مدلسازی فراوانی تصادفات عابرین پیاده در تقاطع‌های درون شهری با کنترل توقف

مقاله علمی – پژوهشی

محمد کوهی*، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
شاهین شعبانی، دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.koohhi@gmail.com

دریافت: ۱٤۰۳/۰۵/۱۷– پذیرش: ۱٤۰۳/۱۱/۰۱
صفحه ۳۰۰-۲۹۰

چکیده

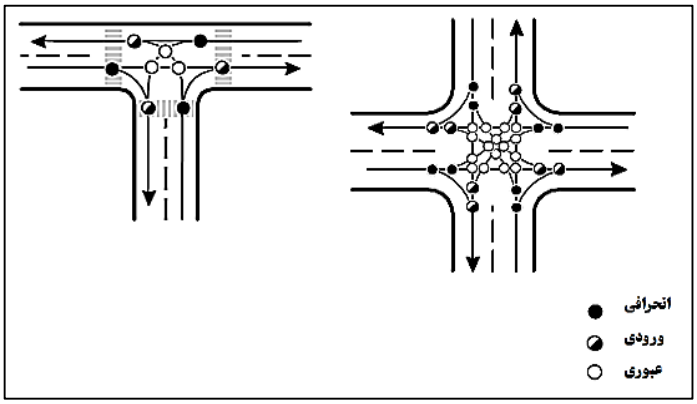
هدف پژوهش حاضر، توسعه مدلی آماری برای پیشبینی تصادفات عابرین پیاده در تقاطع‌های شهری با کنترل توقف بر اساس مهمترین عوامل تاثیرگذار بر تصادفات عابرین است. برای رسیدن به این هدف، مهمترین داده‌های ایمنی تقاطع‌های با کنترل توقف در محیط های شهری استان ایلام به عنوان پایگاه داده برای مدلسازی استفاده شده است. روش مدلسازی در این پژوهش، مدلسازی رگرسیونی دوجمله ای منفی بود. بر اساس مطالعات پیشین فهرستی کامل از متغیرهای تاثیر گذار تهیه و با کمک نرم افزار SPSS ضرایب آنها تعیین و سپس متغیرهای معنادار برای مدلسازی انتخاب شدند. متغیرهای معنادار شامل وجود سرعت کاه قبل از تقاطع، وجود پارکینگ در خیابان، تعداد خطوط گردش به چپ، حجم تردد عابرین و ADT بودند به نحوی که پس از ساخت مدل، مشخص شد که تمامی متغیرهای در نظر گرفته شده به استثنای وجود سرعت‌کاه قبل از تقاطع، دارای رابطه مستقیمی با تصادفات عابرین هستند بدین معنا که با افزایش این متغیرها، تصادفات عابرین افزایش می‌یابد (اما با وجود سرعت کاه قبل از تقاطع، تصادفات عابرین کاهش می‌یابد). نتایج ارزیابی عملکرد و اعتبارسنجی مدل با کمک نرم افزار SPPS انجام شد. نتایج آزمون‌های آماری انجام شده، تایید کامل مدل را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: مدلسازی رگرسیونی، عابرین پیاده، تقاطع با کنترل توقف

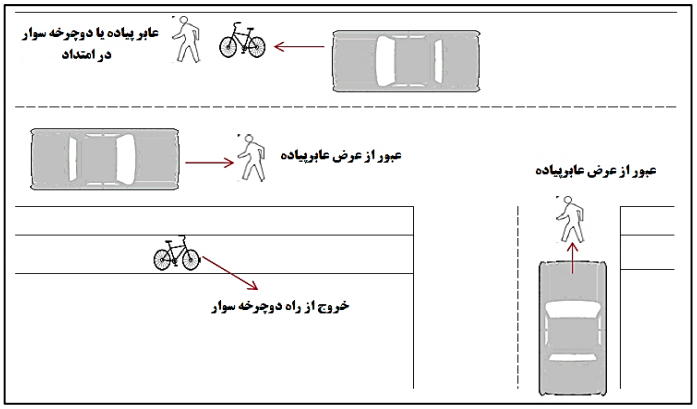
۱- مقدمه

امروزه تصادفات جاده‌ای به یک معضل بزرگ در جوامع بشری تبدیل شده زیرا در جابجایی‌های مربوط به حمل و نقل جاده‌ای سالانه حدود ۲۰ تا ۵۰ میلیون نفر دچار جراحت می‌شوند (Tanishita et al., 2023) که از این تعداد حدود ۱/۳ میلیون نفر جان خود را از دست می‌دهند (Koohi & Saffarzadeh, 2022). از میان این تعداد کشته شدگان، بیش از ٦۰۰ هزارنفر کاربر آسیب پذیر (Salehian et al., 2023) و ۲٦ درصد از این تعداد نیز عابرین پیاده هستند (Shrinivas et al., 2023). بیشتر تلفات عابرین پیاده در کشورهای در حال توسعه رخ می‌دهد (Dhoke & Choudhary, 2024) به نحوی که به گفته محققان، این کشورها ۹۰ درصد مرگ و میر عابرین پیاده را به خود اختصاص داده‌اند (Mukherjee & Mitra, 2022). برای مثال در سال‌های اخیر تلفات عابرین پیاده در لهستان ۲۷ درصد، در شیلی ۳٤ درصد، در هند ۲۰/۸ درصد (BITRE, 2021) و در ایران ۲۲ درصد (Koohi & Karami, 2020) بوده است. متاسفانه در کشورهای در حال توسعه، پیاده روی در شبکه حمل و نقل جاده ای به دلیل نامناسب بودن زیرساخت (Singh et al., 2022)، ویژگی‌های هندسی (Marisamynathan & Vedagiri, 2018)، مدیریت نامناسب ترافیک (Kumar and Ghosh, 2022) و مهارت‌های تصمیم‌گیری ضعیف عابرین (Dhoke & Choudhary, 2024) خطرناک است. علاوه بر این، به دلیل

حجم ترافیک زیاد وسایل نقلیه و حجم تردد زیاد عابرین در محیط‌های شهری، تقاطع‌های درونشهری بحرانی‌ترین محل‌ها برای تصادفات عابرین هستند، زیرا از یک طرف نقاط برخورد احتمالی متعدد تقاطع‌ها (شکل ۱) و از طرف دیگر مانورهای پیچیده عابرین و وسایل نقلیه در تقاطع‌ها (شکل ۲) ریسک تصادف عابرین پیاده در این محل‌ها را بالا می برد (شکل ۲).



شکل ۱. نقاط برخورد احتمالی در تقاطع‌های چهارشاخه و سه شاخه (Koohi & Shabani, 2020)



شکل ۲. پتانسیل برخورد خودرو و عابر در تقاطع (IRAP, 2013)

همانگونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، به دلیل مانورهای متعدد و پیچیده عابرین در تقاطع‌ها، پتانسیل برخورد و عابر در تقاطع‌ها بسیار بالاست و از آنجا که در تقاطع‌های شهری حجم تردد وسایل نقلیه و عابرین نسبت به محیط های برونشهری بسیار بالاتر است، ریسک تصادف عابرین در تقاطع‌های شهری بیشتر از هر محل دیگر در شبکه حمل و نقل است. در نتیجه تحلیل ایمنی عابرین در این محل‌ها می تواند درک درستی از تصادفات عابرین را ارائه نماید. از آنجا که مدلسازی تصادفات روشی موثر و پرکاربرد در تحلیل ایمنی است، هدف پژوهش حاضر توسعه مدلی آماری برای پیش بینی فراوانی تصادفات عابرین پیاده در تقاطع‌های شهری با کنترل توقف بر اساس مهمترین عوامل موثر بر تصادفات عابرین است. دلیل انتخاب تقاطع‌های با کنترل توقف این است که اولاً در این نوع از تقاطع‌ها مدیریت ترافیک تنها بر اساس رعایت حق تقدم با استفاده از تابلوهای کنترل توقف و ثانیا تعداد زیاد این نوع تقاطع در شهرهای ایران و علی الخصوص شهرهای کم جمعیت است که در مطالعات ایمنی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. برای رسیدن به هدف مورد نظر در این تحقیق، داده‌های (تصادفات، طرح هندسی و حجم ترافیک) تقاطع‌های با کنترل توقف در محیط‌های شهری استان ایلام به عنوان پایگاه داده برای مدلسازی استفاده خواهد شد.

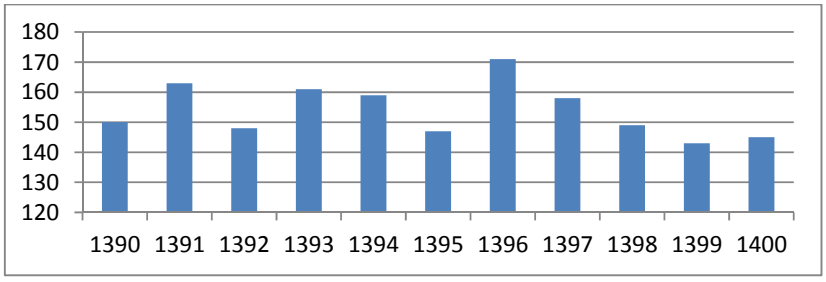
۲- پیشینه تحقیق

ویژگی‌های هندسه و ترافیک به شکلی گسترده برای توسعه مدلهای پیشبینی استفاده می‌شوند. AASHTO در کتاب راهنمای ایمنی راه (AASHTO, 2010) از معیارهای ترافیک برای توسعه مدل‌های پیشبینی تصادف عابرین پیاده استفاده نموده است. شانکار[1] و همکاران (۲۰۰۳) بیان نموده‌اند که حجم ترافیک زیاد با فراوانی زیاد تصادفات عابرین همبستگی دارند.

مونیرا[۲] و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیان کرده‌اند که رابطه معناداری بین نسبت ADT شاخه‌های اصلی و فرعی تقاطع با فراوانی تصادفات عابرین در تقاطع وجود دارد. آرایش هندسه معابر و طرح خیابان می‌تواند فراوانی و شدت تصادف را تحت تاثیر قرار دهد. برخی مطالعات نشان داده‌اند که آرایش خطوط با فراوانی تصادف همبستگی دارند. برای مثال تعداد بیشتر خطوط در خیابان سبب افزایش فراوانی تصادفات جرحی عابرین می‌شود (Dong et al., 2018; Peng et al., 2020) زیرا عابرین نیازمند عبور از خطوط بیشتری هستند (Harwood et al., 2008). خطوط گردش به چپ دو طرفه، افزایش در فراوانی تصادفات عابرین پیاده را نشان داده‌اند (Shankar et al., 2003). پژوهشگران بیان کرده‌اند که برخی از آرایش‌های تقاطع مانند وجود خط گردش به راست می‌تواند فراوانی تصادف را افزایش دهد (Jashami et al., 2024) در حالی که برخی دیگر مانند میانه برجسته می‌تواند تعداد تصادفات را کاهش دهد (Schneider et al., 2010). اشنایدر[۳] و همکاران (۲۰۰٤) عدم وجود پیادره رو با افزایش فراوانی تصادفات عابرین را دارای همبستگی دانسته‌اند. معینی و لیو[٤] (۲۰۱۳) بیان نموده‌اند که موقعیت پارکینک در خیابان، ایمنی عابرین را به خطر می‌اندازد. در مطالعه ایمنی دیگری، همبستگی مثبتی بین پارکینگ در خیابان و شدت تصادف بررسی شده است (Zahabi et al., 2011). اگرچه پارکینگ در خیابان قابلیت دسترسی بیشتری فراهم می‌کند، با این حال دارای همبستگی با افزایش فراوانی تصادفات است (Greibe, 2003) زیرا فضای مانور رانندگی را کاهش داده که سبب تضعیف فاصله دید راننده می‌شود و در نتیجه نیازمند واکنش عابرین پیاده در گذرگاه عرضی می‌شود. برخی مطالعات نیز همبستگی افزایش فراوانی تصادفات عابرین با روشنایی نامناسب را نشان داده‌اند (Okafor et al., 2023). برخی مطالعات نشان داده‌اند که سرعت وسیله نقلیه با ریسک بیشتر تصادفات عابرین پیاده همبستگی دارد (Okafor et al., 2023; Lee & Abdel-Aty, 2005) و برخی نیز بر تاثیر استقرار تابلوها در تشخیص رانندگان و فراوانی تصادفات تمرکز نموده‌اند، برای مثال مطالعه‌ای در آمریکا نشان داده است که تاثیر یک برنامه مهندسی برای بهبود تابلوهای ترافیکی منجر به کاهش ۳٤ درصدی فراوانی تصادفات شده است (USDOT, 1989). همانگونه که نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد، حجم ترافیک وسایل نقلیه، حجم تردد عابرین، طرح هندسی و ویژگی‌های سرعت از جمله مهمترین عوامل موثر در وقوع تصادفات عابرین در تقاطع‌ها هستند. به همین دلیل در این تحقیق تمرکز اصلی بر عوامل حجم ترافیک و هندسه موثر بر وقوع تصادفات عابرین است.

۳- جمع آوری داده‌های تصادف

از آنجا که هدف پژوهش حاضر، مدلسازی تصادفات عابرین پیاده در تقاطع‌های با کنترل توقف است، لذا برای جمع آوری داده های موردنیاز مدلسازی، آمار تصادفات عابرین پیاده (شکل ۱) از پلیس راهور استان ایلام و داده‌های مربوط به هندسه و حجم ترافیک تقاطع های با کنترل توقف سطح استان از شهرداری ایلام اخذ شد. مجموعه داده شامل داده‌های تصادف ۱۱ ساله (۱۳۹۰ تا ۱٤۰۰) تمام تقاطع‌های با کنترل توقف در سطح استان ایلام است. این آمار از پلیس راهور استان اخذ شده است. به دلایل امنیتی نظامی، پلیس تنها به ارائه اطلاعات کلی بسنده نمود و تکمیل مجموعه داده مورد نیاز به کمک کارشناسان ترافیک شهرداری استان و نظرات خبرگان تکمیل گردید. از آنجا که محدودیت‌های زمانی و مکانی برای آمار دقیق تمام تقاطع‌ها وجود داشت، با کمک کارشناسان ترافیک شهرداری ایلام و نظرات خبرگان، آماره‌های معادل ADT و حجم عابرین بر اساس نمونه‌های واقعی تقاطع‌های هر شهرستان تعیین شد.



شکل ۱. فراوانی تصادفات عابرین پیاده در سطح استان طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱٤۰۰

٤- مدلسازی و نتایج

٤-١- روش مدلسازی

برای مطالعه ایمنی تقاطع‌ها، پژوهشگران داده‌های تصادف را در ناحیه تاثیر تقاطع جمع‌آوری و تحلیل می‌کنند. در ادبیات ایمنی، ناحیه تاثیر تقاطع معمولاً حدود ۵۰۰ متر اطراف نقطه تقاطع در نظر گرفته می‌شود. به منظور توسعه مدل‌های پیش بینی تصادف، معمولاً فراوانی و شدت تصادف به عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های راه و ترافیک به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته می‌شوند. مدل رگرسیون پواسون را می‌توان برای پیش بینی متغیرهای وابسته گسسته از پارامترهای معنادار استفاده نمود. با این حال، پژوهشگران اکثراً بر اساس بیش پراکندگی داده‌ها (تفاوت قابل ملاحظه واریانس از میانگین) مدل را انتخاب می کنند (Oh et al., 2013). ماهیت ناهمگن داده‌ها و احتمال خطا در جمع آوری آماره‌های مواجهه (ADT خودرو و عابر پیاده) ممکن است دلیل بیش پراکندگی باشد (AASHTO, 2010). در ادبیات مطالعات ایمنی بیش پراکندگی در داده تصادف بطور مکرر اتفاق می‌افتد (Chang, 2005). بیش پراکندگی نشان می‌دهد که توزیع تصادفات بصورت توزیع پواسون نیست. از این رو مدل پواسون برای تحلیل رگرسیون توصیه نمی‌شود (Loed & Manering, 2010). اکثر پژوهشگران توافق نظر دارند که مدل رگرسیون دوجمله ای منفی (NB)[۵] می‌تواند بر مشکل بیش پراکندگی غلبه کند و برای توسعه مدل‌های پیشبینی تصادف به کار گرفته شوند (Oh et al., 2013). مدل NB فرض می‌کند که پارامتر پواسون، توزیع احتمالی گاما را دنبال می‌کند. پارامترسازی مدل با ریاضی و معادله فرم بسته تا ایجاد رابطه بین ساختارهای میانگین و واریانس نسبتاً ساده است. به همین دلیل مدل NB تبدیل به یک مدل فراگیر در میان محققان شده است (Lord et al., 2021). در نتیجه در این پژوهش نیز مدل NB برای مدلسازی تصادفات عابرین در تقاطع‌های درونشهری انتخاب شده است. مدل پواسون اولین مدل رگرسیونی مورد استفاده توسط محققین برای مدلسازی فراوانی تصادفات بوده و به خوبی توسط کوهی و شعبانی (۱۳۹۹) شرح داده شده است. به گفته این محققان، مطابق توزیع پواسون، احتمال $P(y_i)$ یک تقاطع i دارای y_i تصادف با معادله (۱) ارایه می‌شود.

$$P(y_i) = e^{-\lambda_i}\lambda_i^{y_i}/y_i! \qquad (۱)$$

$$\lambda_i = E[y_i] = \mu_i \qquad (۲)$$

که λ_i پارامتر پواسون، $E[y_i]$ فراوانی تصادفات مورد انتظار در تقاطع i و μ_i میانگین فراوانی تصادفات در تقاطع i است. مدل لگاریتمی خطی عمومی‌ترین رابطه پارامتر پواسون و متغیرهای مستقل است که در روابط (۳) و (٤) نشان داده شده است.

$$\lambda_i = EXP(\beta X_i) \qquad (۳)$$

$$\lambda_i = E[y_i] = \mu_i = VAR[y_i] \qquad (٤)$$

که EXP نماد نمایی بودن، β بردار پارامتر قابل برآورد و X_i بردار متغیر مستقل قابل برآورد هستند. مسئله اصلی در مدل رگرسیون پواسون، فرض برابری میانگین و واریانس داده‌های تصادف است که به ندرت در داده‌های تصادف اتفاق می‌افتد. مدل NB می‌تواند به بیش پراکندگی داده‌های تصادف که رویدادی متداول است رسیدگی کند زیرا یک عبارت خطا دارد که به پارامتر پواسون متصل است و مدل را از فرض برابری میانگین داده‌های تصادف با واریانس آنها، بصورت رابطه (۵) آزاد می‌کند.

$$\lambda_i = EXP(\beta X_i + \varepsilon_i) \qquad (۵)$$

عبارت $EXP(\varepsilon_i)$ توزیع گاما با میانگین ۱ و واریانس α است. واریانس α پارامتر بیش پراکندگی نیز نامیده می‌شود. مدل NB وقتی مقدار α برای داده‌های غیرپراکنده به صفر نزدیک است، به یک مدل پواسون ساده کاهش می‌یابد. با اعمال عبارت خطا، احتمال تصادف y در تقاطع i در دوره مطالعه بصورت زیر تغییر می‌کند.

$$\mathrm{P}(y_i/\varepsilon) = \frac{exp[-\lambda_i exp(\varepsilon_i)][\lambda_i exp(\varepsilon_i)]^{y_i}}{y_i!} \qquad (٦)$$

انتگرال‌گیری از عبارت خطا در رابطه (٦) منجر به توزیع غیرشرطی فراوانی تصادف بصورت معادله (۷) خواهد شد.

$$P(y_i) = \frac{\Gamma(\theta+\lambda_i)}{[\Gamma(\theta)\lambda_{i!}]} u_i^{\theta}(1-u_i)^{y_i} \qquad (۷)$$

که $u_i = \theta/(\theta + y_i)$ و $\theta = 1/\alpha$ است. با بیشینه کردن تابع درستنمایی رابطه (۸) ضرایب α و β تخمین زده می‌شوند (Washington et al., 2020).

$$L(\lambda_i) = \prod_{i=1}^{N} \frac{\Gamma(\theta+\lambda_i)}{\Gamma(\theta)\lambda_{i!}} \left[\frac{\theta}{\theta+\lambda_i}\right]^{\theta} \left[\frac{\lambda_i}{\theta+\lambda_i}\right]^{y_i} \qquad (۸)$$

که N تعداد کل نمونه‌هاست. رابطه (۹) که در آن α واریانس خطا (معیار پراکندگی) است، اجازه می‌دهد که واریاس متفاوت از میانگین باشد.

$$Var[y_i] = E(y_i)[1+\alpha E(y_i)] = E[y_i] + \alpha E(y_i)^2 \quad (۹)$$

۴-۲- انتخاب متغیرهای مستقل

مطالعات پیشین چندین عامل موثر در ایمنی عابرین را شناسایی نموده‌اند. این عوامل شامل سرعت وسیله نقلیه (Avinash et al., 2019)، طرح هندسی (Zhang et al., 2019; Lin et al., 2019; Jung et al., 2016)، حجم ترافیک (Zhang et al., 2017) و رفتار عابرین (Esmaili et al., 2021) هستند. از آنجا که رفتار عابرین نیازمند تحلیل ریسک دقیق و در برخی موارد با استفاده از شبیه سازی‌های پیچیده است، از فرآیند انتخاب متغیرهای مستقل حذف شد و فرآیند انتخاب بر روی دسته‌های سرعت، طرح هندسی و حجم ترافیک با توجه به نوع تقاطع مورد مطالعه (تقاطع با کنترل توقف) متمرکز شد. در نهایت، با توجه به اینکه اکثر مطالعات ایمنی بر اساس هدف تحقیق و عملی بودن جمع‌آوری داده‌ها متغیرها را انتخاب می‌نمایند (Okafor et al., 2023) متغیرهای نهایی منتخب در این تحقیق طبق جدول (۱) در نظر گرفته شد، همچنین پارامترهای مربوط به آنها برای توسعه مدل پیشبینی تصادف عابرین پیاده نیز در این جدول ارائه شده است.

جدول ۱. پارامترهای متغیرهای مدل پیشبینی تصادف عابرین

متغیر	نماد	حداقل	حداکثر	میانگین	واریانس
ADT	ADT	۲۷۲۱	۶۸۹۰۳	۳۱۳۱۶	۱۸۶۳۲۵۷۴۶
حجم عابرین	V-p	۳۳	۱۷۶۵۹	۲۷۵	۷۱۲۲۱۶۸
وجود خط گردش به چپ	N-L	۰	۱	۱،۸۷	۲/۷۱
وجود پارکینگ در خیابان	P	۰	۱	۰،۴۵	۰/۲۵
وجود سرعت کاه قبل از تقاطع	HS	۰	۱	۰،۵۴	۰/۲۵

وجود خط گردش به چپ، وجود پارکینگ در خیابان و وجود سرعت کاه، متغیرهای باینری هستند و مقدار آنها ۰ یا ۱ است. در صورت وجود مقدار آنها ۱ و در غیر اینصورت مقدار آنها صفر خواهد بود. این متغیرها در فاصله ۵۰۰ متری تقاطع قابل بررسی هستند.

۴-۳- تعیین ضرایب متغیرهای مستقل مدل

با استفاده از نرم افزار SPSS ضرایب متغیرهای مدل تعیین شد که در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج در جدول (۲) ارائه شده است. معناداری تمام متغیرها به دلیل آنکه کمتر از ۰/۰۵ هستند با سطح اطمینان ۹۵ درصد تایید می شود. این بدان معناست که بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته (تعداد تصادفات عابرین) ارتباطی معنادار وجود دارد. برای بررسی عدم هم خطی بین متغیرهای مدل از آماره عامل تورم واریانس[۶] (VIF) استفاده می‌شود. به گفته محققان اگر مقدر این آماره برای متغیری بیش از ۵ باشد می بایست از مدل حذف گردد (James et al., 2017) مقدار این آماره طبق رابطه (۱۰) محاسبه می گردد (James et al., 2017).

$$VIF_i = \frac{1}{1-R_i^2} \quad (۱۰)$$

که در آن R_i^2 ضریب تعیین متغیر i است و طبق رابطه (۱۱) محاسبه می گردد (Koohi & Shabani, 2020) :

$$R^2 = \frac{\sum(O-O_m)(P-P_m)}{\sqrt{\sum(O-O_m)^2 \sum(P-P_m)^2}} \quad (۱۱)$$

که در آن O تعداد مشاهده شده تصادفات، P تعداد پیشبینی شده تصادفات، O_m میانگین تصادفات مشاهده شده و P_m میانگین تصادفات پیش بینی شده است. هر چه مقدار این آماره به ۱ نزدیکتر باشد دقت پیشبینی بیشتر است و مقدار ۱ نشان دهنده برابر بودن تعداد مشاهده شده و پیش بینی شده است (Koohi & Shabani, 2020). نتایج آماره هم خطی بودن در

جدول (۲) نشان می دهد که مشکل هم خطی بین متغیرهای مدل وجود ندارد.

جدول ۲. ضرایب متغیرهای مستقل با نرم افزار SPSS

متغیر	ضریب	سطح معناداری	VIF
ثابت مدل	- ۲/٦٥۱٦	۰/۰۰۰	
ADT	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰	۱/۰۷۳
V-p	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰	۱/۰۲۸
N-L	۰/۲٤۰۳	۰/۰۰۰	۱/۰۷٥
P	۰/٥٥۱۳	۰/۰۰۰	۱/۰۸۳
HS	- ۰/٤۳۲۲	۰/۰۰۰	۱/۰۳٥

٤-٤- ارزیابی عملکرد مدل

در نرم افزار SPSS برای ارزیابی عملکرد مدل، آماره ضریب همبستگی R، آماره ضریب تعیین R^2، آماره خطای استاندارد و آماره دوربین واتسون بررسی می‌شوند. مقادیر این آماره‌ها برای مدل توسعه داده شده در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳. ارزیابی عملکرد مدل با استفاده از نرم افزار SPSS

آماره	مقدار
ضریب همبستگی (R)	۰/۷٦۷
ضریب تعیین (R^2)	۰/۷۱۸
خطای استاندارد تخمین	۰/٥۸٦۹۳۲٥
دوربین واتسون	۲/۲٦٥

ضریب همبستگی (R) نوع (مستقیم یا معکوس) و شدت رابطه متغیرها را نشان می‌دهد. مقدار این ضریب بین ۱ تا ۱- است. هر چه این مقدار به ۱ نزدیکتر باشد نشان از رابطه قویتر متغیرها دارد (و بالعکس). مقدار این ضریب برای مدل توسعه داده شده در این تحقیق طبق جدول (۳) برابر ۰/۷٦۷ است که یک رابطه قوی بین متغیرها را نشان می‌دهد. ضریب تعیین (R^2) یکی از مهمترین و شاید معروف ترین آماره سنجش نیکویی برازش مدل است. روش محاسبه این آماره مطابق رابطه (۱۲) است. هرچه این مقدار به ۱ نزدیکتر باشد عملکرد مدل بهتر است. مقدار ۰/۷۱۸ برای مدل توسعه داده شده نشان دهنده این است که مدل داده‌ها را به خوبی برازش نموده است. معیار خطای استاندارد، دقت تخمین ضرایب مدل را اندازه می‌گیرد. همچنین تخمینی از انحراف استاندارد ضرایب است. مقدار کمتر این معیار نشان دهنده دقت بیشتر مدل است. مقدار خطای استاندارد حدود ۰/۵۸ نشان دهنده دقت مناسب مدل است. آماره دوربین- واتسون ابزاری برای سنجش خودهمبستگی باقیمانده‌های رگرسیون است. مقدار این آماره بین ۰ تا ٤ متغیر است. مقدار نزدیک به ۰ و نزدیک به ٤ به ترتیب همبستگی مثبت و منفی را نشان می دهند. مقدار نزدیک به ۲ نشان دهنده عدم همبستگی متوالی بین باقیمانده‌ها است. در کل مقدار بین ۱/۵ تا ۲/۵ مقداری است که عدم مشکل را نشان می‌دهد (Habibi & Sarabadani, 2022). مقدار ۲/۲٦٥ این آزمون برای مدل پژوهش حاضر نشان می‌دهد که بین باقیمانده‌های مدل همبستگی وجود ندارد.

٤-٥- اعتبارسنجی مدل

دو آماره مهم برای اعتبارسنجی مدل‌های آماری در نرم افزار SPSS آماره خطای جذر میانگین مربع[۷] (RMSE) و میانگین خطای مطلق[۸] (MAE) هستند. نتایج اعتبارسنجی مدل با این آماره‌ها در جدول (٤) ارائه شده است.

RMSE مطابق رابطه (۱۲) محاسبه می‌گردد. مقدار نزدیک به صفر نشان می‌دهد که نتایج با داده‌ها به خوبی انطباق دارند (Koohi & Shabani, 2020).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2} \qquad (۱۲)$$

که O تعداد مشاهده شده تصادفات و P تعداد پیشبینی شده تصادفات است.

MAE مطابق رابطه (۱۳) محاسبه می‌گردد، مقدار نزدیک به صفر MAE نشان می‌دهد که مدل پیشبینی بهتری دارد (Koohi & Shabani, 2020).

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sum|O_i - P_i| \qquad (۱۳)$$

که O تعداد مشاهده شده تصادفات و P تعداد پیشبینی شده تصادفات است. مقادیر ۰/٤٥۱ و ۰/۳۷۲ برای به ترتیب RMSE و MAE نشان می‌دهد که مدل توسعه داده شده اعتبار لازم را دارد.

جدول ۵. نتیجه آزمون اعتبارسنجی مدل

آماره	مقدار
RMSE	۰/٤٥۱
MAE	۰/۳۷۲

۵- نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق، توسعه مدلی آماری برای پیشبینی فراوانی تصادفات عابرین پیاده در تقاطع های با کنترل توقف در محیط‌های شهری بود. مدلسازی رگرسیونی دوجمله ای منفی بر روی مجموعه داده حاصل از تصادفات دوره ۱۱ ساله شهرهای استان ایلام انجام شد. فهرستی از متغیرهای مناسب برای مدلسازی بر اساس مطالعات پیشین تهیه و با کمک نرم افزار SPSS متغیرهای مستقل معنادار و ضرایب آنها انتخاب شدند. متغیرهای معنادار شامل وجود سرعت‌کاه قبل از تقاطع، وجود پارکینگ در خیابان، تعداد خطوط گردش به چپ، حجم تردد عابرین و ADT بودند. نتایج مدلسازی نشان داد که وجود سرعت کاه قبل از تقاطع می‌تواند تصادفات عابرین را کاهش دهد ولی با افزایش سایر متغیرها، تصادفات عابرین افزایش خواهد یافت. پس از مشخص شدن فرم ریاضی مدل، آزمون‌های آماری با کمک نرم افزار SPSS برای تایید مدل انجام شد. مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰/۷۱۸ برای ارزیابی عملکرد مدل نشان از مناسب بودن مدل دارد. برای بررسی اعتبارسنجی مدل سنجه‌های آماری ریشه میانگین مربع خطا و میانگین مطلق خطا به کار گرفته شدند. نتایج این آزمون مقادیر ۰/٤۵۱ و ۰/۳۷۲ را به ترتیب برای سنجه‌های ذکر شده نشان داد که اعتبار مدل را تایید نمود.

۵- پی‌نوشت‌ها

1. Shankar
2. Munira
3. Schneider
4. Moini and Liu
5. Negative Binomial (NB)
6. Variance Inflation Factor
7. Root Mean Square Error
8. Mean Absolute Error

٦- مراجع

-حبیبی، آرش.، سرآبادانی، مونا (۱٤۰۱). آموزش کاربردی SPSS، تهران، نارون.

-کوهی، محمد و صفارزاده، محمود (۱٤۰۱). اثربخشی اجرای همزمان اقدامات اصلاحی در نقاط پرتصادف (مطالعه موردی: محور ملایر- جوکار). *پژوهشنامه حمل و نقل*، دوره ۱۹، شماره ۲. ۱٦۰-۱٤۹.

-کرمی، محمد. و کوهی، محمد (۱۳۹۹). ارزیابی درک رانندگان شهر ایلام از خطرهای ترافیکی. *دو فصلنامه فرهنگ ایلام*، دوره بیست و یکم، شماره ٦۸ و ٦۹، پاییز و زمستان، ۲۵۸-۲۳۷.

-کوهی، محمد و شعبانی، شاهین (۱۳۹۹). مدلسازی فراوانی تصادفات در تقاطع‌های سه شاخه شهری. *فصلنامه جاده*، دوره ۲۸، شماره ۱۰۳. ۵۰-۳۷.

-AASHTO (2010). American Association of State Highway and Transportation Officials. *Highway Safety Manual*, Washington, D.C.

-Avinash, C., Jiten, S., Arkatkar, S., Gaurang, J., Manoranjan, P., (2019). Evaluation of pedestrian safety margin at mid-block crosswalks in India. *Saf. Sci. 1* (119), 188–198.

-BITRE, (2021). International Road Safety Comparisons, *BITRE,* Canberra.

-Chang, L. Y. (2005). Analysis of freeway accident frequencies: negative binomial regression versus artificial neural network. *Safety Science,* 43(8), 541-557.

-Dhoke, A., Choudhary, P., (2024). Temporal and spatial compliance behaviour of pedestrians under the influence of time pressure at signalized intersections: A pedestrian simulator study, *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 11 (1), 55-68.

-Dong, B., Ma, X., Chen, F., (2018), Analyzing the Injury Severity Sustained by NonMotorists at Mid-Blocks considering Non-Motorists' Pre-Crash Behavior, Transportation Research Record. *Journal of the Transportation Research Board,* 2672 (38), 138–148.

-Esmaili, A., Aghabayk, K., Parishad, N., Stephens, A.N., (2021), Investigating the interaction between pedestrian behaviors and crashes through validation of a pedestrian behavior questionnaire (PBQ), *Accid. Anal. Prev, 1* (153), 106050.

-Greibe, P. (2003). Accident prediction models for urban roads. *Accident Analysis & Prevention*, 35, 273–285.

-Lord, D., Qin, X., Geedipally, S.R., (2021). Highway Safety Analytics and Modeling, *Elsevier.*

-Marisamynathan, S., Vedagiri, P., (2018). Modeling pedestrian crossing behavior and safety at signalized intersections. *Transportation Research Record,* 2672, 76-86.

-Mukherjee, D., Mitra, S., (2022). What affects pedestrian crossing difficulty at urban intersections in a developing country?, *IATSS Research,* 46, 586–601.

-Moini, N., Liu, R.R., (2013). Geospatial analysis of pedestrian and cyclist crashes in an urbanenvironment: A case study. Transportation Research Board 92nd Annual Meeting. *Washington DC. Transportation Research Board.*

-Sirajum Munira, S., Sener, I.N., Dai, B., (2020). A Bayesian spatial Poisson-lognormal model to examine pedestrian crash severity at signalized intersections, *Accident Analysis & Prevention,* 144, 105679.

-Oh, J.S., Kwigizile, V., Van Houten, R., McKean, J., Abasahl, F., Dolatsara, H., Wegner, B., Clark, M., (2013). Development of Performance Measures for Non-Motorized Dynamics (No. RC-1603).

-Okafor, S., Liu, J., Kofi Adanu, E., Jones, S., (2010). Behavioral pathway analysis of pedestrian injury severity in pedestrian-motor vehicle crashes, *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives,* 18, 100777.

-Peng, H., Ma, X., Chen, F., (2020). Examining Injury Severity of Pedestrians in Vehicle Pedestrian Crashes at Mid-Blocks Using Path Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (17), 6170.

-Salehian, A., Aghabayk, K., Seyfi, M.A., Shiwakoti, N., (2023). Comparative analysis of pedestrian crash severity at United Kingdom rural road intersections and Non-Intersections using latent class clustering and ordered probit model, *Accident Analysis and Prevention,* Vol. 192: 107231.

-Harwood, D. W., Bauer, K. M., Richard, K. R., Gilmore, D. K., Graham, J. L., Potts, I. B., & Hauer, E. (2008). Pedestrian Safety Prediction Methodology - NCHRP (National Cooperative Highway Research Program). Retrieved from Transportation Research Board. http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_w129p3.pdf.

-IRAP, (2013). International Road Assessment Program. *Methodology.*

-James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibashirani, R., (2017). An Introduction to Statiscal Learning (7th ed.), *Springer Press.*

-Jashami, H., Anderson, J.C., Mohammed, H.A., Cobb, D.P., Hurwitz, D, S., (2024). Contributing factors to right-turn crash severity at signalized intersections: An application of econometric modeling. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 13, 243–257.

-Jung, S., Qin, X., Oh, C., (2016). Improving strategic policies for pedestrian safety enhancement using classification tree modeling, Transp. Res. *A Policy Pract, 1 (85)*, 53–64

-Kumar, A., Ghosh, I., (2022). Non-compliance behaviour of pedestrians and the associated conflicts at signalized intersections in India, *Safety Science,* 147, 105604.

-Lee, C.; Abdel, A. M. (2005), Comprehensive Analysis of Vehicle-pedestrian Crashes at Intersections in Florida, *Accident Analysis and Prevention,* 30 (4), 775-786.

-Lin, P.S., Guo, R., Bialkowska-Jelinska, E., Kourtellis, A., Zhang, Y., (2019). Development of countermeasures to effectively improve pedestrian safety in low-income areas. *J. Traff. Transp. Eng.* (Engl. Ed.) 6 (2), 162–174.

-Lord, D., 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), 291-305.

infrastructure and traffic control on severity of pedestrian–vehicle crashes at intersections and non-intersections using bias-reduced logistic regression, *IATSS Research*, 47, 233–239.

-USDOT. (1989). Annual Report on Highway Safety Improvement Programs. *United States Department of Transportation.*

-Washington, S., Karlaftis, M.G., Mannering, F., Anastasopoulos, P., (2020). Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis, third ed. *CRC Press - Taylor & Francis Group,* New York, N.Y.

-Zahabi, S.A., Strauss, J., Manaaugh, K., Miranda-Moreno, L., (2011). Estimating the Potential Effect of Speed Limits, Built Environment and Other Factors on the Pedestrian and Cyclist Injury Severity Levels in Traffic Crashes. Transportation Research Board 90th Annual Meeting. Washington DC. *Transportation Research Board.*

-Zhang, C., Zhou, B., Chen, G., Chen, F., (2017). Quantitative analysis of pedestrian safety at uncontrolled multi-lane mid-block crosswalks in China. *Accid. Anal. Prev.* 1 (108), 19–26.

-Zhang, C., Chen, F., Wei, Y., (2019). Evaluation of pedestrian crossing behavior and safety at uncontrolled mid-block crosswalks with different numbers of lanes in China. *Accid. Anal. Prev.* 1 (123), 263–273.

-Schneider, R. J., Arnold, L.S., Attaset, V., Ragland, D.R., (2010). Association between Roadway Intersection Characteristics and Pedestrian Crash Risk in Alameda County, California. Transportation Research Board of National Academics, *Journal of Transportation Research Board,* No. 2198, 41-51.

-Schneider, R. J., Ryznar, R. M., & Khattak, A. J. (2004). An Accident Waiting to Happen: a Spatial Approach to Proactive Pedestrian Planning. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 36, No. 2, 193-211.

-Shankar, V. N., Ulfarsson, G. F., Pendyala, R. M., & Nebergall, M. B. (2003). Modeling crashes involving pedestrians and motorized traffic. *Safety Science*, 41.7, 627-640.

-Shrinivas, V., Bastien, C., Davies, H., Daneshkhah, A., Hardwicke, J., (2023). Parameters influencing pedestrian injury and severity – A systematic review and meta-analysis, *Transportation Engineering*, Vol. 11, 100158.

-Singh, M., Cheng, W., Gopalakrishnan, R., et al., (2022). Exploration of the contributing factors to the walking and biking travel frequency using multi-level joint models with endogeneity. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 9 (6), 1044-1054.

Tanishita, M., Sekiguchi, Y., Daisuke Sunaga, D., (2023). Impact analysis of road

Modeling of Pedestrians Crashes in Urban Stop Control Intersections

Mohammad Koohi, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering, Payam Noor University (PNU), Tehran, Iran.

Shahin Shabani, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Payam Noor University (PNU), Tehran, Iran.

E-mail: m.koohhi@gmail.com

Received: November 2024- Accepted: February 2025

ABSTRACT

Direct and circular flows in the intersection by creating interference between vehicles and pedestrians have caused these points to have a high potential for pedestrian Crashes. Safety analysis of pedestrians at intersections with different methods such as statistical modeling is of great importance. The aim of the current research is to develop a statistical model for predicting pedestrian Crashes in urban intersections with stop control based on the most important factors affecting pedestrian Crashes. To achieve this goal, the Safety data of intersections with stop control in the urban environments of Ilam province have been used as a database for modeling. The modeling method in this research was negative binomial regression modeling. Based on previous studies, a complete list of influential variables was prepared and their coefficients were determined with the help of SPSS software, and then significant variables were selected for modeling. Significant variables included the presence of hump speed before the intersection, the presence of parking on the street, the number of left turn lanes, the volume of pedestrians and ADT. The performance evaluation results, verification and validation of the model were done with the help of SPSS software. The results of the statistical tests showed the full verification of the model.

Keywords: Regression Modeling, Pedestrians, Stop Control Intersections