

تحلیل شدت تصادفات خروج از راه با استفاده از مدل لوجیت ترکیبی

مقاله علمی - پژوهشی

حامد سیفی*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: hamedsaify@pnu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۱

صفحه ۳۱۴-۳۰۵

چکیده

تصادفات خروج از راه یکی از مهمترین انواع تصادفات جاده‌ای است که تحقیقات اندکی در خصوص این نوع از تصادفات انجام می‌شود. به همین منظور تحقیق حاضر با هدف تحلیل شدت تصادفات خروج از راه (ROR)، به تحلیل مجموعه داده‌های تصادف دوره سه ساله ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ در راه‌های برونشهری استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدل لوجیت ترکیبی (ML) که با عنوان لوجیت پارامترهای تصادفی نیز شناخته می‌شود، پرداخته است. مدل لوجیت ترکیبی بسیار منعطف است، زیرا قادر به تخمین هرگونه مدل تصادفی است. این کار با اجازه دادن به آثار ناهمگون و همبستگی در عوامل مشاهده نشده انجام می‌شود. برای برآورد مدل، روش حداکثر احتمال با ۱۰۰۰ کشش هالتون و تأثیرات حاشیه‌ای نیز برای تعیین تأثیر پارامترهای برآورد شده بر شدت تصادفات مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، معیار لکاریم در دستمایی برای آزمون برآورد مدل استفاده شد. با توجه به محدودیت مجموعه داده، متغیرهای فصل زمستان، بارش، موانع حاشیه راه، وجود قنول/جدول، افراد درگیر در تصادف، واژگونی، نوع خودرو، سن و جنسیت به عنوان متغیرهای معنادار در نظر گرفته شدند. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که متغیرهای افراد درگیر، واژگونی، سن کم و زیاد سر نشین (سر نشینان جوان و مسن) و فصل زمستان در تصادفات ROR رابطه مستقیمی با جراحت شدیدتر دارند.

واژه‌های کلیدی: تصادفات، مدل‌سازی، خروج از راه، مدل لوجیت ترکیبی

۱- مقدمه

به همراه دارند (Al-Bdairi & Hernandez, 2017). بر اساس گزارش شرکت راه ویکتوریا، تصادفات ROR در سال ۲۰۱۵ تقریباً ۶۰٪ از فوتی‌های جاده‌ای در ویکتوریا، استرالیا را تشکیل می‌دادند. این نرخ فوتی نسبت به سال ۲۰۱۴ حدود ۱۰٪ افزایش یافته بود. روندهای مشابهی در کشورهای دیگر نیز مشاهده می‌شود؛ به‌طور مثال، بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵، ۵۴٪ از فوتی‌های جاده‌ای در ایالات متحده ناشی از تصادفات ROR بود (Jiang et al., 2020). با این حال، مطالعات موجود در مورد تصادفات ROR هنوز بسیار محدود است (Jiang et al., 2020). بررسی عوامل کلیدی مرتبط با شدت تصادف روشی مؤثر برای آگاهی بیشتر و اتخاذ استراتژی برای کاهش تصادفات خروج از راه (ROR) و بهبود ایمنی راه‌هاست (Dirnbach et al., 2020; Eboli & Forciniti, 2020).

تصادفات جاده‌ای به‌عنوان یک مشکل ایمنی عمومی در سطح جهانی تلقی می‌شوند (Hong et al., 2019; Casado-Sanz et al., 2020) زیرا هر ساله موجب تلفات جانی، خسارات اقتصادی و ترافیک سنگین می‌شوند (Wang et al., 2020). سازمان بهداشت جهانی گزارش داده است که در اثر تصادفات جاده‌ای سالانه بیش از ۱,۳۵ میلیون نفر جان خود را از دست می‌دهند و ۵۰ میلیون نفر دیگر آسیب می‌بینند (WHO, 2018). هزینه اقتصادی تصادفات جاده‌ای به‌طور جهانی به‌عنوان ۳ درصد از تولید ناخالص داخلی تخمین زده شده است (WHO, 2018) و این رقم در کشورهای کم‌درآمد و درآمد متوسط به ۲ تا ۷ درصد می‌رسد (Esmaili et al., 2023). در میان انواع تصادفات جاده‌ای، تصادفات خروج از راه^۱ (ROR) نوع مهمی از تصادفات هستند زیرا بیشترین میزان فوتی‌ها و جراحات شدید را در راه‌ها

استفاده کرده و تصادفات تک وسیله ای و چند وسیله‌ای را مقایسه کرده است.

اسلام و پاندی (Islam & Pande, 2020) تصادفات تک وسیله ای خروج از راه در قطعات منحنی برونشهری مینه‌سوتا را بررسی کردند. این مطالعه از داده‌های تصادف ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ و مدل لوجیت ترکیبی استفاده کرده است. این مطالعه چندین عامل موثر در شدت تصادفات را شناسایی کرد که شامل ویژگی‌های راننده و اقدامات آنها در زمان تصادف (رانندگان مرد، سن کمتر از ۳۰ سال، و سرعت عملیاتی پرخطر)، عوامل مرتبط با راه و ترافیک (راه‌های دو خطه جدانشده و حجم ترافیک پایین)، شرایط محیطی (شرایط آب و هوایی نامساعد، نور کم، و شرایط خشک سطح) و ویژگی‌های وسیله نقلیه (واژگونی) می‌شود.

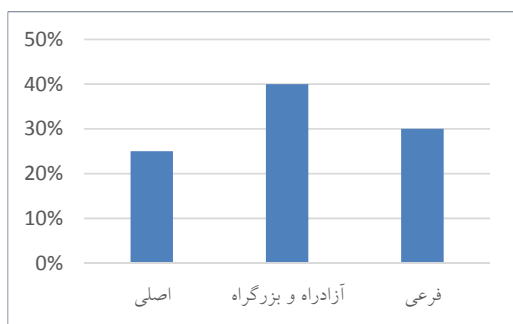
اسلام و همکاران (Islam et al., 2020) تصادفات تک وسیله‌ای کامیون‌ها در قطعات منحنی برونشهری کارولینای شمالی را با استفاده از لوجیت ترکیبی بررسی کردند. محققان نتیجه گرفتند که نسبت به قطعات مستقیم، عواملی که احتمال بروز جراحت شدید برای راننده در تصادفات کامیون‌ها را افزایش می‌دهد شامل ویژگی‌های راننده (سرعت غیرمجاز و سایر رفتارهای بی‌احتیاط رانندگی) و قطعات راه با سرعت‌های مجاز بالا (۵۵-۶۵ مایل در ساعت) در منحنی‌های افقی است.

رج علی و همکاران (Rejali et al., 2024) به تحلیل عوامل موثر بر شدت تصادفات ناشی از حواس‌پرتی در شهر نیویورک و بررسی پایداری زمانی اثرات متغیرهای مختلف بر نتایج تصادف پرداختند. سه دسته آسیب‌دیدگی بدون آسیب، آسیب جزئی و آسیب شدید در نظر گرفته شد. برای بررسی شدت تصادفات و شناسایی ناهمگونی‌های مشاهده‌نشده، مدل لوجیت ترکیبی (لوجیت با پارامترهای تصادفی) اجرا شد. نتایج نشان داد که انواع مختلفی از متغیرها شامل ویژگی‌های راننده، خصوصیات وسیله نقلیه و زمان، و ویژگی‌های تصادف در توضیح شدت تصادفات ناشی از حواس‌پرتی اهمیت داشتند.

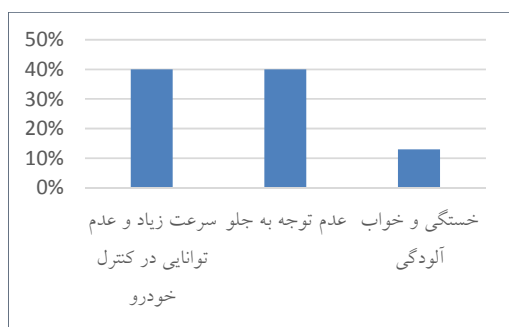
اسماعیلی و همکاران (Esmaili et al., 2022) به شناسایی الگوهای تصادف عابران پیاده و آشکارسازی پارامترهای تصادفی در مجموعه داده تصادفات سه ساله ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ شهر مشهد پرداختند. یک روش دو مرحله‌ای که شامل تحلیل خوشه‌ای کلاس نهفته (LCA) و مدل لوجیت ترکیبی برای نظر گرفتن ناهمگونی‌های نامشهود به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که عوامل مختلفی مرتبط با عابر پیاده، وسیله نقلیه، زمان، محیط زیست، ویژگی‌های راه و محیط با جراحات عابران پیاده مرتبط

به همین دلیل برخی محققان به تحلیل شدت تصادفات با استفاده از مدل‌های آماری پرداخته‌اند. در این راستا پژوهشگران بیان نموده‌اند که اگر ضریبی ثابت نبوده و تصادفی باشد، تفسیر آن می‌تواند دشوار باشد، زیرا اثر X روی آسیب، بسته به مورد ممکن است متفاوت باشد. در پژوهش میلتن و همکاران (Milton et al., 2008)، پژوهشگران پیشنهاد کردند که بهتر است خصوصیات راه به صورت پارامتر ثابت در نظر گرفته شود، و متغیرهای مربوط به حجم، مثل متوسط ترافیک روزانه در هر خط، متوسط ترافیک خودروی سنگین، درصد کامیون‌ها، و شرایط آب و هوایی بهتر است به صورت پارامتر تصادفی در نظر گرفته شود. نویسندگان همچنین عقیده داشتند که اثر تصادفی ADT برای هر خط باعث افزایش شدت تصادفات در برخی موارد و باعث کاهش در برخی دیگر از موارد می‌شود که نشان دهنده پاسخ و وفق‌پذیری رانندگان محلی با سطوح مختلف حجم ترافیک است. تعداد تقاطع به ازای هر کیلومتر نیز یک ضریب تصادفی است و نشان می‌دهد که برخی از تقاطع‌ها به لحاظ طراحی و شکل ترافیکی با دیگر تقاطع‌ها متفاوت هستند. در پژوهش چن و چن (Chen & Chen, 2011)، نویسندگان متوجه شدند که شرایط آب و هوایی مثل وضعیت برفی یا سطح لغزنده و ترافیک سبک، ضریبی تصادفی هستند. در مقایسه با پارامترهای ثابت، این تصادفی بودن می‌تواند درک جدیدی برای فهم بهتر و جامع‌تر رابطه پیچیده میان عوامل مشاهده شده با شدت ارائه کند. در نتیجه بسیاری از پژوهشگران برای تحلیل شدت تصادف به مدل لوجیت پارامتر تصادفی که با عنوان لوجیت ترکیبی نیز شناخته می‌شود روی آوردند. مدل لوجیت ترکیبی^۲ (ML) بسیار منعطف است زیرا قادر به تخمین هرگونه مدل تصادفی است (Lord et al., 2021). مدل ML محدودیت‌های مدل لوجیت چندجمله‌ای را رفع می‌کند. این کار با اجازه دادن به آثار ناهمگون و همبستگی در عوامل مشاهده نشده انجام می‌شود (Lord et al., 2021). با معرفی مدل ML پژوهشگران مختلف از این مدل برای تحلیل شدت تصادفات استفاده کرده‌اند. برای مثال گانگ و فن (Gong & Fan, 2017) از مدل لوجیت ترکیبی برای بررسی عوامل مرتبط با شدت جراحات در تصادفات تک‌وسيله‌ای ROR استفاده کردند.

همچنین وو و همکاران (Wu, et al., 2014) از مدل لاجیت ترکیبی برای بررسی شدت جراحات راننده در راه‌های برونشهری



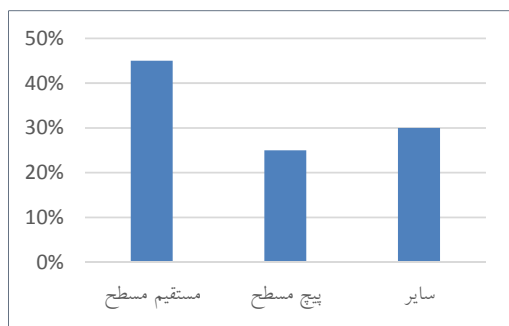
شکل ۳. سهم نوع راه



شکل ۴. سهم علت تصادف



شکل ۵. سهم وضعیت راننده

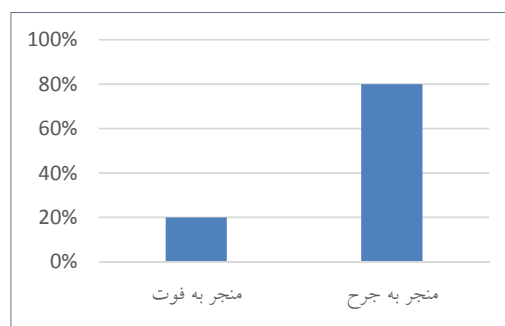


شکل ۶. سهم وضعیت هندسه

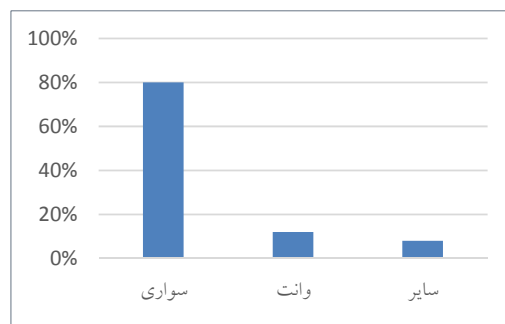
هستند. عبدی و اوهرن (Abdi & O'Hern, 2024) تصادفات کامیون‌های تک‌وسپه‌ای در استان خراسان رضوی ایران را از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ با استفاده از مدل لوجیت ترکیبی بررسی کردند. آزمون‌های نسبت احتمال برای نشان دادن اعتبار آماری مدل به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که پنج متغیر مهم با تصادفات خروج از راه مرتبط بودند (رانندگی با کامیون بارگیری شده، محدودیت سرعت کمتر از ۶۰ کیلومتر در ساعت، شانه‌های رویه دار، رانندگی در سربالایی و ناتوانی در کنترل کامیون موثر هستند. با توجه به کاربرد گسترده مدل ML و مزایای شمرده شده آن در تحلیل شدت تصادفات، در این تحقیق نیز برای تحلیل شدت تصادفات خروج از راه از این مدل استفاده شده است.

۲- داده‌ها

در این مطالعه، داده‌های سه ساله تصادفات ROR در راه‌های برونشهری استان آذربایجان شرقی به عنوان مجموعه داده استفاده شد. این داده‌ها مربوط به سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ است که با همکاری سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای استان از پلیس راه اخذ شد. تعداد تصادفات خروج از راه رخ داده طی این مدت ۱۵۲ تصادف بوده است که نمودارهای توصیفی آنها در شکل‌های (۱) تا (۸) نشان داده شده است.



شکل ۱. سهم نوع تصادف



شکل ۲. سهم خودروها

لوجیت با پارامترهای تصادفی برای بررسی نتایج تصادف استفاده کرد. این مدل که با عنوان مدل «لوجیت ترکیبی» نیز شناخته می‌شود، با قابلیت اجازه دادن به تأثیر پارامترها که در میان مشاهدات متغیر است، می‌تواند ناهمگونی‌های مشاهده نشده را شناسایی کند. بر خلاف سایر مدل‌ها، مدل لوجیت ترکیبی تحت تأثیر مشکل استقلال گزینه‌های غیر مرتبط (IIA) قرار نمی‌گیرد. مدل لوجیت با پارامترهای تصادفی از تابع شدت زیر استفاده می‌کند که می‌تواند نتایج شدت تصادفات را توضیح دهد (Seyfi et al., 2023; Washington et al., 2020):

$$U_{ij} = \beta_j X_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

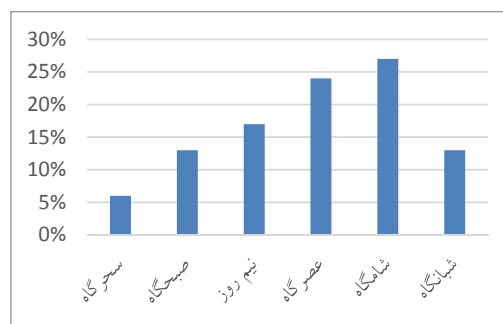
که U_{ij} تابع شدت جراحت است که احتمال شدت تصادف i را در تصادف j تعیین می‌کند. X_{ij} بردار مرتبط با متغیرهای پیشنهادی است و این متغیرها می‌توانند بر شدت تصادفات تأثیر بگذارند. همچنین، β_j برداری است که تأثیر هر پارامتر را مشخص می‌کند و ε_{ij} مشخص‌کننده عبارت خطا است. با توجه به توزیع عبارت خطا، تابع احتمال مدل لوجیت چندجمله‌ای به صورت زیر است.

$$P_i(j) = \frac{\text{EXP}(\beta_j X_{ij})}{\sum_j \text{EXP}(\beta_j X_{ij})} \quad (2)$$

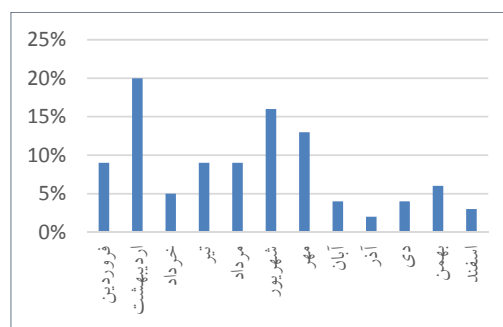
که $P_i(j)$ تابع احتمال تصادف i است که باعث شدت تصادف j می‌شود. از آنجا که β_j می‌تواند در پارامترهای مجموعه داده‌های تصادف متغیر باشد، مدل لوجیت ترکیبی می‌تواند مسئله ناهمگونی مشاهده نشده را حل کند. نتایج مدل شامل ثابت است و β_j می‌تواند ثابت یا به طور تصادفی توزیع شده با میانگین‌های ثابت در سراسر همه پارامترها باشد. در نتیجه، تابع احتمال $P_i(j)$ به $P_i(j|\varphi)$ تبدیل و به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$P_i(j|\varphi) = \int \frac{\text{EXP}(\beta_j X_{ij})}{\sum_j \text{EXP}(\beta_j X_{ij})} f(\beta_j|\varphi) d\beta_j \quad (3)$$

در این تابع، $P_i(j|\varphi)$ احتمال شدت جراحت j و $f(\beta_j|\varphi)$ تابع چگالی β_j است و φ بردار شناخته شده از پارامترها (میانگین و واریانس) است که تابع چگالی را تعریف می‌کند. اگر پارامترها تصادفی باشند، تابع چگالی $f(\beta_j|\varphi)$ وزن‌های لوجیت پارامترهای تصادفی را تولید می‌کند. برای توزیع پارامترهای تصادفی، توزیع‌های نرمال، لوگ‌نرمال، مثلثی و یکنواخت مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ با این حال، برتری یک توزیع بر دیگری مشخص نشده است. تحلیل تجربی نشان داده که توزیع نرمال



شکل ۷. سهم هنگامه وقوع



شکل ۸. سهم ماه و فصل

۳- روش تحقیق

۳-۱- مدل لوجیت ترکیبی (لوجیت پارامتر تصادفی)

مدل‌های شدت تصادف بر برآورد احتمال وقوع یک تصادف که منجر به فوت، خسارت یا جراحت می‌شوند تمرکز دارند. به گفته محققان (Mannering & Bhat, 2014; Savolainen et al., 2011) رایج‌ترین تکنیک‌ها در مطالعه شدت تصادف را می‌توان به مدل‌های چارچوب غیر ترتیبی (مانند مدل‌های لوجیت چندجمله‌ای، لوجیت آشیانه‌ای و لوجیت ترکیبی) و مدل‌های چارچوب ترتیبی (مانند مدل‌های پروبیت یا لوجیت ترتیبی و مدل‌های ترتیبی تعمیم یافته) تقسیم کرد. گاهی اوقات، فرض کردن اینکه متغیرهای توضیحی ممکن است در تصادف‌ها متفاوت باشند، واقع‌بینانه‌تر است؛ بنابراین، برخی از محققان از مدل‌های با پارامترهای ثابت (به عنوان مثال، Kockelman & Kweon, 2002) و برخی دیگر از مدل‌های با پارامترهای تصادفی یا مدل‌های تأثیر ترکیبی (به عنوان مثال، Roque et al., 2015; Wu et al., 2016) استفاده کرده‌اند. مدل‌های با پارامترهای تصادفی این مزیت را دارند که به متغیرهای توضیحی اجازه می‌دهند تا تفاوت‌های فردی در سطوح شدت جراحت را در تصادف‌های مختلف در نظر بگیرند. این مطالعه از مدل

است و اطلاعات در دسترس محدود به اطلاعاتی است که در این فرم ها گنجانده شده است. لذا، متغیرهای مورد استفاده برای مدلسازی نیز محدود است. در نتیجه اطلاعات مربوط به تصادفات ROR برای مدلسازی در این تحقیق، شامل سطوح شدت جراحت، ویژگی های فصلی (زمستان، بارش)، ویژگی های حاشیه راه (مانع، قنو)، ویژگی های راه (راستا و قوس)، اطلاعات تصادف (افراد درگیر، تجاوز به چپ، ROR، خودرو، محدودیت سرعت) و اطلاعات راننده (سن، جنسیت) است.

۴- نتایج مدلسازی

ضرایب و انحراف معیارهای استاندارد برای پیش بین ها در مدل لوجیت ترکیبی توسعه یافته برای سطوح مختلف شدت جراحت در جدول (۲) نشان داده شده است. جراحت خفیف به عنوان سطح پایه شدت برای مدل لوجیت ترکیبی تنظیم شد. برای بهبود پایداری عددی، تعداد نمونه برداری های هالتون برای ارزیابی تابع لگاریتم درستنمایی ۱۰۰۰ بود. همانگونه که جدول (۲) نشان می دهد، ضرایب تمام متغیرها منطقی و قابل قبول است. جدول (۳) اثرات حاشیه ای و انحراف معیارهای استاندارد به دست آمده برای متغیرها توسط مدل لوجیت ترکیبی برای سطوح مختلف شدت جراحت را نشان می دهد. جدول (۳) نشان می دهد که هنگام درگیر شدن در یک تصادف ROR، احتمال وقوع فوت یا جراحت شدید برای تصادفات ROR در برخورد با موانع حاشیه راه، در بارش و هنگام واژگونی بالاتر است.

می تواند بهترین انطباق را برای داده های شدت جراحت تصادف ارائه دهد (Cervick et al., 2014). برای برآورد مدل، روش حداکثر احتمال با ۱۰۰۰ کشش هالتون انجام شد که توسط محققان توصیه شده است (McFadden & Train, 2000). تأثیرات حاشیه ای نیز برای تعیین تأثیر پارامترهای برآورد شده بر شدت تصادفات استفاده شد. تأثیرات حاشیه ای، تفاوت های احتمال برآورد شده هستند زمانی که متغیرهای نشانگر از صفر به یک تغییر می کنند. برای محاسبه تأثیرات حاشیه ای، معادله زیر استفاده می شود.

$$E_{X_{ik}}^{P_i(j)} = P_i(j|X_{ik} = 1) - P_i(j|X_{ik} = 0) \quad (۴)$$

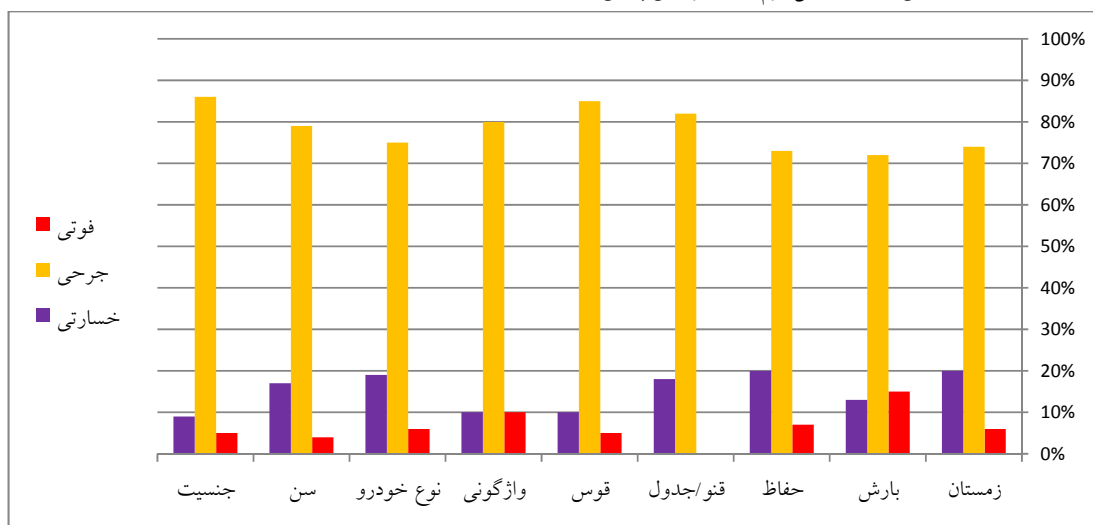
برای آزمون برازش مدل، معیار لگاریتم درستنمایی مطابق معادله (۵) استفاده شد.

$$LL = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \delta_{ij} \ln[P_i(j)] \quad (۵)$$

که J برابر با مجموع نتایج شدت تصادف، I برابر با مجموع مشاهدات و δ_{ij} برابر با ۱ است اگر نتیجه شدت تصادف در مشاهده i برابر با j باشد.

۳-۲- انتخاب متغیرها

شکل (۹) و جدول (۱) متغیرهایی را نشان می دهد که برای توضیح شدت تصادفات و توزیع های مشاهده شده آنها در سطوح شدت مختلف در مجموعه داده این تحقیق مرتبط هستند. از آنجا که مجموعه داده این تحقیق شامل فرم های گزارش پلیس



شکل ۹. آمار توصیفی متغیرهای معنادار دسته ای در مدل شدت تصادفات خروج از راه

جدول ۱. آمار توصیفی متغیرهای معنادار پیوسته در مدل شدت تصادفات خروج از راه

متغیرهای پیوسته	میانگین	خطای استاندارد	حداقل	حداکثر
موانع	۱,۵	۰,۷	۰	۴
سرعت مجاز	۹۸,۶	۲,۳	۶۰	۱۲۰
افراد درگیر	۱,۶	۰,۹	۱	۷

جدول ۲. مدل لوجیت ترکیبی برای شدت جراحات ناشی از تصادفات ROR

سطح شدت	متغیرها	ضریب	آزمون t	p-value
خسارتی	ثابت	۶,۸۹۰	۱۱,۰۶	< ۰,۰۰۱
	زمستان	۰,۵۰۲	۱,۸۵	۰,۰۶
	حفاظ	۰,۴۲۸	۱,۶۷	۰,۰۹
	نوع خودرو	۰,۶۸۳	۲,۰۴	۰,۰۴
جراحی خفیف	افراد درگیر	۱,۰۱۰	۷,۰۶	< ۰,۰۰۱
	جنسیت	-۰,۸۸۴	-۳,۳۸	< ۰,۰۰۱
	شب	-۰,۵۰۴	-۲,۰۸	۰,۰۴
	قوس	۰,۶۴۶	۱,۶۶	۰,۱۰
	سن	-۰,۰۱۷	-۲,۰۸	۰,۰۴
	ثابت	۱۴,۶۰۰	۳,۷۳	< ۰,۰۰۱
فوتی و جراحی شدید	سرعت مجاز	-۰,۰۷۹	-۲,۴۰	۰,۰۲
	واژگونی	۰,۶۴۶	۱,۵۹	۰,۱۱
	افراد درگیر	۱,۰۱۰	۷,۰۶	< ۰,۰۰۱
	تعداد مشاهدات	۱۵۲		
لگاریتم درستنمایی در همگرایی		-۴۶۴,۹۲۶		

تا حدی متفاوت است. علاوه بر واژگونی و تعداد افراد درگیر تصادفات ROR که در بالا ذکر شد، یافته‌های دیگری نیز وجود دارند که مشابه مطالعات قبلی (Roque et al., 2015) است. این عوامل شامل نقش زمستان در تصادفات ROR و سن راننده (رانندگان جوان و رانندگان مسن دچار جراحی شدیدتر می‌شوند) هستند. این مطالعه همچنین به بینش‌های جدیدی درباره تأثیر برخی متغیرها بر شدت جراحات ناشی از تصادفات ROR می‌افزاید. به‌طور خاص، استفاده از مدل ML اجازه می‌دهد تا شناسایی بهتری از تأثیر متغیرهای مختلف بر شدت جراحات ناشی از تصادفات ROR انجام شود و تأثیر عبور از قنوها و برخورد با موانع در یک تصادف ROR را شامل می‌شود، که قبلاً در مدل‌های شدت حذف می‌شدند. نتیجه مدل ML

مطابق مطالعات قبلی، نتایج برای واژگونی (ROR (Roque et al., 2015; Wu et al., 2014; Xie et al., 2012, Hu ROR (Donnell, 2010) و تعداد افراد درگیر در تصادفات ROR (Roque et al., 2015; Holdridge et al., 2005) نشان می‌دهد که هر دو رابطه مستقیمی با جراحات شدید و کشنده در تصادفات ROR دارند. رانندگان زن احتمال کمتری برای وقوع تصادفات PDO، جراحات شدید و کشنده ROR داشتند. از یک سو، این با یافته‌های وو و همکاران (Wu et al., 2014) و ژای و همکاران (Xie et al., 2012) هم‌خوانی دارد؛ از سوی دیگر، با نتایج به‌دست‌آمده توسط اشنايدر و همکاران (Schneider et al., 2009) که نشان دادند رانندگان زن احتمال بیشتری برای آسیب دیدن در تصادفات ROR دارند،

نبوده و سبب از بین رفتن تعادل وسیله نقلیه می‌شود. یافته‌های این نوع مطالعات برای تعیین اقدامات پیشگیرانه در مرحله طراحی و همچنین در مدیریت نگهداری دارایی مهم هستند. در مورد اول، می‌توان انتظار داشت که استفاده از طراحی قنوهای قابل عبور، حاشیه بخشنده راه و حفاظت موثر در خصوص موانع حاشیه راه، ایمنی راه‌هایی که در آن‌ها ساخته می‌شوند را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشد.

نشان می‌دهد که برخورد با مانع حاشیه راه، شدت تصادفات را افزایش می‌دهد. این امر منطقی است، زیرا ممکن است انرژی جنبشی بالایی در این تصادفات درگیر باشد و در این حالت، نواحی بیشتری از وسیله نقلیه آسیب می‌بیند یا برخوردهای بیشتری در همان ناحیه از وسیله نقلیه مقصر اتفاق می‌افتد. همچنین، نتیجه مدل ML نشان می‌دهد که عبور از یک قنو/جدول احتمال وقوع واژگونی در خروج از راه را افزایش می‌دهد. این به نظر منطقی می‌رسد، زیرا قنوها/جدول مسطح

جدول ۳. اثرات حاشیه‌ای و انحراف معیار استاندارد برای سطوح مختلف شدت جراحات ناشی از تصادفات ROR

شدت جراحی						
فوتی و جراحی شدید		جراحی خفیف		خسارتی		
متغیرها	تأثیر حاشیه‌ای	خطای استاندارد	تأثیر حاشیه‌ای	خطای استاندارد	تأثیر حاشیه‌ای	خطای استاندارد
زمستان	- ۰,۰۲۸۵	۰,۰۲۱۷	- ۰,۰۲۷۳	۰,۰۴۹۱	۰,۰۵۶۵	۰,۰۳۲۷
بارش	۰,۰۴۳۷	۰,۰۳۳۴	۰,۰۴۱۵	۰,۰۷۴۱	- ۰,۰۸۵۶	۰,۰۴۹۲
موانع	۰,۰۱۹۹	۰,۰۱۵۳	۰,۰۱۹۴	۰,۰۳۴۰	- ۰,۰۳۸۵	۰,۰۲۲۸
قنو/جدول	- ۰,۰۵۵۳	۰,۰۴۲۶	- ۰,۰۵۳۱	۰,۰۹۵۴	۰,۱۰۸۹	۰,۰۶۲۶
افراد درگیر	- ۰,۰۴۸۶	۰,۰۳۷۸	- ۰,۰۴۷۱	۰,۰۸۳۶	- ۰,۰۴۹۳	۰,۰۳۷۸
واژگونی	۰,۰۵۵۲	۰,۰۴۲۵	۰,۰۵۳۶	۰,۰۹۶۱	- ۰,۱۰۹۶	۰,۰۶۳۹
نوع خودرو	- ۰,۰۲۱۵	۰,۰۱۶۸	- ۰,۰۲۰۹	۰,۰۳۷۳	۰,۰۴۲۶	۰,۰۲۴۸
سن	- ۰,۰۲۷۳	۰,۰۲۱۵	- ۰,۰۲۷۱	۰,۰۴۷۳	۰,۰۵۳۹	۰,۰۳۲۱
جنسیت	- ۰,۰۳۵۸	۰,۰۲۷۴	۰,۱۶۵۳	۰,۰۶۳۴	- ۰,۱۲۹۱	۰,۰۷۵۳

۵- نتیجه‌گیری

حاشیه‌ای نیز برای تعیین تأثیر پارامترهای برآورد شده بر شدت تصادفات استفاده شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که: -واژگونی و افراد درگیر در تصادفات ROR رابطه مستقیمی با جراحات شدید و کشنده دارند. -رانندگان زن احتمال کمتری برای وقوع تصادفات PDO، جراحات شدید و کشنده ROR دارند. -رانندگان جوان و رانندگان مسن دچار جراحی شدیدتر می‌شوند. -در فصل زمستان احتمال بیشتری برای تصادفات شدیدتر ROR وجود دارد.

۶- پی‌نوشت‌ها

1. Run of Road
2. Mixed Logit

تحقیق حاضر به منظور تحلیل شدت تصادفات خروج از راه انجام شد. بدین منظور راه‌های برونشهری استان آذربایجان شرقی به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد و داده‌های تصادفات خروج از راه رخ داده این استان طی سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ از پلیس راه استان جمع‌آوری شد. از آنجا که مدل لوچیت ترکیبی (ML) منعطف بوده و ناهمگونی مشاهده نشده را در داده‌های تصادفات در نظر می‌گیرد به عنوان روش مدل‌سازی به کار گرفته شد. از آنجا که مجموعه داده تنها شامل گزارش‌های پلیس بود و اطلاعات تصادفات در فرم‌های مخصوص کام (۱۱۴) درج شده بود و این اطلاعات صرفاً چندین متغیر خاص را پوشش می‌دهد، لذا متغیرهای معنادار در نظر گرفته شده با توجه به اطلاعات فرم گزارش پلیس انتخاب شدند. این متغیرها شامل سن، جنسیت، واژگونی، فصل زمستان، بارش، حفاظ، قنو/جدول و قوس بودند. برآورد مدل، روش حداکثر احتمال با ۱۰۰۰ کشش هالتون انجام شد که توسط محققان توصیه شده است. تأثیرات

۷- مراجع

- Hong, J.; Tamakloe, R.; Park, D. A, (2019). Comprehensive Analysis of Multi-Vehicle Crashes on Expressways: A Double Hurdle Approach. *Sustainability* 2019, 11, 2782.
- Hu, W., Donnell, E. T., (2010). Median barrier crash severity: some new insights. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 1697–1704
- Islam, M. et al., (2022). An analysis of single-vehicle truck crashes on rural curved segments accounting for unobserved heterogeneity. *J. Safety Res.* 80, 148– 159.
- Islam, M., Pande, A., (2020). Analysis of single-vehicle roadway departure crashes on rural curved segments accounting for unobserved heterogeneity. *Transp. Res. Rec.* 2674 (10), 146–157.
- Jiang, F., Yuen, K-K-R., Eric Wai Ming Lee, E-W-M., Ma, J., (2020). Analysis of Run-Off-Road Accidents by Association Rule Mining and Geographic Information System Techniques on Imbalanced Datasets, *Sustainability* 2020, 12, 4882.
- Lord, D., Qin, X., Geedipally, S., (2021). Highway Safety Analytica and Modeling, *Elsevier*. ISBN: 978-0-12-816818-9.
- McFadden, D., Train, K, (2000). Mixed MNL models for discrete response, *J. Appl. Econ.* 15, 447–470.
- Milton, J.C., Shankar, V.N., Mannering, F., (2008). Highway accident severities and the mixed logit model: an exploratory empirical analysis. *Accid. Anal. Prev.* 40 (1), 260-266.
- Rejali S., Kayvan Aghabayk, K., Seyfi, M-A., Oviedo-Trespalacios, O., (2024). Assessing distracted driving crash severities at New York City urban roads: A temporal analysis using random parameters logit model, *IATSS Research* 48, 147–157.
- Roque, C., Moura, F., Cardoso, J.L., (2015). Detecting unforgiving roadside contributors through the severity analysis of ran-off-road crashes. *Accident Analysis & Prevention* 80, 262–273.
- Savolainen, P., Mannering, F., Lord, D., Quddus, M. (2011). The statistical analysis of highway crash-injury severities: a review and assessment of methodological alternatives. *Accident Analysis and Prevention* 43 (5), 1666–1676.
- Al-Bdairi, N.S.S.; Hernandez, S., (2017). An empirical analysis of run-off-road injury severity crashes involving large trucks. *Accid. Anal. Prev.* 102, 93–100.
- Amirhossein Abdi, A., O’Hern, S., (2024). Investigating the severity of single-vehicle truck crashes under different crash types using mixed logit models, *Journal of Safety Research*, 88, 344–353.
- Casado-Sanz, N.; Guirao, B.; Attard, M., (2020). Analysis of the Risk Factors Affecting the Severity of Traffic Accidents on Spanish Crosstown Roads: *The Driver’s Perspective*. *Sustainability* 2020, 12, 2237-2238.
- Cerwick, D.M., Gkritza, K, Shaheed, M.S., Hans, Z., (2014). A comparison of the mixed logit and latent class methods for crash severity analysis, *Anal. Methods Accid. Res.* 3, 11–27.
- Chen, F., Chen, S., (2011). Injury severities of truck drivers in single-and multi-vehicle accidents on rural highways. *Accid. Anal. Prev.* 43(5), 1677-1688.
- Dirnbach, I. Kubjatko, T. Kolla, E. Ondruš, J. Šarić, Ž., (2020). Methodology Designed to Evaluate Accidents at Intersection Crossings with Respect to Forensic Purposes and Transport Sustainability. *Sustainability* 2020, 12, 1972.
- Eboli, L. Forciniti, C. (2020). The Severity of Traffic Crashes in Italy: An Explorative Analysis among Different Driving Circumstances. *Sustainability* 2020, 12, 856.
- Esmaili, A., Aghabayk, K., Shiwakoti, N., (2022). Latent Class Cluster Analysis and Mixed Logit Model to Investigate Pedestrian Crash Injury Severity, *Sustainability* 2023, 15, 185.
- Gong, L.; Fan, W. (David). (2017). Modelling single-vehicle run-off-road crash severity in rural areas: Accounting for unobserved heterogeneity and age difference. *Accid. Anal. Prev.* 101, 124–134.
- Holdridge, J., Shankar, V., Ulfarsson, G., (2005). The crash severity impacts of fixed roadside objects. *Journal of Safety Research*, 36 (2), 139–147.

- Washington, S., Karlaftis, M.G., Mannering, F., Anastasopoulos, P., (2020). Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis, *CRC press*.
- WHO. Global Status Report on Road Safety 2018 (World Health Organization (WHO)).
- Wu, Q., Chen, F., Zhang, G., Liu, X. C., Wang, H., Bogus, S. M. (2014), Mixed logit model-based driver injury severity investigations in single- and multi-vehicle crashes on rural two-lane highways. *Accident Analysis and Prevention*, 72, 105–115.
- Xie, Y., Zhao, K., Huynh, N., (2012). Analysis of driver injury severity in rural single- vehicle crashes. *Accident Analysis and Prevention* 47, 2012, 36–44.
- Schneider, W., Savolainen, P., Zimmerman, K., (2009). Driver injury severity resulting from single-vehicle crashes along horizontal curves on rural two-lane highways. *Transportation Research Record*. 2102, 85–92.
- Seyfi, M.A., Aghabayk, K., Karimi Mamaghan, A.M., Shiwakoti, N., (2023). Modeling the motorcycle crash severity on nonintersection urban roadways in the Australian State of Victoria using a random parameters logit model, *J. Adv. Trans.*, 2, 1-12.
- Train, K. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge University Press, New York, NY.
- Wang, J. Lu, H.; Sun, Z. Wang, T. Wang, K., (2020). Investigating the Impact of Various Risk Factors on Victims of Traffic Accidents. *Sustainability* 2020, 12, 3934.

Analysis of the Severity of Run-Off-Road Crashes Using a Mixed Logit Model

*Hamed Saify, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University,
Tehran, Iran.*

E-mail: hamedsaify@pnu.ac.ir

Received: January 2025- Accepted: April 2025

ABSTRACT

Run-off-road (ROR) Crashes are one of the most significant types of road Crashes, yet there has been limited research on this subject. This study aims to analyze the severity of ROR Crashes by examining a dataset of Crashes over a three-year period (2021 to 2023) on rural roads in East Azarbaijan Province using a mixed logit model (ML), also known as a random parameter logit model. The mixed logit model is highly flexible as it can estimate any random effects model. This flexibility allows for heterogeneous effects and correlation in unobserved factors. To estimate the model, the maximum likelihood method was used with 1000 Halton draws, and marginal effects were calculated to determine the impact of the estimated parameters on Crash severity. Additionally, the log-likelihood ratio was employed to test the model's fit. Due to dataset limitations, variables such as winter season, precipitation, roadside obstacles, presence of guardrails, individuals involved in Crashes, rollovers, vehicle type, age, and gender were considered significant. The modeling results indicate that the variables of individuals involved, rollover, extreme ages of passengers (young and elderly), and the winter season have a direct relationship with more severe injuries in ROR Crashes.

Keywords: Crashes, Modeling, Run-Off-Road, Mixed Logit Model