از سایرین است. متأسفانه تعداد گزارش نشده‌ها (nan که مخفف not available number است) نیز عدد بالایی را به خود اختصاص می‌دهد. نمودار دایره‌ای تعداد فوتی، توزیع تصادفات فوتی از لحاظ تعداد افراد فوتی در محل را در بازه زمانی چهار ساله مورد بررسی در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد. که سهم گزارش نشده‌ها بیشتر از سایرین است. شاید یکی از دلایل اصلی به فوت منجر شدن تصادفات در ساعات و روزهای بعد از تصادف در بیمارستان باشد که عملا در فوتی‌های گزارش نشده یا تصادفات جرحی در محل جای می‌گیرند که دسته دوم در نمودار دایره‌ای تعداد مجروح لحاظ می‌شود.

متغیر وابسته استفاده شده در این مطالعه، شدت تصادفات است که در سه سطح خسارتی، جرحی و فوتی مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به شعاع مکانی و بازه زمانی ترددها در مجموع ۴۸۵ تصادف در مدل‌های لوجیت ساخته شده مورد استفاده قرار گرفتند که توزیعشان به شرح جدول ۱ است.

برای تلفیق اطلاعات مرتبط با تصادفات و ترددهای ثبت شده توسط تردد شمارها، دایره‌هایی به مرکز هر تردد شماره با شعاع‌های مختلف رسم می‌شود و سپس تصادفات و ترددهای درون آن دایره استخراج می‌شوند و هر تصادف و ترددهای قبل از وقوع آن تصادف در فاصله‌های زمانی مختلف با یکدیگر تلفیق می‌شوند. تلفیق این اطلاعات توسط نرم‌افزار ArcGIS انجام گرفت (شکل ۳). با توجه به کم بودن گزارش‌های مرتبط با تصادفات، هر چه شعاع دایره‌های به مرکز هر تردد شمار بزرگ‌تر در نظر گرفته شود، تعداد تصادفات بیشتری را شامل می‌شود؛ بنابراین نتایج حاصل از آن بررسی بیش از نتایج حاصل از دایره‌های به مرکز تردد و شمارها با شعاع کمتر قابل‌اتکا خواهد بود. نهایتاً برای مدل‌های پیش‌بینی شعاع ۵۰۰ m گزارش شد. در واقع مدل‌های لوجیت پیش‌بینی پرداخت شده تحت این شعاع بهترین مدل‌ها از لحاظ آماری و تعداد متغیرهای معنادار را در اختیار قرار دادند. در مورد استفاده از اطلاعات ترددها در مدل‌سازی، باید به این نکته اشاره شود که ترددهای یک ساعت قبل از وقوع تصادفات در نظر گرفته شده است. استفاده از ترددهای پیش از وقوع تصادفات در جهت استفاده از متغیرهای ترافیکی (از قبیل سر فاصله زمانی، سرعت و ...) در مدل‌سازی رخ داد. به این صورت که وضعیت آماری متغیرهای ترافیکی پیش از وقوع هر تصادف مورد بررسی قرار می‌گیرد و در مدل‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اختیارمان می‌گذارد، بنابراین داده‌های مرتبط با تردد شمارها اطلاعات مرتبط با متغیرهای ترافیکی را در اختیارمان می‌گذارد. در ادامه تصویری از بر هم نهی تصادفات و تردد شمارها آورده در یک خروجی نرم‌افزار ArcGis آورده شده است.

## ۴- نتایج

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از دو مدل لوجیت ترتیبی و چندگانه پرداخته شده است. مدل‌های لوجیت پیش‌بینی ساخته شده در این مطالعه شامل دو مدل لوجیت ترتیبی و لوجیت چندگانه می‌شود. در این مطالعه و بنا بر آنچه گفته شد، هر دو مدل لوجیت پیش‌بینی ساخته شده تصادفات در بازه مکانی با شعاع ۵۰۰ متر به مرکز هر تردد شمار و ترددهای یک ساعت قبل از وقوع تصادفات در نظر گرفته شده است. نتایج حاصله بر اساس اطلاعات ترافیکی و تصادفات استان خراسان رضوی به دست آمده اما این رویکرد قابلیت استفاده برای کل استان‌های کشور را دارد با این تفاوت که عوامل تاثیرگذار با توجه به شرایط استان‌ها به احتمال زیاد متفاوت خواهند بود.

انتخاب دو مدل لوجیت ترتیبی و لوجیت چندگانه با توجه به ماهیت متغیر شدت تصادفات به عنوان یک متغیر کیفی انجام شده است. چنانچه متغیر شدت تصادفات یک متغیر ترتیبی دانسته شود مدل لوجیت ترتیبی و چنانچه یک متغیر اسمی در نظر گرفته شود مدل لوجیت چندگانه سازگاری بیشتری با ماهیت متغیر وابسته خواهند داشت. به منظور شروع مدل‌سازی ابتدا بر مبنای نتایج مطالعات پیشین و قضاوت مهندسی متغیرهای مستقل دارای

**کل ۳. نحوه تخصیص تصادفات به تردد شمارها در بازه‌های مکانی در خروجی‌های نرم‌افزار ArcGIS**

**Fig. 3. Assigning accidents to traffic counters in spatial intervals in ArcGIS**

بیشترین اثرگذاری بر شدت تصادفات تشخیص داده شده و در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سپس بر مبنای آماره t به دست آمده، متغیرهای بدون اهمیت آماری حذف و سایر متغیرهای مستقل با اهمیت آماری به مدل‌ها اضافه گردید. در حین مدل‌سازی توجه به تخمین ضرایب منطقی و تفسیرپذیر بر اساس مطالعات پیشین ضرورت دارد.

### ۴- ۱- مدل لوجیت ترتیبی پیش‌بینی شدت تصادفات

جدول ۳ نشان دهنده نتیجه پرداخت مدل لوجیت ترتیبی پیش‌بینی شدت تصادفات است که شامل متغیرهای ترافیکی می‌شود و در سه سطح شدتی، خسارتی، جرحی و فوتی مورد بررسی قرار گرفته است.

" جریان وسایل نقلیه سنگین " با آماره t- ۴/۰۴ معنادار شده است. ضریب ۰/۰۰۵ حاکی از تأثیر مثبت این متغیر در افزایش شدت تصادفات است؛ یعنی با افزایش جریان وسایل نقلیه سنگین در جاده‌های برون‌شهری، شدت تصادفات افزایش می‌یابد. در واقع افزایش این متغیر جنس تصادفات را از خسارتی، به سمت جرحی و فوتی سیر می‌دهد که منطقی به نظر می‌رسد.

متغیر بعدی "حداکثر سرعت وسیله نقلیه بالای ۸۵ کیلومتر بر ساعت " است. این متغیر با آماره t- ۴/۳۲- معنادار شده است. ضریب این متغیر در مدل ۰/۰۰۶- گزارش شده است. منفی بودن این ضریب در مدل را می‌توان از دو منظر مورد بررسی قرار داد. اول اینکه سرعت مجاز در اکثر جاده‌های برون‌شهری استان بین ۹۰ تا ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت است. این بدان معناست که هر دوی این سرعت‌های مجاز جاده‌ای در طیف بالاتر از ۸۵ کیلومتر بر ساعت قرار دارند و این بازه سرعت در این جاده‌ها می‌تواند در خیلی از موارد از سقف سرعت مجاز پایین‌تر باشد و این خود دلیلی بر روند کاهشی در شدت تصادفات گزارش شده باشد. دوم اینکه بنا بر جدول فراوانی نسبی ارائه شده، تصادفات فوتی ۶/۵۵٪، تصادفات جرحی ۵۵/۲۴٪ و تصادفات خسارتی ۳۸/۲۰٪ تصادفات را به خود اختصاص داده‌اند. بیشتر بودن تصادفات جرحی نسبت به فوتی عامل مؤثری در منفی شدن این ضریب و سیر منفی شدت تصادفات از فوتی به خسارتی است.

**جدول ۳. نتایج پرداخت مدل لوجیت ترتیبی پیش‌بینی شدت تصادفات**

**Table 3. Results of the ordinal logit model for predicting the severity of accidents**

| متغیرهای توضیحی | ضریب | t-value |
|---|---|---|
| **جریان وسایل نقلیه سنگین** | ۰/۰۰۵ | ۴/۰۴ |
| **متغیر مجازی، اگر حداکثر سرعت وسیله نقلیه بالای ۸۵ کیلومتر بر ساعت باشد=۱، در غیر این صورت=۰** | -۰/۰۰۶ | -۴/۳۲ |
| **تعداد مشاهدات** | ۴۵۸ | |
| **LL0** | -۴۰۴/۰۱۳ | |
| **LLβ** | -۴۰۱/۰۲۱ | |
| **Adjusted R2** | ۰/۰۱۷ | |

### ۴- ۲- مدل لوجیت چندگانه پیش‌بینی شدت تصادفات

جدول ۴ نتایج پرداخت مدل لوجیت ترتیبی پیش‌بینی شدت تصادفات است را نشان می‌دهد.

همان‌طور که از مشخصات مدل پیداست، این مدل برای ۴۵۸ تصادفی (مشاهده) که در شعاع ۵۰۰ متری و در بازه زمانی یک ساعت قبل از وقوع تصادفات رخ داده‌اند، پرداخت شده است.

متغیر " حداقل سرفاصله زمانی " با آماره t- ۲/۳۸- در مدل و در گزینه تصادفات خسارتی معنادار شده است. ضریب این متغیر توضیحی ترافیکی ۰/۰۱۱ است؛ یعنی با کمتر شدن حداقل سرفاصله زمانی، احتمال وقوع تصادفات خسارتی بیشتر می‌شود که از لحاظ منطقی صحیح به نظر می‌رسد. اشاره به این نکته نیز حائز اهمیت است که در صورت کمتر شدن سرفاصله زمانی بین دو وسیله نقلیه، احتیاط راننده افزایش پیدا می‌کند، بنابراین از سرعت کاسته می‌شود و نتیجتاً کاهش سرعت یکی از عوامل مؤثر در کاهش شدت تصادفات به حساب می‌آید. بنابراین معنادار شدن این متغیر در تصادفات خسارتی (کمترین شدت) منطقی به نظر می‌رسد [۳۰].

متغیر " جریان وسیله نقلیه سنگین " با آماره t- ۱/۷۴ در مدل و در تصادفات جرحی معنادار شده است. ضریب ۰/۱۶۳ و مثبت بودن آن، نشان می‌دهد که این متغیر عاملی مؤثر در ایجاد تصادفات با شدت جرحی (شدت بیشتر) است و منطقی به نظر می‌رسد؛ زیرا افزایش جریان وسایل نقلیه سنگین یکی از عوامل مؤثر در وقوع تصادفات با شدت بالاتر در جاده‌های برون‌شهری است [۳۰].

متغیر " حداکثر سرعت بالاتر از ۸۵ کیلومتر بر ساعت " با آماره t- ۲/۰۹ هم در تصادفات جرحی و هم در تصادفات فوتی معنادار شده است. ضریب مثبت ۰/۵۱۰ نشان از تأثیر مثبت این متغیر در وقوع تصادفات با شدت بالاتر دارد که از نظر منطقی نیز درست به نظر می‌رسد؛ زیرا افزایش سرعت یکی از دلایل اصلی وقوع تصادفات با شدت بالاتر است [۳۰].

مشابه مطالعات گذشته، که به برخی از آن‌ها در بخش مرور ادبیات همین مقاله اشاره شد، در مدل‌سازی شدت تصادفات و نتایج حاصل از آن‌ها، در این مطالعه نیز طیف قابل قبولی از متغیرهای مستقل با ماهیت ترافیکی معنادار شده است. جدول ۵، به منظور اعتبارسنجی و تطبیق نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج مطالعات پیشین ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد در مطالعات پیشین نیز متغیرهای ترافیکی در مدل‌های خانواده لوجیت به منظور تحلیل شدت تصادفات معنادار شده است.

## ۵- نتیجه‌گیری

شدت بالای تصادفات یکی از پیامدهای منفی حمل و نقل برون شهری است. افراد کشته شده، جراحات و هزینه‌های بیمارستانی، خسارات جاده و وسایل نقلیه، و عواقب روانی همه بخشی از هزینه‌های جدی تصادف هستند. این مطالعه با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی خانواده لوجیت تلاش کرد تا مشخص کند چه عواملی بر شدت تصادفات در جاده‌های برون شهری استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران تأثیر می‌گذارند.

**جدول ۴. نتایج پرداخت مدل لوجیت چندگانه پیش‌بینی شدت تصادفات**

**Table 4. Results of the multinomial logit model for predicting the severity of accidents**

| لوجیت چندگانه | ضریب | t-value |
|---|---|---|
| **خسارتی** | | |
| **حداقل سرفاصله زمانی** | -۰/۰۱۱ | -۲/۳۸ |
| **جرحی** | | |
| **ثابت ویژه گزینه** | -۱/۱۱۳ | -۴/۲۹ |
| **جریان وسایل نقلیه سنگین** | ۰/۱۶۳ | ۱/۷۴ |
| **متغیر مجازی، اگر حداکثر سرعت بالاتر از ۸۵ کیلومتر بر ساعت باشد=۱ و در غیر این صورت=۰** | ۰/۵۱۰ | ۲/۰۹ |
| **فوتی** | | |
| **ثابت ویژه گزینه** | -۲/۸۱۵ | -۹/۰۹ |
| **متغیر مجازی، اگر حداکثر سرعت بالاتر از ۸۵ کیلومتر بر ساعت باشد=۱ و در غیر این صورت=۰** | ۰/۵۱۰ | ۲/۰۹ |
| **تعداد مشاهدات** | ۴۵۸ | |
| **LL0** | -۲۵۸/۹۲۸ | |
| **LLβ** | -۲۵۳/۸۰۷ | |
| **Adjusted R2** | ۰/۰۱۹ | |

**جدول ۵. اعتبار سنجی و تطبیق نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج مطالعات پیشین**

**Table 5. Validation and comparison of the results obtained in this research with the results of previous studies**

| ردیف | مقاله | سال | روش | متغیرهای معنادار مشابه با این مطالعه |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | رضاپور و همکاران [۳۱] | ۲۰۱۹ | مدل لوجیت ترکیبی | جریان وسیله نقلیه سنگین<br>سرعت بالاتر از ۵۵ کیلومتر بر ساعت |
| ۲ | چن و همکاران [۳۲] | ۲۰۱۸ | مدل لوجیت ترکیبی | جریان وسیله نقلیه (شامل وسایل نقلیه سنگین)<br>محدودیت سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت |
| ۳ | وو و همکاران [۱۹] | ۲۰۱۴ | مدل لوجیت ترکیبی | جریان وسیله نقلیه سنگین |
| ۴ | اناستاپولوس و همکاران [۱۷] | ۲۰۱۱ | مدل لوجیت ترکیبی | محدودیت سرعت ۵۵ کیلومتر بر ساعت<br>جریان وسیله نقلیه سنگین |
| ۵ | میلتون و همکاران [۱۸] | ۲۰۰۸ | مدل لوجیت ترکیبی | جریان وسیله نقلیه سنگین |

در این مطالعه شدت تصادفات به سه دسته: خسارتی، جرحی و فوتی تقسیم شده است. پایگاه داده این مطالعه با ترکیب اطلاعات داده‌های تردد شمارها و تصادفات رخ داده در همسایگی آن تردد شمارها، شکل گرفته است. با توجه به اینکه قصد به پرداخت مدل‌های پیش‌بینی در این مطالعه بود، بنابراین؛ متغیرهای مرتبط به زمان و متغیرهای ترافیکی به عنوان ورودی متغیرهای مستقل مدل‌های پیش‌بینی لوجیت مورد استفاده قرار گرفتند. از میان مدل‌های لوجیت موجود، دو مدل لوجیت ترتیبی و لوجیت چندگانه انتخاب شدند. دلیل این انتخاب این بود که به دلیل کم بودن تعداد داده‌های در دسترس، این دو مدل بهترین مدل‌های لوجیتی بودند که، معناداری یک سری از متغیرهای مستقل مرتبط با زمان و داده‌های ترافیکی را به خوبی پیش‌بینی کردند.

از حیث برازش، $\bar{\rho}^2$ گزارش شده برای مدل لوجیت ترتیبی برابر با ۰/۰۱۷ و برای مدل لوجیت چندگانه برابر با ۰/۰۱۹ است. در واقع و مطابق با انتظار، در طی یک سیر از مدل لوجیت ترتیبی به مدل لوجیت چندگانه بهبود برازش مدل قابل تصور بود.

یک سری از متغیرهای مستقل استفاده شده در هر دو مدل لوجیت ترتیبی، چندگانه معنادار شده‌اند. معنادار شدن این متغیرها حاکی از اهمیت و تأثیر این متغیرها و سهیم بودنشان در وقوع تصادفات با شدت‌های مختلف است. این متغیرها شامل دو متغیر جریان وسایل نقلیه سنگین و متغیر مجازی حداکثر سرعت بالاتر از ۸۵ کیلومتر بر ساعت می‌شود.

یکی از مزایای مدل لوجیت چندگانه پیش‌بینی نسبت به مدل لوجیت ترتیبی پیش‌بینی، معنادار شدن متغیر "حداقل سرفاصله زمانی" در مدل لوجیت چندگانه پیش‌بینی است که به بهبود مدل از لحاظ آماری و تفسیری کمک شایانی می‌کند.

در نهایت می‌توان با دو مدل پرداخت شده احتمال وقوع تصادف با شدت‌های مختلف را برای آینده کوتاه‌مدت پیش‌بینی کرد. این امر از طریق پیش‌بینی متغیرهای ترافیکی همچون سرعت و حجم ترافیک و برآورد سایر متغیرهای مستقل برای آینده امکان‌پذیر می‌شود. چنانچه مقادیر به کار رفته شده در مدل‌ها برای آینده کوتاه‌مدت در دسترس باشد، مدل‌های پیش‌بینی کننده شدت تصادفات قادر به تخمین وضعیت ایمنی راه‌های برون‌شهری می‌شوند. در مواردی که وضعیت ایمنی راه بحرانی تخمین زده شود می‌توان با به کارگیری تدابیری همچون اطلاع‌رسانی به مسافران از طریق تابلوهای هوشمند در طول مسیر، به کارگیری تجهیزات پلیس راهور همچون کنترل نامحسوس سرعت و آرام‌سازی جریان ترافیک، قبل از وقوع هرگونه حادثه‌ای وضعیت ایمنی ترافیک به شکل پایدارتری درآید [۳۴ و ۳۳].

به طور قطع در انجام هر مطالعه‌ای محدودیت‌هایی وجود دارد، که مطالعه حال حاضر نیز از این قاعده مستثنی نیست. جهت بهبود نتایج ارائه شده در مطالعات آینده می‌توان پیشنهاداتی ارائه داد که نتایج مطالعه فعلی را با قطعیت بیشتری اجرایی کند. اول از همه این طور پیشنهاد می‌شود تا برای اعتبار بخشی به این مطالعه مدل‌های پیش‌بینی ارائه شده را برای راه‌های برون شهری دیگر استان‌ها نیز به کار بست. پیشنهاد بعدی، استفاده از تعداد داده‌های بیشتر جهت حصول به نتایج با درجه اطمینان بالاتر است. همچنین می‌توان سیاست گذاری‌های پیشنهاد شده در این مطالعه را نیز مورد سنجش قرار داد. در آخر، اشاره به این موضوع شایان به ذکر است که با افزایش داده‌ها، و امکان استفاده از مدل‌های پیش‌بینی لوجیت دیگر، تعداد بیشتری مدل متغیر مستقل پیش‌بینی کننده معنادار می‌شود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مرکز مدیریت اطلاعات راه‌های کشور و دفتر ایمنی ترافیک سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ی استان خراسان رضوی بابت در اختیار قرار دادن داده مورد استفاده در این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

## ۶- فهرست علائم

**علائم انگلیسی**

| | |
|---|---|
| P | احتمال انتخاب |
| U | مطلوبیت |
| X | بردار متغیرهای مستقل |
| Z | تابع مطلوبیت |

**علائم یونانی**

| | |
|---|---|
| β | ضرایب متغیرهای مستقل در تابع مطلوبیت |
| ε | بخش خطای تابع مطلوبیت |
| μ | پارامترهای حدی |

## منابع


[1] E. Rahimi, A. Shamshiripour, A. Samimi, A.K. Mohammadian, Investigating the injury severity of single-vehicle truck crashes in a developing country, Accident Analysis & Prevention, 137 (2020) 105444.

[2] A. Rasaizadi, M. Askari, Effect of family structure on urban areas modal split by using the life cycle concept, Int. J. Hum. Capital Urban Manage, 5(2) (2020) 165-174.

[3] L. Eboli, C. Forciniti, G. Mazzulla, Factors influencing accident severity: an analysis by road accident type, Transportation research procedia, 47 (2020) 449-456.

[4] A.M. Amiri, N. Nadimi, M. Askari, M. Shams, Developing an Accident Severity Model Based on Related Crash Type: Comparison of Four Commonly Used Discrete Choice Models, 2021.

[5] A. Iranitalab, A. Khattak, Comparison of four statistical and machine learning methods for crash severity prediction, Accident Analysis & Prevention, 108 (2017) 27-36.

[6] A. Rasaizadi, E. Sherafat, S. Seyedabrishami, Short-term prediction of traffic state, statistical approach versus machine learning approach.

[7] A. Rasaizadi, A. Ardestani, S. Seyedabrishami, Traffic management via traffic parameters prediction by using machine learning algorithms, International Journal of Human Capital in Urban Management, 6(1) (2021) 57-68.

[8] G. Azimi, A. Rahimi, H. Asgari, X. Jin, Severity analysis for large truck rollover crashes using a random parameter ordered logit model, Accident Analysis & Prevention, 135 (2020) 105355.

[9] J. Bao, Z. Yang, W. Zeng, X. Shi, Exploring the spatial impacts of human activities on urban traffic crashes using multi-source big data, Journal of Transport Geography, 94 (2021) 103118.

[10] K. Chebanyuk, O. Prasolenko, D. Burko, A. Galkin, O. Lobashov, A. Shevchenko, D.S. Usami, L. Persia, Pedestrians influence on the traffic flow parameters and road safety indicators at the pedestrian crossing, Transportation research procedia, 45 (2020) 858-865.

[11] H.M. Hammad, M. Ashraf, F. Abbas, H.F. Bakhat, S.A. Qaisrani, M. Mubeen, S. Fahad, M. Awais, Environmental factors affecting the frequency of road traffic accidents: a case study of sub-urban area of Pakistan, Environmental Science and Pollution Research, 26(12) (2019) 11674-11685.

[12] L. Komackova, M. Poliak, Factors affecting the road safety, Journal of Communication and Computer, 13 (2016) 146-152.

[13] J.W. Park, K.C. Lee, S.H. Sim, H.J. Jung, B.F. Spencer Jr, Traffic safety evaluation for railway bridges using expanded multisensor data fusion, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 31(10) (2016) 749-760.

[14] H. Sun, Q. Wang, P. Zhang, Y. Zhong, X. Yue, Spatialtemporal characteristics of tunnel traffic accidents in China from 2001 to present, Advances in Civil Engineering, 2019 (2019).

[15] M. Waseem, A. Ahmed, T.U. Saeed, Factors affecting motorcyclists' injury severities: An empirical assessment using random parameters logit model with heterogeneity in means and variances, Accident Analysis & Prevention, 123 (2019) 12-19.

[16] Q. Zeng, W. Gu, X. Zhang, H. Wen, J. Lee, W. Hao, Analyzing freeway crash severity using a Bayesian spatial generalized ordered logit model with conditional autoregressive priors, Accident Analysis & Prevention, 127 (2019) 87-95.

[17] P.C. Anastasopoulos, F.L. Mannering, An empirical assessment of fixed and random parameter logit models using crash-and non-crash-specific injury data, Accident Analysis & Prevention, 43(3) (2011) 1140-1147.

[18] J.C. Milton, V.N. Shankar, F.L. Mannering, Highway accident severities and the mixed logit model: an exploratory empirical analysis, Accident Analysis & Prevention, 40(1) (2008) 260-266.

[19] Q. Wu, F. Chen, G. Zhang, X.C. Liu, H. Wang, S.M. Bogus, Mixed logit model-based driver injury severity investigations in single-and multi-vehicle crashes on rural two-lane highways, Accident Analysis & Prevention, 72 (2014) 105-115.

[20] X. Pei, S. Wong, N.-N. Sze, A joint-probability approach to crash prediction models, Accident Analysis & Prevention, 43(3) (2011) 1160-1166.

[21] D.A. Hensher, W.H. Greene, The mixed logit model: The state of practice and warnings for the unwary, Citeseer, 2002.

[22] A. Taheri, A. Rasaizadi, S. Seyedabrishami, Spatial-Temporal Analysis of Crash Severity: Multisource Data Fusion Approach, Discrete Dynamics in Nature and Society, 2022 (2022).

[23] A. Rasaizadi, M. Kermanshah, Mode choice and number of non-work stops during the commute: Application of a copula-based joint model, Scientia Iranica, 25(3) (2018) 1039-1047.

[24] R. Williams, Understanding and interpreting generalized ordered logit models, The Journal of Mathematical Sociology, 40(1) (2016) 7-20.

[25] L. Grilli, C. Rampichini, Ordered logit model, Encyclopedia of quality of life and well-being research, (2014) 4510-4513.

[26] F. Jafari Shahdani, A. Rasaizadi, S. Seyedabrishami, The interaction between activity choice and duration: Application of Copula-based and Nested-logit models, Scientia Iranica, (2020).

[27] J. Hausman, D. McFadden, Specification tests for the multinomial logit model, Econometrica: Journal of the econometric society, (1984) 1219-1240.

[28] S. Seyedabrishami, A.R. Izadi, A Copula-Based Joint Model to Capture the Interaction between Mode and Departure Time Choices in Urban Trips, Transportation Research Procedia, 41 (2019) 722-730.

[29] S. Seyedabrishami, A.R. Izadi, H.S. Rayaprolu, R. Moeckel, Car ownership: A joint model for number of cars and fuel types, Transportation Research Procedia, 41 (2019).

[30] M. Zhu, X. Wang, J. Hu, Impact on car following behavior of a forward collision warning system with headway monitoring, Transportation research part C: emerging technologies, 111 (2020) 226-244.

[31] M. Rezapour, S.S. Wulff, K. Ksaibati, Examination of the severity of two-lane highway traffic barrier crashes using the mixed logit model, Journal of safety research, 70 (2019) 223-232.

[32] F. Chen, S. Chen, X. Ma, Analysis of hourly crash likelihood using unbalanced panel data mixed logit model and real-time driving environmental big data, Journal of safety research, 65 (2018) 153-159.

[33] N.A. Khan, N. Jhanjhi, S.N. Brohi, R.S.A. Usmani, A. Nayyar, Smart traffic monitoring system using unmanned aerial vehicles (UAVs), Computer Communications, 157 (2020) 434-443.

[34] L.S. Iyer, AI enabled applications towards intelligent transportation, Transportation Engineering, 5 (2021) 100083.

**چگونه به این مقاله ارجاع دهیم**

*A. H. Taheri, A. Rasaizadi, S. H. Seyedabrishami, Rural Road Safety Monitoring Using Crash Severity Predictive Models: A Case Study of Khorasan Razavi Province in Iran , Amirkabir J. Civil Eng., 54(11) (2023) 4239-4252.*

**DOI:** 10.22060/ceej.2022.20546.7457

این صفحه عمداً خالی است