

## ارائه رویکردی مکانمند جهت قطعه‌بندی و تحلیل فراوانی تصادفات در راه‌های

### دوخطه دوطرفه برون‌شهری با استفاده از الگوریتم رگرسیون پواسون

میثم عفتی (مسئول مکاتبات)، دانشیار، گروه مهندسی راه و ترابری، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، ایران

**E-mail: meysameffati@guilan.ac.ir**

امیرمحمد رمضانپور، کارشناس ارشد، گروه مهندسی راه و ترابری، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، ایران

پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۹

دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۵

#### چکیده

محققان از انواع قطعه‌بندی‌های ثابت و متغیر در مدل‌های فراوانی تصادف برای مطالعات ایمنی در راه‌های برون‌شهری استفاده نموده‌اند. تحقیقات انجام‌شده حاکی از آن است که در حوزه ایمنی مسیرهای برون‌شهری و بخصوص تحلیل عوامل مؤثر در فراوانی تصادفات قطعات حادثه‌خیز، قطعه‌بندی پویا نتایج بهتری ارائه می‌دهد. به‌طورکلی، هدف از تجزیه‌وتحلیل ایمنی قطعه‌های راه برون‌شهری، تسهیل طراحی استراتژی‌های مقابله‌ای مؤثر و کارآمد برای بهبود ایمنی با تعیین متغیرهای مؤثر مرتبط با تصادفات برای کاربران این نوع راه‌ها است. لذا، هدف این تحقیق ارائه رویکردی مکانمند مبتنی بر GIS به‌منظور قطعه‌بندی پویای راه‌های دوخطه-دوطرفه برون‌شهری و تعیین عوامل مؤثر بر فراوانی تصادفات این قطعه‌ها با تأکید بر متغیرهای مرتبط با هندسه و آب‌وهوای راه است. بدین منظور مدل پواسون با پارامتر تصادفی بر روی داده‌های تصادف سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ قطعات پویای خروجی فاز قطعه‌بندی پیشنهادی در محور دوخطه-دوطرفه لوشان-قزوین اعمال شد. نتایج ضمن اثبات کارایی روش قطعه‌بندی پیشنهادی در قطعات موردبررسی، نشان داد که نوع میانه دوطرفه مجزا، موقعیت مکانی تصادف، باند سواره‌رو، آب‌وهوای صاف، عجله و شتاب بی‌مورد راننده و تصادف وسیله نقلیه با شیء ثابت به ترتیب با اثر حاشیه‌ای  $۰.۸/۳۰۴$ ،  $۰.۴/۷۶۳$ ،  $۰.۳/۸۲۵$ ،  $۱/۹۰۹$  و  $۱/۲۰۵$  بیشترین تأثیر را بر فراوانی تصادفات دارند.

واژه‌های کلیدی: فراوانی تصادفات، رگرسیون پواسون با پارامتر تصادفی، قطعه‌بندی پویا، ایمنی تصادفات، GIS

## ۱. مقدمه و ادبیات پژوهش

استفاده از نرم افزار GIS می تواند کمک بسیاری در تحلیل و دسته بندی این اطلاعات بنماید.

چندین مطالعه با استفاده از روش قطعه بندی ثابت، به پیش بینی فراوانی تصادف پرداخته اند (Shankar, Mannering & Barfield, 1995, Cenek et al., 1997, Cafiso, D'Agostino & Persaud, 2018). شانکار و همکاران (1995) فراوانی تصادفات آزادراه های برون شهری را با روش قطعه بندی ثابت بررسی نمودند. بر اساس این پژوهش استفاده از قطعات با طول ثابت به جای قطعات با خصوصیات هندسی یکنواخت، منجر به کاهش خطای ناشی از مکان یابی تصادفات و بهبود دقت تحلیل های آماری می شود. سنک و همکاران (1997) به پیش بینی تصادفات راه های برون شهری با روش قطعه با طول ثابت (طول ثابت قطعه ۰/۲ کیلومتر) پرداختند. طبق نتایج مطالعه طول قطعه کوتاه تر اطلاعات دقیق تری از هندسه جاده را دربر خواهد داشت اما از سوی دیگر نیازمند داده ها و محاسبات بیشتری خواهد بود. قطعه با طول بلندتر تجزیه و تحلیل را ساده تر می کند اما به باعث از بین بردن برخی اطلاعات و ایجاد اشتباهات نیز خواهد شد. کافیزو و همکاران (2018) نیز پنج معیار تقسیم بندی را برای بزرگراه ها مقایسه و بررسی نمودند و دریافتند که قطعه با طول ثابت می تواند نتیجه خوبی به همراه داشته باشد اما اگر طول قطعه پر تصادف، بیشتر و یا کمتر از طول هر قطعه مشخص شده باشد، طول قطعه پر تصادف باید متناسب با گستردگی علل تصادف در طول مسیر تعیین شود و ثابت فرض کردن طول قطعات در مرحله بررسی این احتمال را دارد که فرآیند شناسایی قطعات پر تصادف را دچار خطا و انحراف کند که این مسئله توسط قطعه بندی پویا برطرف می شود. تحقیقات گذشته نشان داده اند که انتخاب طول قطعه به شکل قابل توجهی در شناسایی مکان های تصادف تأثیر می گذارد (Cook, Souleyrette & Jackson, 2011). گیر و همکاران (2008)، با جمع بندی داده های کالیفرنیا در کشور آمریکا دریافتند که طول قطعه می تواند بر شناسایی فراوانی تصادف تأثیر بسزایی بگذارد (Geyer et al., 2008). طول

با رشد سریع جمعیت و افزایش نیاز به جابجایی در سراسر جهان، استفاده از رویکردهای مکانمند مبتنی بر کاوش رویدادهای پیشین به منظور ارتقا ایمنی جاده ای ضروری است. تاکنون تلاش های فراوانی توسط محققین و سازمان های مختلف به منظور واکاوی داده های تصادفات و افزایش ایمنی صورت گرفته است، اما تعداد کشتگان و مصدومان ناشی از تصادفات جاده ای به طور پیوسته در حال افزایش است (Lord & Mannering, 2010, Gutierrez & Pedraza, 2020, Lian et al., 2020, Sawtelle et al., 2022).

طبق گزارش مرکز آمار ایران، در راه های برون شهری، تعداد تصادفات در سال ۱۳۹۴ برابر ۱۳۸۱۷۲ تصادف بوده که ۹۷۹۲ تصادف منجر به فوت، ۷۳۲۴۸ منجر به جرح و ۵۵۱۳۲ تصادف منجر به خسارت شده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۴). لذا ضروریست تصادفات برون شهری با رویکردی جدید مورد تحلیل توصیفی و مکانی قرار گیرد. در این راستا محققان مختلفی از فناوری اطلاعات مکانی (GIS) برای شناسایی الگوهای مکانی و زمانی تصادفات جاده ای استفاده کرده اند (Effati, Rajabi & Shabani, 1391, Effati et al., 1393, Hosseinlu & Ghiasi, 1391). فناوری GIS توانایی نشان دادن مکان دقیق داده های تصادفات را با استفاده از اطلاعات مکانی تصادفات رخ داده دارد (Derehi and Erdogan, 2017). نقشه های عادی که تنها نقاط تصادف را نشان می دهند، امکان بیان دقیق چگونگی توزیع تصادفات را ندارند. هر تصادف به صورت یک نقطه مشخص می شود و شناسایی الگوی دقیق تصادفات امکان پذیر نیست. با اینکه شکل کلی تصادفات در این گونه نقشه ها مشخص است اما تعریف دقیق محل نقاط مستعد خطر امکان پذیر نیست زیرا تأثیر هر تصادف بر محیط پیرامونی و همچنین تصادفات مجاور لحاظ نمی گردد؛ بنابراین تحلیل مکانی داده های تصادف به عنوان اولین و مهم ترین قدم در شناسایی نقاط تصادف شناخته می شود که

## ارائه رویکردی مکانمند جهت قطعه‌بندی و تحلیل فراوانی تصادفات در راه‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری با استفاده از الگوریتم

### رگرسیون پواسون

(Effati, 2019). بررسی روابط فراوانی تصادف و متغیرهای مستقل مؤثر می‌تواند به شناسایی عواملی کمک کند که با توجه به قطعه‌بندی مسیر، مؤثرترین فاکتورها در فراوانی تصادفات و تحلیل ایمنی را مشخص نماید. اکثر تحقیقات قبلی در مورد ایمنی تصادفات از معیارهای فراوانی تصادف تک متغیره یا دو متغیره استفاده کرده‌اند که هیچ تمایزی بین عوامل مؤثر در فراوانی ایجاد نمی‌کند. مدل پیشنهادی این تحقیق از مدل‌سازی چند متغیره استفاده می‌کند که امکان تعیین چگونگی تأثیر عوامل متعدد بر فراوانی تصادف و همچنین مدل‌سازی اهمیت نسبی اثرات را می‌دهد.

پارک و لرد (۲۰۰۷) رویکرد جدید رگرسیون چند متغیره پواسون لگ نرمال<sup>۱</sup> را برای بررسی فراوانی تصادف قطعات پیشنهاد دادند. روش مذکور برای شمارش چند متغیره تصادفات قطعات در کالیفرنیا به مدت ۱۰ سال اعمال گردید (Park & Lord, 2007). چیو و فو (۲۰۱۳) مدل یکپارچه پواسون تعمیم‌یافته چندجمله‌ای<sup>۲</sup> (MGP) را برای تجزیه و تحلیل هم‌زمان فراوانی و شدت تصادف پیشنهاد دادند. نتایج نشان داد که مدل پیشنهادی، شاخص‌های خوبی برازش و دقت پیش‌بینی را دارد. علاوه بر این، نتایج تخمین نشان می‌دهد که عوامل مؤثر در فراوانی و شدت تصادف به‌طور قابل‌توجهی متفاوت است و استراتژی‌های بهبود ایمنی بر اساس نتایج مدل پواسون می‌تواند پیشنهاد شود (Chiou & Fu, 2013). ساها و همکاران (۲۰۲۰) از مدل‌های لگ نرمال پواسون چند متغیره بیز برای تخمین فراوانی تصادف مورد انتظار برای سطوح مختلف شدت تصادف استفاده و سپس آن تخمین‌ها را با تخمین‌های مستقل یا تک متغیره پواسون مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که مدل لگ نرمال پواسون چند متغیره بهتر از مدل تک متغیره با مدل‌سازی تصادفات مطابقت دارد و دقت برآورد فراوانی تصادف را بهبود می‌بخشد (Saha et al., 2020).

تقسیم‌بندی راه‌ها به قطعات کوتاه‌تر، امکان تحلیل دقیق‌تر در مورد فراوانی تصادفات را فراهم می‌کند. با تجزیه و تحلیل

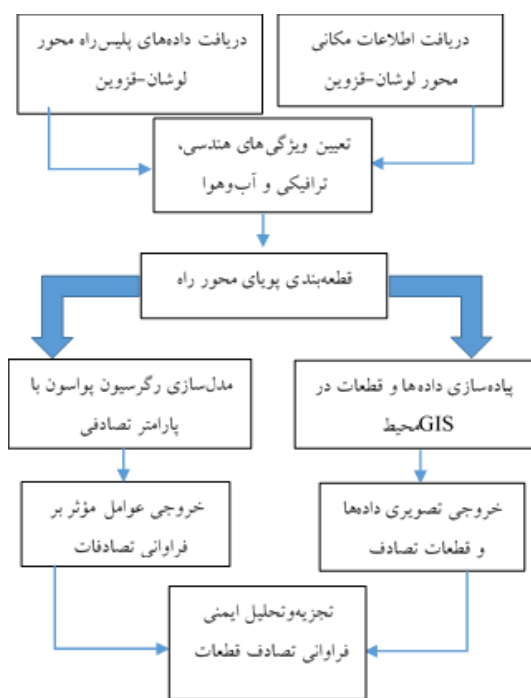
قطعه بلند و کوتاه می‌تواند در نتایج تجزیه و تحلیل ایمنی راه تأثیرگذار باشد (Lu et al., 2013). به‌عنوان مثال، اگر طول قطعات بر اساس ویژگی‌های راه انتخاب شوند، در مسیرهای با دسترسی محدود ممکن است منجر به قطعات بسیار طولانی شود زیرا تنوع کمی در ویژگی‌ها در مسافت‌های طولانی وجود دارد. با این حال، استفاده از قطعه‌های طولانی برای تجزیه و تحلیل ممکن است به دو دلیل نامناسب باشد: بهبود آن‌ها به دلیل طولانی بودن از نظر اقتصادی غیرعملی است و همچنین ممکن است فقط بخش کوچکی از قطعات نیاز به بهبود داشته باشند.

برخی مطالعات به بررسی فراوانی تصادفات با استفاده از قطعه‌بندی پویا نمودند (Abdel-Aty & Radwan, 2000, Cafiso et al., 2008, American Association of State Highway & Transportation Officials, 2010, Borsos, Ivan & Orosz, 2016). عبدال‌اتی و رادان (2000) بر اساس همگنی هندسه راه و مشخصات جریان ترافیک، یک راه شریانی به طول ۲۲۷ کیلومتر را به ۵۶۶ قطعه تقسیم نمودند. در ادامه، کافیزو و همکاران (2008) به تقسیم‌بندی بزرگراه‌های برون‌شهری دوخطه بر اساس همگنی هندسه راه و مشخصات جریان ترافیک پرداختند. راهنمای ایمنی بزرگراه (AASHTO) یک روش همگن را با استفاده از AADT، تعداد خطوط، عرض خط یا میانه، عرض یا نوع شانه، انحنای تراکم مسیر، رتبه‌بندی خطر کنار راه و عرض منطقه امن به‌عنوان متغیرهای بالقوه پیشنهاد داده است. بروس و همکاران (2016) یک بزرگراه به طول ۹۱۹ کیلومتر را با توجه به همگنی AADT و هندسه راه به ۱۳۵۷ قطعه تقسیم نمودند و طول قطعات از ۰/۲ کیلومتر تا ۶/۲ کیلومتر متغیر بود و به این نتیجه رسیدند که قطعه‌بندی پویا تحلیل بهتری در مسیرهای برون‌شهری را به ارمغان می‌آورد.

در دهه‌های اخیر مطالعات تحقیقاتی مربوط به تجزیه و تحلیل تصادف با افزایش محبوبیت مواجه شده‌اند و تعداد مقاله‌ها در این زمینه طی چهار دهه گذشته افزایش یافته است (Hasan et al., 2022, Mittal et al., 2022, Infante et al., 2022, Wang et al., 2022, Effati & Saheli, 2022, Saheli فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال شانزدهم / شماره اول (۶۲) / پاییز ۱۴۰۳

پلیس راه تهران دریافت گردیده است. یک پایگاه داده در محیط اکسل شامل اطلاعات مربوط به عوامل مکانی، هندسه راه، عوامل ترافیک و آب و هوا ایجاد شد. مراحل کلی این تحقیق شامل قطعه‌بندی محور لوشان-قزوین، جانمایی داده‌های تصادفات پیشین رخ داده در محیط GIS، جانمایی قطعه‌بندی انجام شده در محیط GIS، تعیین متغیرهای موردنظر در فراوانی تصادف، تعیین متغیرهای آماری معنی دار جهت تحلیل در الگوریتم، تحلیل پراکندگی محل تصادفات و قطعه‌بندی مکانی مسیر، تعیین عوامل مؤثر بر فراوانی تصادف قطعات و تحلیل ایمنی فراوانی تصادفات قطعات است. در شکل ۱ چهارچوب کلی روش پیشنهادی تحقیق نمایش داده شده است.

به صورت کلی در روش مورداستفاده این تحقیق، ابتدا محور مورد مطالعه با ارائه یک روش مبتنی بر قطعه‌بندی پویا به ۳۸ قطعه تقسیم می‌شود. سپس در سال‌های مختلف، از هر قطعه بردارهای ویژگی‌ای شامل متغیرهای آب و هوایی، ترافیکی و هندسی استخراج می‌شود. به طور مثال بردار ویژگی متغیر سرعت باد در هر قطعه و هرسال، میانگین سرعت بادهای مشاهده شده در تصادفات ثبت شده در آن قطعه و بازه زمانی است.



شکل ۱. روش پیشنهادی تحقیق

اطلاعات فراوانی تصادفات در قطعات کوچک‌تر، می‌توان مناطقی را شناسایی کرد که به دلیل شرایط خاصی مانند شیب زیاد، نورپردازی نامناسب، نوع میانه یا حضور مانع در مسیر و ... برای رانندگان خطرناک هستند (Akbari et al., 2020). به این ترتیب، می‌توان از قطعه‌بندی راه‌ها به عنوان یک ابزار مؤثر برای تحلیل ایمنی در جاده‌ها و کاهش تعداد تصادفات استفاده کرد. تحلیل تصادفات پیشین رخ داده در قطعات محور کمک می‌کند تا عوامل مختلفی که بر فراوانی تصادفات در تمام قطعات راه تأثیر می‌گذارند را شناسایی کرده و برای افزایش ایمنی در جاده‌ها تدابیر لازم اتخاذ شود (Sarker et al., 2017, Roy, Roy, Farid & Ksaibati, 2022, Pervaz, Bhowmik & Eluru, 2022, Mathew, Pulugurtha & Duvvuri, 2022, Atumo et al., 2023, Iranmanesh et al., 2022).

به طور کلی، بسیاری از تحقیقات گذشته در مورد تصادفات یا فراوانی تصادفات مربوط به قطعه‌بندی ثابت و استاتیک بودند. تحقیقات مربوط به رابطه بین فراوانی تصادف و ویژگی‌های مستقل در قطعه‌بندی پویا بسیار محدود است. علاوه بر این، تعداد بسیار کمی از محققان اطلاعات مبتنی بر مکان و تحلیل مکانی را در مدل‌سازی تصادفات ارزیابی کردند. تحقیقات موجود به طور گسترده تأثیر متغیرهای مختلف بر شدت تصادفات را بررسی نموده‌اند در حالی که این آمار برای فراوانی تصادفات محدود است. با این حال، به منظور بررسی روش‌های کارآمد در بهبود ایمنی عوامل مؤثر فراوانی تصادفات تقسیم‌بندی شده بر اساس روش پویا، تحقیقات بیشتری مورد نیاز است. به این ترتیب، این مطالعه تلاش می‌کند تا با ارائه رویکردی مکانمند تأثیرات عوامل ترافیکی، آب و هوایی و هندسی بر فراوانی تصادفات در قطعات راه دو خطه-دوطرفه برون‌شهری را تحلیل کند.

## ۲. روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، محور لوشان-قزوین در کشور ایران بوده است. داده‌های تصادفات سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ از

ارائه رویکردی مکانمند جهت قطعه‌بندی و تحلیل فراوانی تصادفات در راه‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری با استفاده از الگوریتم

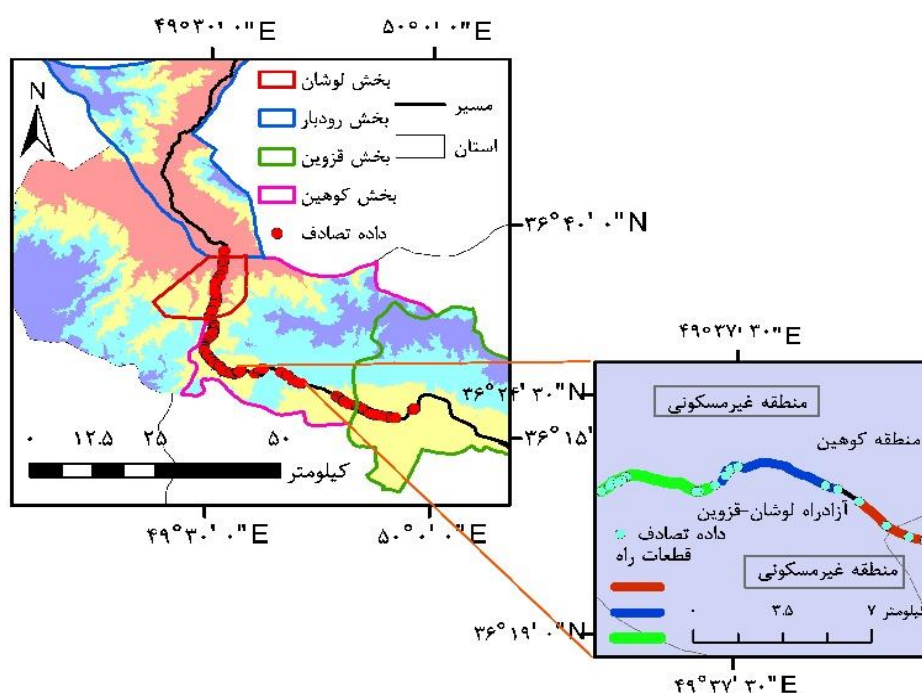
### رگرسیون پواسون

گردیدند که از نظر آماری معنادار بودند. این روش انتخاب متغیر در مطالعات متعددی کاربرد داشته است (Roshandeh, Agbelie & Lee, 2016, Anastasopoulos & Mannering, 2011, Seraneeprakan et al., 2017, Li, Park & Lambert, 2017). به‌عنوان نمونه، از آنجایی که حدود ۸۸ درصد تصادفات در بازه زمانی روز رخ داده‌اند (جدول ۱). برای متغیر بازه زمانی روز به‌عنوان توصیف‌کننده اصلی تأثیر ویژگی زمانی در تصادفات جاده‌ای کد یک و برای سایر شرایطی زمانی کد صفر در نظر گرفته شد. به همین ترتیب در هر مجموعه ویژگی، تنها متغیری در مدل حفظ گردید که دارای بیشترین فراوانی است. از آنجایی که همبستگی<sup>۳</sup> بالا بین زیرمجموعه‌های یک پارامتر، در عملیات ریاضی محاسبات مدل نتیجه مناسبی فراهم نمی‌آورد، بهتر است زیرمجموعه‌های دارای فراوانی کمتر از مجموعه داده‌ها حذف شوند (Srinivasan, 2019, Frost, 2017)؛ بنابراین برای جلوگیری از ابهام‌ها، پیچیدگی‌ها و بیش‌برازش<sup>۴</sup> در تحلیل داده‌ها، متغیر اصلی هر ویژگی (بیشترین فراوانی در هر زیرمجموعه) برای مدل‌سازی فراوانی تصادفات استفاده گردید. همچنین در نظر نگرفتن این متغیرها به معنای حذف کاملشان نیست و در تحلیل داده‌ها، پس از نشان دادن تأثیر ویژگی‌های نگه‌داشته شده برای توسعه مدل، اثرات سایر زیرمجموعه‌ها نیز قابل‌تحلیل و توصیف می‌باشند. در این راستا از مجموع ۳۰ متغیر موجود، ۱۲ متغیر به‌عنوان متغیرهای مستقل مؤثر بر فراوانی تصادفات راه انتخاب گردیدند. به‌منظور بررسی اثرات ایمنی در کل قطعات راه، هر قطعه به‌عنوان یک مشاهده در نظر گرفته شد. در همین حال، فراوانی تصادف هر قطعه برای هر سال نیز به‌عنوان یک مشاهده برای ۳۸ قطعه در نظر گرفته شد و ۲۱۲ رکورد ایجاد شد زیرا هر قطعه دارای ۶ سال داده تصادف (۱۶ قطعه در تعدادی از سال‌ها داده تصادف نداشته‌اند) است. متغیرهای انتخاب‌شده در مدل نهایی آن‌هایی هستند که از نظر آماری معنی‌دار بوده‌اند که در جدول ۱ نمایش داده شده‌اند.

سپس این بردار ویژگی‌ها به‌عنوان ورودی به مدل رگرسیون پواسون داده می‌شوند و با توجه به تعداد و فراوانی تصادفات و همچنین اهمیت ویژگی‌ها، نتایج خروجی را تولید می‌کند. در نتیجه، این روش با استفاده از بردار ویژگی‌ها، توانسته است ویژگی‌های تصادفات را برای هر قطعه در هر سال تحلیل کند و اهمیت هر ویژگی را در تولید خروجی مدل مشخص کند.

### ۳. داده و متغیرهای پژوهش

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، محور لوشان-قزوین در کشور ایران بوده است. داده‌های تصادفات سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ از پلیس راه تهران دریافت گردیده است. یک پایگاه داده در محیط اکسل شامل اطلاعات مربوط به عوامل مکانی، هندسه راه، عوامل ترافیک و آب‌وهوا ایجاد شد. مراحل کلی این تحقیق شامل قطعه‌بندی محور لوشان-قزوین، جانمایی داده‌های داده‌های مورد استفاده در این مطالعه به تعداد ۱۵۵۲ مورد، مربوط به سوابق شش سال تصادف (۱۳۹۰-۱۳۹۵) آزادراه برون‌شهری لوشان-قزوین است که توسط پلیس راه و سازمان هواشناسی در اختیار محققین قرار گرفت. تصویر موقعیت راه برون‌شهری لوشان-قزوین در شکل ۲ نمایش داده شده است. همچنین در این تحقیق از داده‌های طرح هندسی محور در فرمت GIS و کاربری‌ها و مدل رقومی ارتفاعی منطقه استفاده شده است. متغیرهای موجود در داده‌های مأخوذه از پلیس راه شامل شدت تصادفات، آب‌وهوا، زمان تصادف، میدان دید، سرعت باد، میزان بارش باران، عمق برف، دمای هوا، وضعیت روشنایی، وضعیت سطح جاده، نوع تصادف، زاویه برخورد، عامل انسانی تصادف، علت تصادف اولیه، علت تصادف ثانویه، علت مستقیم، پستی و بلندی منطقه، نوع روسازی، محل تصادف، نوع شانه، عرض راه، نوع میانه، نوع خط‌کشی، کاربری زمین، سرعت مجاز، مانع دید، تعمیرات راه، وجود تقاطع، حضور عامل تصادف در صحنه و نقص علائم راهنمایی و رانندگی است. در این مطالعه ضمن محاسبه فراوانی متغیرها، برای طراحی مدل، متغیرهایی انتخاب



شکل ۲. موقعیت داده‌ها و قطعه‌های تصادف در محور مورد مطالعه

### ۱-۳ تعیین قطعه‌های راه

با تطبیق مجموعه داده‌های هواشناسی و پلیس راه، این مطالعه یک پایگاه داده یکپارچه ایجاد نمود که شامل 6 سال (۱۳۹۰-۱۳۹۵) تصادفات، ویژگی‌های خاص راه، شرایط ترافیکی و آب‌وهوا برای مسیر است. قطعه‌بندی یکپارچه راه بر اساس نوع میانه، عرض راه و نوع خط‌کشی، یک روش علمی برای تحلیل ایمنی، بهره‌وری و جریان ترافیک است.

نوع میانه به جداسازی مناطق ترافیکی کمک می‌کند، عرض راه باید مناسب بر اساس شرایط محیطی و ترافیک باشد و نوع خط‌کشی مناسب، به الگوهای جدایی و هدایت ترافیک کمک می‌کند. این عوامل در کنار هم جریان ترافیک یکدست و یکپارچه‌ای ارائه می‌دهند که مناسب قطعه‌بندی است (Hosseinpour et al., 2018). سپس محور مورد مطالعه بر اساس متغیرهای نوع میانه، عرض راه و نوع خط‌کشی به قطعه‌های همگن تقسیم شد تا اطمینان حاصل شود که هر قطعه با توجه به این ویژگی‌ها یکنواخت است.

جدول ۱. اطلاعات آماری متغیرهای انتخاب شده

متغیر	میانگین	انحراف معیار (STD)	حداقل	حداکثر	توضیح متغیر
سرعت باد	4/729210319	2/370078094	0	14	متر بر ثانیه
دمای هوا	14/06960511	7/640006895	-6/9	32	درجه سلسیوس
فراوانی تصادفات	7/320754717	6/78029927	1	51	تعداد تصادف در قطعه
میانه دوطرفه مجزا	0/863207547	0/344441432	0	1	اگر هست ۱ وگرنه ۰
خط‌کشی مقطع	0/872641509	0/334163175	0	1	اگر هست ۱ وگرنه ۰
آب‌وهوای صاف	0/948113208	0/222323419	0	1	اگر هست ۱ وگرنه ۰
تصادفات رخ داده در روز	0/877358491	0/32880165	0	1	اگر هست ۱ وگرنه ۰

## ارائه رویکردی مکانمند جهت قطعه‌بندی و تحلیل فراوانی تصادفات در راه‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری با استفاده از الگوریتم

### رگرسیون پواسون

متغیر	میانگین	انحراف معیار (STD)	حداقل	حداکثر	توضیح متغیر
سطح روسازی خشک	0/95754717	0/202097116	0	1	اگر هست ۱ وگرنه ۰
برخورد با شیء ثابت	0/528301887	0/500379897	0	1	اگر هست ۱ وگرنه ۰
عجله و شتاب بی‌مورد	0/533018868	0/500089413	0	1	اگر هست ۱ وگرنه ۰
محل تصادف باند سواره‌رو	0/971698113	0/16622643	0	1	اگر هست ۱ وگرنه ۰
شانه آسفالته	0/712264151	0/453778832	0	1	اگر هست ۱ وگرنه ۰
کاربری زمین غیرمسکونی	0/806603774	0/395895737	0	1	اگر هست ۱ وگرنه ۰

منفی<sup>۱</sup>، رگرسیون پواسون تورم صفر<sup>۷</sup> و دوجمله‌ای منفی با تورم صفر<sup>۸</sup>، برای مدل‌سازی داده‌های شمارش استفاده شده است. در چارچوب پواسون، احتمال  $P(\gamma_k)$  قطعه  $k$  که تصادفات  $\gamma_k$  در سال داشته باشد به صورت زیر نشان داده شده است.

$$P(\gamma_k) = \exp(-\phi_k) \phi_k^{\gamma_k} / \gamma_k! \quad (۱)$$

که در آن  $\phi_k$  پارامتر پواسون اختصاص داده شده برای قطعه  $k$  است که فراوانی‌های تصادف مورد انتظار قطعه  $k$ ،  $E(\gamma_k)$  است. به‌طورکلی، رگرسیون پواسون پارامتر فراوانی تصادف  $\phi_k$  را به‌عنوان تابعی از متغیرهای مستقل با استفاده از یک تابع  $\log$ -linear مشخص می‌کند.

$$\phi_k = \exp(aX_k) \quad (۲)$$

درجایی که  $a$  بردار پارامترهای قابل تخمین است،  $X_k$  بردار متغیرهای مستقل است (Washington, Karlaftis & Mannering, 2011). گرین (۲۰۰۷) یک روش تخمین (با استفاده از تخمین حداکثر احتمال شبیه‌سازی شده) برای ترکیب پارامترهای تصادفی در مدل‌های داده‌های شمارش ایجاد کرد (Greene, 2007). برای توسعه یک مدل پارامتر تصادفی که ناهمگنی مشاهده نشده احتمالی در سراسر قطعه‌ها را محاسبه می‌کند، پارامترهای قابل تخمین فردی به صورت زیر نوشته می‌شوند.

$$a_i = a + \omega_i \quad (۳)$$

که در آن  $\omega_i$  رابط کاربری یک عبارت توزیع شده تصادفی برای هر قطعه  $i$  است. محبوب‌ترین رویکرد شبیه‌سازی از هالتون<sup>۹</sup> استفاده می‌کند که توزیع کارآمدتری از روش‌ها را برای ادغام

داده‌های مرتب‌شده مختصاتی داده‌های تصادفات پیشین محور مورد مطالعه در محیط برنامه‌نویسی پایتون فراخوانی می‌گردد. روند روش پیشنهادی تحقیق بدین صورت است که مدل توسعه داده شده ویژگی‌های (نوع میانه، عرض راه و نوع خط‌کشی) موردنظر داده اول را برداشت کرده و آن را در قطعه یک قرار می‌دهد. داده دوم اگر تمام ویژگی‌های داده قبل را داشته باشد در قطعه یک و در غیر این صورت در قطعه دوم قرار می‌گیرد. به همین ترتیب تمام داده‌ها بر اساس سه ویژگی مطرح شده بررسی و قطعه‌بندی یکپارچه مسیر انجام می‌گیرد.

در نهایت قطعه‌های یکنواخت ایجاد شده در محیط GIS به نمایش درمی‌آیند. بر اساس روش توسعه داده شده قطعه‌بندی پویا، در مجموع ۳۸ قطعه همگن با طول‌های بین ۰/۳ تا ۴/۵۲ کیلومتر و طول متوسط ۱/۱۴ کیلومتر ایجاد شد. شکل ۲ موقعیت مکانی داده‌های تصادفات مسیر لوشان قزوین را نشان می‌دهد.

### ۲-۳ مدل‌سازی الگوریتم پیشنهادی جهت تحلیل

#### فراوانی تصادفات

تجزیه و تحلیل فراوانی تصادف در قطعه‌ها، یک تجزیه و تحلیل داده‌های شمارشی است و رویکرد مدل‌سازی داده‌های شمارشی به‌طورکلی در فرآیند مدل‌سازی اتخاذ می‌شود. اعداد تصادف ماهیتی غیر منفی دارند و فراوانی‌های تصادف اختصاص داده شده اعداد صحیح غیر منفی هستند، بنابراین استفاده از تکنیک مدل‌سازی شمارشی داده‌ها مناسب‌ترین روش مدل‌سازی خواهد بود (Lord and Mannering, 2010). تعدادی از رویکردهای آماری، از جمله رگرسیون پواسون<sup>۱۰</sup>، دوجمله‌ای

با این وجود، مطالعاتی در آینده می‌توانند برای بررسی بیشتر و مقایسه توزیع‌های مختلف برای مدل پارامتر تصادفی در تجزیه و تحلیل تصادف انجام شوند.

نتایج برآورد شده و اثرات حاشیه‌ای مدل پواسون با پارامتر تصادفی در جدول ۳ ارائه شده است. برای تعیین تصادفی بودن یک پارامتر، انحراف معیار چگالی پارامتر باید از نظر آماری معنی دار باشد. با این حال، اگر انحراف معیار برآورد شده از نظر آماری معنی دار نباشد، این پارامتر در سراسر جمعیت قطعه‌ها ثابت در نظر گرفته می‌شود (Dong et al., 2014). نتایج برآورد ارائه شده در جدول ۳ نشان می‌دهد که ۱۲ پارامتر از نظر آماری معنی دار هستند. به عبارتی سرعت باد، دمای هوا، نوع میانه دوطرفه مجزا، خط‌کشی مقطع، آب‌وهوای صاف، زمان تصادف روز، سطح روسازی خشک، برخورد وسیله نقلیه با شیء ثابت، علل انسانی تصادف عجله و شتاب بی‌مورد، محل تصادف، باند سواره‌رو، شانه آسفالت و کاربری غیرمسکونی پارامترهای تصادفی آماری معنی‌داری هستند.<sup>۱۰</sup>

بررسی نتایج ارائه شده در جدول ۳ نشان می‌دهد که افزایش تعداد خط‌کشی‌های مقطع در مناطق برون‌شهری باعث کاهش فراوانی تصادف می‌شود. افزایش واحد در تعداد خط‌کشی مقطع واقع، میانگین فراوانی تصادفات را ۷/۳۶۴ واحد کاهش می‌دهد. این تحلیل نشان می‌دهد که خط‌کشی ممتد با افزایش فراوانی تصادفات در قطعات راه رابطه مستقیم دارد. طبق تحقیق بکتاس و همکاران (۲۰۱۶) خط‌کشی مقطع با افزایش فراوانی تصادفات ارتباط منفی دارد (Bektas, Gkritza & Smadi, 2016). همچنین سطح روسازی خشک با افزایش فراوانی تصادفات ارتباط منفی دارد. این نشان می‌دهد که قطعه‌هایی که سطح آن‌ها مرطوب نیست دارای سطح اصطکاک بهتری بین لاستیک و روسازی است که باعث کنترل بهتر وسیله نقلیه و کاهش فراوانی تصادفات می‌شود. روی و همکاران (۲۰۲۲) اثرات اصطکاک سطح جاده، هندسه جاده، شرایط سطح جاده و انواع بدنه خودرو بر فراوانی تصادفات را بررسی کرده‌اند. آن‌ها نیز نشان داده‌اند که

عددی، نسبت به روش‌های تصادفی صرف، ارائه می‌دهد (Greene, 2007). در نهایت، برای ارزیابی تأثیر متغیرهای خاص بر میانگین تعداد تصادفات، اثرات حاشیه‌ای<sup>۱۱</sup> محاسبه می‌شود (Washington, Karlaftis and Mannering, 2011). اثرات حاشیه‌ای برای هر مشاهده محاسبه می‌شود و سپس در تمام مشاهدات میانگین می‌شود. اثرات حاشیه‌ای اثری را نشان می‌دهد که یک تغییر یک واحدی در X بر تعداد مورد انتظار تصادف در هر رویکرد  $\gamma_k$  می‌گذارد.

#### ۴. تحلیل نتایج

به منظور پیاده‌سازی مدل پیشنهادی تحقیق، الگوریتم پارامتر تصادفی پواسون با استفاده از حداکثر احتمال مبتنی بر شبیه‌سازی با ۲۰۰ حالت ایجاد نمونه تصادفی به روش هالتون برآورد گردید. روش هالتون به دلیل تخمین‌های پارامتری ثابت و دقیق انتخاب گردید (Agbelie, 2014, Bhat, 2003, Mannering & Bhat, 2014, Milton, Shankar & Mannering, 2008). به دلیل دستیابی به همگرایی با ایجاد نمونه تصادفی کمتر در مقایسه با روش‌های دیگر تصادفی از روش هالتون به جای روش‌های تصادفی برای شبیه‌سازی استفاده شد (Train, 2009). همچنین، کارایی روش هالتون به‌طور کلی نسبت به روش‌های تصادفی قابل توجه بود. به منظور انتخاب فرم‌های تابع چگالی پارامتر تصادفی، توزیع‌های یکنواخت<sup>۱۱</sup>، مثلثی<sup>۱۲</sup>، لگ نرمال<sup>۱۳</sup> و نرمال<sup>۱۴</sup> مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به جدول شماره ۲، توزیع‌های نرمال بهترین تناسب آماری را برای همه پارامترها نشان دادند. توزیع لگ نرمال به دلیل داده منفی داشتن ویژگی دمای هوا توزیع‌پذیر نیست.

جدول ۲. تناسب آماری توزیع‌ها

نوع توزیع	توزیع	توزیع	توزیع
	مثلثی	یکنواخت	نرمال
لگاریتم درست نمایی	-599	-598/8	-598

ارائه رویکردی مکانمند جهت قطعه‌بندی و تحلیل فراوانی تصادفات در راه‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری با استفاده از الگوریتم

رگرسیون پواسون

اصطکاک کمتر باعث افزایش فراوانی تصادفات می‌شود ( Roy

et al., 2022).

جدول ۳. مدل رگرسیون پواسون با پارامتر تصادفی برای فراوانی تصادفات سالانه (انحراف معیار تخمینی برای هر توزیع پارامتر، غیر صفر

است)

توضیح متغیرها	میانگین تخمین زده شده	انحراف معیار	z-value	اثر حاشیه‌ای	P(X>0)
مقدار ثابت	-0/210793		0/392		
سرعت باد (m/s)	0/083195	0/088715	3/321	0/507	۰/۸۲۵۸
دمای هوا (C°)	0/001046	0/009937	0/137	0/006	۰/۵۴۱۹
نوع میانه دوطرفه مجزا	1/363612	0/232927	1/893	8/304	۱
خط‌کشی مقطع	-1/209272	0/192109	1/65	-7/364	۰
آب‌وهوای صاف	0/628146	0/008294	1/128	3/825	۱
تصادفات رخ داده در روز	0/289589	0/109567	1/65	1/763	۰/۹۹۵۸
سطح روسازی خشک	-0/326958	0/012126	0/601	-1/99	۰
برخورد با شیء ثابت	0/197923	0/024788	2/01	1/205	۱
عجله و شتاب بی‌مورد	0/313626	0/275785	3/089	1/909	۰/۸۷۲۲
محل تصادف باند سواره‌رو	0/782196	0/017844	1/803	4/763	۱
شانه آسفالت	-0/26498	0/226443	2/428	-1/614	۰/۱۲۰۹
کاربری زمین غیرمسکونی	0/049659	0/099547	0/386	0/302	۰/۶۹۱۰

با توجه به جدول ۳ با توزیع نرمال میانگین ۰/۰۰۱۰۴۶ و انحراف معیار ۰/۰۰۹۹۳۷، افزایش دمای هوا، فراوانی تصادفات قطعه‌های برون‌شهری را افزایش می‌دهد و دارای رابطه مستقیمی با آن است. این نتیجه با یافته‌های مطالعه سواتله و همکاران (۲۰۲۲) در مورد تأثیر دما بر فراوانی تصادفات خروج از جاده در راه‌های برون‌شهری مطابقت دارد. طبق نتایج تحلیل آن‌ها با افزایش دما، فراوانی تصادفات خروج از جاده افزایش می‌یابد (Sawtelle et al., 2022).

با توجه به نتایج جدول ۳ متغیر شاخص آب‌وهوای صاف، یک پارامتر مثبت با توزیع نرمال آماری معنی‌دار با میانگین ۰/۶۲۸۲۴۶ و انحراف معیار ۰/۰۰۸۲۹۴ دارد که نشان می‌دهد این آب‌وهوا احتمال تجربه تصادف را افزایش می‌دهد. در نتیجه سایر شرایط آب و هوایی با فراوانی تصادفات رابطه عکس دارند. همچنین زمان روز با اثر حاشیه‌ای ۱/۷۶۳ با افزایش فراوانی تصادفات

بر اساس جدول ۳، سرعت باد در راه‌های برون‌شهری دارای توزیع نرمال با میانگین ۰/۰۸۳۱۹۵ و انحراف معیار ۰/۰۸۸۷۱۵ است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش سرعت باد، فراوانی تصادفات در ۸۲/۵۸ درصد از قطعه‌ها افزایش داده و برای ۱۷/۴۲ درصد باقی‌مانده قطعه‌ها اثر افزایشی نداشته است. برای اکثر قطعه‌ها، یک واحد افزایش در سرعت باد، فراوانی تصادف را ۰/۰۵۰۷ افزایش می‌دهد. این نتیجه با تحلیل ایران‌منش و همکاران (۲۰۲۲) در پیش‌بینی فراوانی تصادفات در قطعه‌های مختلف جاده‌های برون‌شهری مطابقت دارد. طبق مطالعه آن‌ها، سرعت باد یکی از عوامل مؤثر در فراوانی تصادفات است. آن‌ها نشان داده‌اند که سرعت باد با فراوانی تصادفات ارتباط مثبت دارد، به این معنی که هر چه سرعت باد بالاتر باشد، فراوانی تصادفات نیز بالاتر است (Iranmanesh et al., 2022).

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال شانزدهم / شماره اول (۶۲) / پاییز ۱۴۰۳

طبق نتایج جدول ۳ شانه آسفالت با اثر حاشیه‌ای ۱/۶۱۴- با فراوانی تصادفات رابطه منفی دارد. میانگین تخمین ۰/۲۶۴۹- و انحراف معیار ۰/۲۲۶۴ نشان می‌دهد که با افزایش شانه آسفالت، فراوانی تصادفات در ۸۷/۹۱ درصد قطعات باعث کاهش فراوانی می‌شود. چنگ و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی عوامل خطر ساز منجر به تصادفات در بزرگراه‌ها پرداختند. آن‌ها نشان داده‌اند که شانه آسفالتی یکی از عوامل مؤثر در کاهش احتمال تصادفات جاده است (Cheng et al., 2020). با توجه به جدول ۳ مسیر دوطرفه مجزا با افزایش فراوانی تصادفات با اثر حاشیه‌ای ۱/۳۶۳۶ ارتباط مستقیم دارد. در برخی موارد، وجود جداکننده مرکزی می‌تواند رانندگان را به افزایش سرعت ترغیب کند. آن‌ها ممکن است فکر کنند که وجود جداکننده مرکزی به آن‌ها ایمنی بیشتری می‌دهد و این باعث سرعت بالا و بی‌توجهی به مسائل ایمنی شود (Sil et al., 2019).

## ۵. نتیجه‌گیری

این تحقیق با توسعه روشی مکانمند مبتنی بر قطعه‌بندی پویا، به بررسی اثرات عوامل ترافیکی، مکانی، هندسه راه و آب و هوایی بر فراوانی تصادفات در قطعه‌های راه دوخطه-دوطرفه برون‌شهری پرداخت؛ بدین منظور، یک مدل پواسون با پارامتر تصادفی برای تجزیه و تحلیل فراوانی تصادف رخ داده در قطعات، به‌منظور بررسی اثرات متغیرهای بر فراوانی تصادفات پیشنهاد گردید. اثرات حاشیه‌ای اثرات متغیرهای مستقل بر فراوانی تصادف محاسبه و تحلیل شد. نتایج نشان می‌دهد که از بین عوامل انتخاب‌شده، نوع میانه دوطرفه مجزا، محل تصادف باند سواره‌رو، آب‌وهوای صاف، عجله و شتاب بی‌مورد راننده و تصادف وسیله نقلیه با شیء ثابت به ترتیب با اثر حاشیه‌ای ۸/۳۰۴، ۴/۷۶۳، ۳/۸۲۵، ۱/۹۰۹ و ۱/۲۰۵ بیشترین تأثیر را بر فراوانی تصادفات رخ داده در قطعات محور مورد مطالعه را دارند. در رابطه با این موارد، مقدار اثر حاشیه‌ای برای قطعات زیاد است و دلیل این امر می‌تواند بی‌احتیاطی رانندگان در این شرایط و افزایش سرعت و در نتیجه افزایش احتمال رخداد تصادف باشد.

رابطه مستقیم دارد. افزایش فراوانی تصادفات رخ داده در روز مربوط به تمایل رانندگان به سرعت زیاد است که می‌تواند این افزایش را توجیه کند. این نتیجه با تحقیقات هوردوس و همکاران (۲۰۰۶) پیرامون رابطه مستقیم فراوانی تصادفات و تصادفات در هنگام ظهر و هوای صاف مطابقت دارد. آن‌ها علت این رابطه را تابش مستقیم نور خورشید به چشم راننده و کاهش دید عنوان کردند (Hourdos et al., 2006). عبدل اتی و رادان (۲۰۰۰) نیز در بررسی رابطه بین تصادفات رانندگی و عوامل مختلف مانند جنسیت، سن، نوع خودرو، نوع جاده، حجم ترافیک و شرایط نوری به نتایج مشابه رسیدند. آن‌ها بازه‌های روز را از نظر روشنایی تقسیم‌بندی نموده‌اند. مطابق تحقیقات آن‌ها، فراوانی تصادفات در زمان روشنایی زیاد بیشتر از زمان روشنایی متوسط است (Abdel-Aty and Radwan, 2000).

با توجه به جدول ۳، تصادف جلو به با شیء ثابت در راه برون‌شهری با فراوانی تصادفات ارتباط مثبتی دارد. همچنین عجله و شتاب بی‌مورد در محور مورد مطالعه دارای پارامتر توزیع نرمال با میانگین ۰/۳۱۳۶۲۶ و انحراف معیار ۰/۲۷۵۷۸۵ است که نشان می‌دهد این عامل فراوانی تصادفات را در ۸۷/۲۳ درصد قطعه‌ها افزایش می‌دهد. بنابراین در ۱۲/۷۷ درصد قطعات سایر عوامل انسانی مانند خستگی و خواب‌آلودگی و حواس‌پرتی تأثیرگذار است. این نتایج با یافته‌های مطالعات نیس و بویل (2007) همخوانی دارد (Neyens and Boyle, 2007).

بر اساس نتایج برآورد در جدول ۳، متغیر تصادف در باند سواره‌رو در راه برون‌شهری با اثر حاشیه‌ای ۴/۷۶۳ با فراوانی تصادفات ارتباط مستقیمی دارد. در انواع کاربری زمین، زمین‌های غیرمسکونی با میانگین ۰/۰۴۹۶۵۹ و انحراف معیار ۰/۰۹۹۵۴۷ موجب افزایش فراوانی تصادفات در ۶۹/۱۰ درصد قطعه‌ها گردیدند و در ۳۰/۹۰ درصد قطعات باقی‌مانده سایر انواع کاربری زمین در وقوع تصادفات مؤثر بودند.

ارائه رویکردی مکانمند جهت قطعه‌بندی و تحلیل فراوانی تصادفات در راه‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری با استفاده از الگوریتم

## رگرسیون پواسون

### 14. Normal

۱۳. انحراف معیار تخمینی برای هر توزیع پارامتر، غیر صفر است.

## ۷. مراجع

- آمار ایران. (۱۳۹۴) آمار تصادفات برون‌شهری.

- حاجی حسینلو، م. و قیاسی، ا. (۱۳۹۱). مکانیابی و اولویت بندی نقاط حادثه خیز تصادفات عابرین پیاده در شبکه های درون شهری با استفاده از GIS (مطالعه موردی شهر تهران)، یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، تهران.

- عفتی، م.، رجبی، م. و شعبانی، ش. (۱۳۹۱). توسعه یک سیستم دانش مبنای مکانمند جهت پیش بینی تصادفات در مسیرهای برون شهری.

- عفتی، م.، رجبی، م.، حکیم پور، ف. و شعبانی، ش. (۱۳۹۳). تحلیل عوامل مکانی موثر بر تمرکز تصادفات در راه های برون شهری با استفاده از GIS و داده کاوی. علوم و فنون نقشه برداری.

- Abdel-Aty, M. A., & Radwan, A. E. (2000). Modeling traffic accident occurrence and involvement. Accident Analysis & Prevention, 32(5), 633-642.

- Agbelie, B. R. (2014). An empirical analysis of three econometric frameworks for evaluating economic impacts of transportation infrastructure expenditures across countries. Transport Policy, 35, 304-310.

- Akbari, M., Shafabakhsh, G. and Ahadi, M.R., 2020. The impact of segmentation method on the aggregate goodness-of-fit measurements of non-linear crash prediction models. SN applied sciences, 2, pp.1-13.

تحلیل عوامل مؤثر بر فراوانی تصادفات راه می‌تواند بهبود ایمنی راه‌ها را تسهیل کند. این تحلیل به شناسایی دقیق عوامل مؤثر بر افزایش فراوانی تصادفات مانند نوع ترافیک، تأثیر آب‌وهوا، هندسه راه و مشکلات زیرساختی کمک می‌کند. با شناخت و درک این عوامل، می‌توان با سیاست‌های سازمان‌ها و ارگان‌های زیر ربط دست‌اندرکار، راهکار مناسبی را برای کاهش عوامل مؤثر بر فراوانی تصادفات در نظر گرفت. همچنین، تحلیل عوامل مؤثر می‌تواند به اعمال تغییرات در طراحی و ساختار راه از جمله افزایش عرض راه، تغییر نوع خط‌کشی و نصب تجهیزات ایمنی و... کمک کند. علاوه بر این، بر اساس نتایج علل انسانی عجله و شتاب بی‌مورد در جدول ۳، ارتقای آگاهی رانندگان درباره خطرات موجود و رفتارهای صحیح نیز می‌تواند از دیگر نتایج این تحلیل باشد. در نتیجه، با اعمال تدابیر پیشگیرانه بر اساس تحلیل عوامل مؤثر، می‌توان با تصادفات، ایمنی راه‌ها را بهبود بخشید.

این مطالعه همچون سایر مطالعات دارای محدودیت‌هایی نظیر استفاده از یک پایگاه داده و متغیرهای محدود است؛ بنابراین مطالعات بعدی در زمینه تجزیه و تحلیل فراوانی تصادفات با در نظر گرفتن نوع قطعه‌بندی، تحلیل فراوانی تصادفات و اثرات حاشیه‌ای عوامل مؤثر بر آن در مسیرهای درون‌شهری، تقاطع‌ها و همچنین در بازه‌های زمانی مختلف پیشنهاد می‌گردد.

## ۶. پی‌نوشت‌ها

1. Multivariate Poisson-Lognormal Model
2. Multinomial-generalized Poisson model
3. Correlation
4. Overfitting
5. Poisson regression
6. Negative binomial
7. Zero-inflated Poisson regression
8. Zero-inflated negative binomial
9. Halton draws
10. Marginal effects
11. Uniform
12. Triangular
13. Lognormal

- Cenek, P. D., Davies, R. B., McLarin, M. W., Griffith-Jones, G., & Locke, N. J. (1997). Road environment and traffic crashes. Transfund New Zealand Research Report, (79).
- Cheng, G., Cheng, R., Pei, Y. and Xu, L., 2020. Probability of roadside accidents for curved sections on highways. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, pp.1-18.
- Chiou, Y. C., & Fu, C. (2013). Modeling crash frequency and severity using multinomial-generalized Poisson model with error components. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 73-82.
- Cook, D. J., Souleyrette, R. R., & Jackson, J. (2011). Effect of road segmentation on highway safety analysis (No. 11-1995).
- Dereli, M. A., & Erdogan, S. (2017). A new model for determining the traffic accident black spots using GIS-aided spatial statistical methods. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 106-117.
- Dong, C., Clarke, D.B., Yan, X., Khattak, A. and Huang, B., 2014. Multivariate random-parameters zero-inflated negative binomial regression model: An application to estimate crash frequencies at intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 70, pp.320-329.
- Effati, M., & Saheli, M. V. (2022). Examining the influence of rural land uses and accessibility-related factors to estimate pedestrian safety: The use of GIS and machine learning techniques. *International journal of transportation science and technology*, 11(1), 144-157.
- Frost, J., 2017. Multicollinearity in regression analysis: problems, detection, and solutions. *Statistics by Jim*, 2.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2010. Highway Safety Manual 1st Edition Volume.
- Anastasopoulos, P.C. and Mannering, F.L., 2011. An empirical assessment of fixed and random parameter logit models using crash-and non-crash-specific injury data. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), pp.1140-1147.
- Atumo, E. A., Zhang, B., Li, H., Jiang, X., Yu, Q., Ambo, T. B., & Hu, Z. (2023). Segment-Level Spatial Spillover Effects of Exogenous Characteristics of Arterials on Crash Frequency. *Transportation Research Record*, 03611981231152471.
- Bektas, B. A., Gkritza, K., & Smadi, O. (2016). Pavement marking retroreflectivity and crash frequency: segmentation, line type, and imputation effects. *Journal of Transportation Engineering*, 142(8), 04016030.
- Bhat, C. R. (2003). Simulation estimation of mixed discrete choice models using randomized and scrambled Halton sequences. *Transportation Research Part B: Methodological*, 37(9), 837-855.
- Borsos, A., Ivan, J. N., & Orosz, G. (2016). Development of safety performance functions for two-lane rural first-class main roads in Hungary. *Traffic Safety*, 4, 87-100.
- Cafiso, S., D'Agostino, C., & Persaud, B. (2018). Investigating the influence of segmentation in estimating safety performance functions for roadway sections. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, 5(2), 129-136.
- Cafiso, S., Di Graziano, A., Di Silvestro, G., & La Cava, G. (2008). Safety performance indicators for local rural roads: comprehensive procedure from low-cost data survey to accident prediction model (No. 08-2542).

- Iranmanesh, M., Seyedabrishami, S. and Moridpour, S., 2022. Identifying high crash risk segments in rural roads using ensemble decision tree-based models. *Scientific reports*, 12(1), p.20024.
- Lian, Y., Zhang, G., Lee, J. and Huang, H., 2020. Review on big data applications in safety research of intelligent transportation systems and connected/automated vehicles. *Accident Analysis & Prevention*, 146, p.105711.
- Lord, D. and Mannering, F., 2010. The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. *Transportation research part A: policy and practice*, 44(5), pp.291-305.
- Lu, J., Gan, A., Haleem, K., & Wu, W. (2013). Clustering-based roadway segment division for the identification of high-crash locations. *Journal of Transportation Safety & Security*, 5(3), 224-239.
- Mannering, F. L., & Bhat, C. R. (2014). Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. *Analytic methods in accident research*, 1, 1-22.
- Mathew, S., Pulugurtha, S. S., & Duvvuri, S. (2022). Exploring the effect of road network, demographic, and land use characteristics on teen crash frequency using geographically weighted negative binomial regression. *Accident Analysis & Prevention*, 168, 106615.
- Milton, J. C., Shankar, V. N., & Mannering, F. L. (2008). Highway accident severities and the mixed logit model: an exploratory empirical analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 260-266.
- Mittal, M., Gupta, S., Chauhan, S., & Saraswat, L. K. (2022). Analysis on road crash
- Geyer, J., Lankina, E., Chan, C. Y., Ragland, D. R., Pham, T., & Sharafsaleh, A. (2008). Methods for identifying high collision concentration locations for potential safety improvements. California PATH Program, Institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley.
- Greene, W. (2007). Functional form and heterogeneity in models for count data. *Foundations and Trends® in Econometrics*, 1(2), 113-218.
- Gutierrez-Osorio, C. and Pedraza, C., 2020. Modern data sources and techniques for analysis and forecast of road accidents: A review. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, 7(4), pp.432-446.
- Hasan, A. S., Kabir, M. A. B., Jalayer, M., & Das, S. (2022). Severity modeling of work zone crashes in New Jersey using machine learning models. *Journal of Transportation Safety & Security*, 1-32.
- Hosseinpour, M., Sahebi, S., Zamzuri, Z. H., Yahaya, A. S., & Ismail, N. (2018). Predicting crash frequency for multi-vehicle collision types using multivariate Poisson-lognormal spatial model: A comparative analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 118, 277-288.
- Hourdos, J. N., Garg, V., Michalopoulos, P. G., & Davis, G. A. (2006). Real-time detection of crash-prone conditions at freeway high-crash locations. *Transportation research record*, 1968(1), 83-91.
- Infante, P., Jacinto, G., Afonso, A., Rego, L., Nogueira, V., Quaresma, P., ... & Manuel, P. R. (2022). Comparison of statistical and machine-learning models on road traffic accident severity classification. *Computers*, 11(5), 80.

secondary crash frequency on highway networks. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 108-117.

- Sawtelle, A., Shirazi, M., Garder, P.E. and Rubin, J., 2023. Exploring the impact of seasonal weather factors on frequency of lane-departure crashes in Maine. *Journal of Transportation Safety & Security*, 15(5), pp.445-466.

- Seraneeprakarn, P., Huang, S., Shankar, V., Mannering, F., Venkataraman, N. and Milton, J., 2017. Occupant injury severities in hybrid-vehicle involved crashes: A random parameters approach with heterogeneity in means and variances. *Analytic Methods in Accident Research*, 15, pp.41-55.

- Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. (1995). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis & Prevention*, 27(3), 371-389.

- Sil, G., Nama, S., Maji, A. and Maurya, A.K., 2020. Modelling operating speeds for multilane divided highways. In *Transportation Research: Proceedings of CTRG 2017* (pp. 367-375). Springer Singapore.

- Srinivasan, A.V., 2019. Why exclude highly correlated features when building regression model?.

- Train, K. E. (2009). *Discrete choice methods with simulation*. Cambridge university press.

- Wang, C., Chen, F., Zhang, Y., Wang, S., Yu, B., & Cheng, J. (2022). Temporal stability of factors affecting injury severity in rear-end and non-rear-end crashes: A random parameter approach with heterogeneity in means and variances. *Analytic methods in accident research*, 35, 100219.

severity of drivers using machine learning techniques. *International Journal of Engineering Systems Modelling and Simulation*, 13(2), 154-163.

- Neyens, D. M., & Boyle, L. N. (2007). The effect of distractions on the crash types of teenage drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 39(1), 206-212.

- Park, E. S., & Lord, D. (2007). Multivariate Poisson-lognormal models for jointly modeling crash frequency by severity. *Transportation Research Record*, 2019(1), 1-6.

- Pervaz, S., Bhowmik, T., & Eluru, N. (2022). Integrating macro and micro level crash frequency models considering spatial heterogeneity and random effects. *Analytic methods in accident research*, 36, 100238.

- Roshandeh, A.M., Agbelie, B.R. and Lee, Y., 2016. Statistical modeling of total crash frequency at highway intersections. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, 3(2), pp.166-171.

- Roy, U., Farid, A., & Ksaibati, K. (2022). Effects of Pavement Friction and Geometry on Traffic Crash Frequencies: A Case Study in Wyoming. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 1-14.

- Saha, D., Alluri, P., Dumbaugh, E., & Gan, A. (2020). Application of the Poisson-Tweedie distribution in analyzing crash frequency data. *Accident Analysis & Prevention*, 137, 105456.

- Saheli, M. V., & Effati, M. (2019). Investigation of factors contributing to pedestrian crash severity in rural roads. *Journal of Injury and Violence Research*, 11(4 Suppl 2).

- Sarker, A. A., Paleti, R., Mishra, S., Golias, M. M., & Freeze, P. B. (2017). Prediction of

ارائه رویکردی مکانمند جهت قطعه‌بندی و تحلیل فراوانی تصادفات در راه‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری با استفاده از الگوریتم رگرسیون پواسون

- Washington, S. P., Karlaftis, M. G., & Mannering, F. L. (2011). Statistical and econometric methods for transportation data analysis. 2010. View Article.

دکتر میثم عفتی، در حال حاضر دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران (راه و ترابری) دانشکده فنی دانشگاه گیلان می باشد. ایشان درجه کارشناسی و کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- نقشه برداری را به ترتیب در سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۸ از دانشگاه علم و صنعت و دانشگاه تهران اخذ نمود و در سال ۱۳۹۳ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران نقشه برداری- سیستم اطلاعات مکانی (GIS) از دانشگاه تهران گردید. زمینه های پژوهشی موردعلاقه ایشان سیستم اطلاعات مکانی حمل و نقل (GIST)، ایمنی و تحلیل تصادفات، سیستم های هوشمند حمل و نقل، داده کاوی مکانی و یادگیری ماشین، هوش مصنوعی در کاربردهای مکان-مرجع و سیستم های مکانمند مدیریت روسازی راه است.

امیرمحمد رمضانپور، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۸ از دانشگاه گیلان اخذ نمود. ایشان در سال ۱۳۹۹ شروع به تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران- راه و ترابری دانشگاه گیلان نموده است. زمینه های پژوهشی موردعلاقه ایشان کاربرد هوش مصنوعی در حمل و نقل، ایمنی و ترافیک است.

