Modares Civil Engineering Journal

Volume 26, Issue 2, 2026, 33-47
DOI: 10.48311/mcej.2025.99117.0

Tarbiat Modares University

Prediction of Accidents at Rail-Road Grade Crossings Using the Poisson Mode

Seyed Ali Mosayebi[1], Mohammad Hosseini[2], Reza Mohammad Hasany[1*]

1. Assistant Professor, School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
2. Master of Science, School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology,Tehran, Iran.

Abstract

Rail transportation holds a significant position among transportation modes due to its cost-effectiveness and high safety. However, the intersection of road and rail networks at level crossings reduces the safety of these points due to the direct connection of the rail infrastructure with road users and pedestrians. The growth of rail and road networks due to increased population and travel has increased the number of these crossings, which has led to an increase in the number of accidents, which are usually of high severity, and this has caused additional costs and delays. Therefore, there is a need for systematic methods to prioritize crossings to improve safety.

The present study includes sections of introduction, literature review, data description, statistical collection and analysis, modeling, validation, discussion, and results. This study aims to examine the factors influencing the number of accidents at these crossings and propose a method for prioritizing authorized level crossings in Iran, with an emphasis on improving safety. The research is based on 10 years of data up to 2022, demographic block data from 2006, and the characteristics of 130 level crossings. It employs the Zero-Inflated Poisson (ZIP) model, which offers higher accuracy than previous studies conducted in Iran. Additionally, this study seeks to diversify the influential variables and explore their relationships with accidents at level crossings.The model consists of two components: The Poisson component, which examines the number of accidents at the studied crossings, is influenced by factors such as road usage type, the male-to-female population ratio within an 8 km radius of the crossing, the distance to the nearest intersection, the total number of passing trains, the total population within an 8 km radius, and the number of railway tracks at the intersection. Given the positive coefficients of these factors in the model, an increase in any of them is expected to result in a higher number of accidents at the crossings. However, an increase in the number of railway tracks at the intersection leads to a reduction in accidents. The second component, the logistic component, evaluates the probability of no accidents occurring at a crossing. Factors such as the presence of an alternative route when the crossing is closed, the male-female population difference within an 8 km radius, and the average daily road traffic influence this probability. Specifically, an increase in the first two factors enhances the probability of no accidents, while an increase in road traffic reduces this probability.

These findings have several important practical applications. First, urban planners and transportation officials can effectively use this model to identify high-risk crossings and prioritize safety measures such as improving warning signs, increasing lighting, and installing automatic protective barriers. Second, integrating detailed population data into rail safety assessments can lead to more targeted and efficient safety interventions, as population distribution can significantly affect crash risk. Third, policymakers can implement necessary changes to road infrastructure to reduce crash risk, such as modifying steep angles at intersections and optimizing overall traffic flow near crossings. Finally, given the proven effectiveness of alternative routes in reducing crashes, designing additional lanes for crossings with high traffic volumes can be considered an effective and sustainable safety strategy.

Review History
Received: Nov 14, 2024
Revised: Aug 11,2025
Accepted: Nov 8, 2025

Keywords
Grade crossing
Accident prediction
Statistical models
Zero-Inflated Poisson model

* Corresponding Author Email: rmhasany@iust.ac.ir - ORCID: 0000-0002-0488-9711

Copyright © 2026, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

مجله علمی مهندسی عمران مدرس

دوره ۲۶، شماره ۲، سال ۱۴۰۵ - صفحات ۳۳ تا ۴۷

DOI: 10.48311/mcej.2025.99117.0

پیش‌بینی تعداد تصادفات در گذرگاه‌های هم‌سطح ریل- جاده با بهره‌گیری از مدل پواسون

سید علی مسیبی[۱]، محمد حسینی[۲]، رضا محمدحسنی[۱*]

۱. استادیار، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

۲. کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

چکیده

حمل‌ونقل ریلی به دلیل اقتصادی بودن و ایمنی بالا جایگاه ویژه‌ای در بین شیوه‌های حمل‌ونقلی دارد. اما تلاقی شبکه‌های جاده‌ای و ریلی در گذرگاه‌های هم‌سطح ایمنی شبکه ریلی را کاهش داده و خسارات مالی و جانی به دنبال دارد. پژوهش حاضر با هدف بررسی عوامل مؤثر بر تعداد تصادفات در این گذرگاه‌ها و ارائه روشی برای اولویت‌بندی گذرگاه‌های هم‌سطح مجاز ایران با تأکید بر بهبود ایمنی، بر اساس داده‌های ۱۰ ساله منتهی به ۱۴۰۱ و بلوک جمعیتی سال ۱۳۸۵ شمسی و مشخصات ۱۳۰ گذرگاه هم‌سطح انجام‌شده و از مدل پواسون صفر آماسیده که نسبت به تحقیقات پیشین در ایران دقت بالاتری دارد، استفاده کرده است همچنین پژوهش حاضر به دنبال و تنوع‌بخشی به متغیرهای مؤثر و ارتباط آن‌ها بر تصادفات گذرگاه‌ها است. این مدل شامل دوبخش است: بخش پواسونی که تعداد تصادفات در گذرگاه‌های یاد شده را بررسی می‌کند تحت تأثیر عواملی همچون: نوع کاربری جاده، نسبت جمعیت مردان به زنان در ۸ کیلومتری گذرگاه، فاصله تا نزدیک‌ترین تقاطع، تعداد کل قطارهای عبوری، جمعیت کل در محدوده ۸ کیلومتری گذرگاه و تعداد خطوط راه‌آهن موجود در تقاطع می‌باشد با توجه به ضرایب مثبت این عوامل در مدل، می‌توان انتظار داشت که در صورت افزایش در هریک از آن‌هاما شاهد افزایش تعداد تصادفات در گذرگاه‌های یاد شده باشیم. ولی افزایش تعداد ریل در تقاطع به کاهش تصادفات می‌انجامد. بخش دوم مدل، بخش لجستیک است که احتمال عدم وجود تصادف در گذرگاه را ارزیابی می‌کند. عواملی مانند وجود جایگزین هنگام بسته بودن گذرگاه، اختلاف جمعیتی مردان از زنان در ۸ کیلومتری گذرگاه و میانگین روزانه ترافیک جاده‌ای بر این احتمال اثرگذارند، به طوری‌که با افزایش دو عامل نخست احتمال عدم وجود تصادف در گذرگاه را افزایش و با افزایش ترافیک، این احتمال کاهش می‌یابد.

تاریخچه داوری

دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۴

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۷

کلمات کلیدی

گذرگاه هم‌سطح

پیش‌بینی تصادفات

مدل‌های آماری

مدل پواسون صفرآماسیده

۱- مقدمه

حمل بار و مسافر توسط شبکه ریلی از نظر ایمنی اهمیت بالایی دارد اما گذرگاه‌های هم‌سطح به دلیل ارتباط مستقیم زیرساخت‌های ریلی با کاربران جاده و عابران، باعث کاهش ایمنی این نقاط می‌شوند. رشد شبکه‌های ریل و جاده به دلیل افزایش جمعیت و سفرها، تعداد این گذرگاه‌ها را افزایش داده که موجب افزایش تعداد تصادفات می‌شود که معمولاً شدت بالایی دارند و این باعث هزینه‌های اضافی و تاخیر شده است. بنابراین وجود روش‌های سیستماتیک برای اولویت‌بندی گذرگاه‌ها برای بهبود ایمنی ضروری است.

برای درک ضرورت اهمیت بررسی موضوع می‌توان نگاهی به آمار فرکانس تصادفات در گذرگاه‌های هم‌سطح کرد. در کشور

* رایانامه نویسنده مسئول: rmhasany@iust.ac.ir – ORCID: 0000-0002-0488-9711

کپی‌رایت © ۲۰۲۶، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس (TMU Press). این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد منتشر شده و تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 قرار دارد (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0). بر اساس این مجوز، شما می‌توانید این مطلب را در هر قالب و رسانه‌ای کپی، بازنشر و بازآفرینی کنید و یا آن را ویرایش و بازسازی نمایید، به شرط آنکه نام نویسنده را ذکر کرده و از آن برای مقاصد غیرتجاری استفاده کنید.

آمریکا از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ میلادی تعداد تصادف‌های گزارش‌شده در گذرگاه‌های هم‌سطح ۱۲۶۰۷ عدد بوده که منجر به مرگ ۱۵۱۶ نفر و جراحت ۵۱۰۴ نفر شد [1]. از سویی دیگر در این کشور هر سه ساعت شاهد برخورد قطار با یک نفر است که در سال ۲۰۱۴ منجر به مرگ ۲۷۰ نفر شد همچنین از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ در ایالت فلوریدا با دارا بودن ۴۵۰۳ گذرگاه، ۱۶۴۹ تصادف گزارش شد که منجر به مرگ ۲۶۸ نفر و زخمی شدن ۷۵۵ نفر شد [2]. همه این موارد در صورتی است که کشور آمریکا روند فرکانس تصادفات در گذرگاه‌ها را بین سال‌های ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۳ میلادی، شصت‌ونه درصد کاهش داد [3]. در اتحادیه اروپا بیش از یک‌سوم تصادفات شبکه ریل مربوط به تصادفات در گذرگاه‌های هم‌سطح می‌شود که سالانه بیش از سیصد نفر کشته می‌گیرد این در حالی است که در کشورهای شرقی این اتحادیه تصادفات گذرگاه‌ها بیش از نیمی از کل سوانح ریلی را شامل می‌شود [4]. با این وجود سهم تصادفات در گذرگاه‌های هم‌سطح از کل سوانح ریلی در کشور کره جنوبی حدود نودوپنج درصد است که بیست درصد این تصادفات منجر به مرگ‌ومیر می‌شود [5]. مجارستان با ۵۸۰۰ گذرگاه ثبت‌شده در سال ۲۰۱۴ شاهد ۷۰ تصادف بود که منجر به ۱۰ نفر فوتی و ۲۱ نفر زخمی شد [6]. در تایوان در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ میلادی ۴۱۰ تصادف گزارش شد که منجر به ۱۲۵ فوتی و ۱۵۳ نفر زخمی شد [7]. میانگین سالانه تصادفات در گذرگاه‌های هم‌سطح ایران ۱۲۳ عدد است که ۶۱ نفر فوتی و ۲۱ نفر زخمی به همراه دارد [8]. برای مقایسه وضعیت تصادفات در گذرگاه‌های ایران نسبت به آمریکا می‌توان میانگین سالانه تعداد تصادفات را بر تعداد گذرگاه‌های کشور مربوطه تقسیم کرد و به بررسی و مقایسه پرداخت. میانگین تعداد تصادفات سالانه در گذرگاه‌های آمریکا مابین ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۴ میلادی، ۲۴۸۷ عدد تصادف است و تعداد گذرگاه‌های این کشور ۲۴۳۲۱۰ گذرگاه است که این شاخص برای آمریکا ۰,۰۱ است [9]. در ایران در سال‌های مذکور به‌صورت میانگین سالانه ۴۸ تصادف ثبت شده است و در زمان یادشده ۲۴۳ گذرگاه گزارش‌شده است که درنهایت این شاخص برای ایران ۰,۲ است که حدود بیست برابر عدد آمریکا است [8].

سیاست رایج در ایران برای بهبود ایمنی گذرگاه‌های هم‌سطح، جداسازی آن‌هاست که البته به دلیل منابع محدود نرخ جداسازی در سال ۲۰۱۱ حدود پانزده تا بیست گذرگاه است [10]. پژوهش‌های زیادی در رابطه با پیش‌بینی تصادفات در گذرگاه‌های ریل و جاده انجام‌شده است اما استفاده از مدل‌های آماری به دلیل پیش‌بینی و بیان ارتباط تعداد تصادفات گذرگاه با عوامل مؤثر بر آن، جایگاه ویژه‌ایی دارد و در سال‌های اخیر در حال افزایش است [1-6, 11-15]. در این راستا استفاده از مدل پواسون به عنوان اولین گام در مدل‌سازی داده‌های تصادفات گذرگاه مدنظر است [5]. وجود تعداد زیاد صفرها و پراکندگی کمتر یا بیش‌ازحد داده‌ها دقت مدل‌ها پواسون را کاهش می‌دهد. از سویی مدل دوجمله‌ای منفی در مواجهه با پراکندگی کم و دو مدل یادشده با تعداد صفرهای زیاد داده‌ها محدودیت دارند [16]. مدل‌های صفرآماسیده علاوه بر پوشش مناسب محدودیت‌های یادشده در سال‌های اخیر موردتوجه پژوهشگران قرارگرفته است [12]. این در حالی است که پژوهش‌های اخیر در رابطه با مدل‌سازی تعداد تصادفات در گذرگاه‌های ایران با استفاده از مدل‌سازی پواسون [15] و دوجمله‌ای منفی [8] انجام‌گرفته است محدودیت‌های ذکرشده را کامل در نظر نگرفتند ازاین‌رو یکی از اهداف اصلی پژوهش پوشش این خلأ در رابطه با مدل‌سازی داده‌های تعداد تصادفات گذرگاه‌های هم‌سطح مجاز ایران است.

از سویی به دلیل استفاده از داده‌های مشترک در کارهای گذشته، این پژوهش‌ها فاقد تنوع در متغیرهای مؤثر در تصادفات گذرگاه‌ها هستند. بر اساس آمار منتشرشده کشور آمریکا ۷۵ درصد افراد درگیر تصادفات گذرگاه‌ها در شعاع ۴۰ کیلومتری این مناطق و ۵۰ درصد افراد درگیر در تصادفات در گذرگاه‌ها در ۸ کیلومتری محل تصادف ساکن هستند [17]. این ارقام بیانگر در نظر گرفتن داده‌های جدیدی در رابطه با مدل‌سازی تعداد تصادفات در گذرگاه و متغیرهای مؤثر برآن است.در ادبیات موضوع تنها پژوهش خان و همکاران بود که با داده‌های سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ میلادی داکوتای شمالی و با مدل لاجیت به پیش‌بینی تصادفات در گذرگاه پرداخت و پنج فاکتور مهم ازجمله جمعیت ۸ کیلومتری گذرگاه، روی تصادفات گذرگاه مؤثر تشخیص داد [18]. و سایر پژوهش‌ها تنها به بررسی رابطه عوامل جمعیتی روی تصادفات گذشته داشتند پیش‌بینی از آینده تصادفات در گذرگاه ارائه نکردند [19, 20].

ازاین‌رو تمرکز این پژوهش، توسعه مدل با نگاهی دقیق و جامع نسبت به پارامترهای جمعیتی و ارتباط آن‌ها تعداد تصادفات پیش‌بینی‌شده است.

پژوهش حاضر شامل هفت بخش است: مقدمه: به معرفی موضوع و گپ تحقیقاتی، مرور ادبیات: به معرفی چهار مدل پرکاربرد آماری، توصیف داده‌ها: چگونگی گردآوری و تحلیل آماری، مدل‌سازی: معرفی فرآیند، نرم‌افزارها و متغیرهای مؤثر، اعتبارسنجی: به بررسی دقت مدل، بحث و نتایج: به تحلیل یافته‌ها و مقایسه با پژوهش‌های دیگر می‌پردازند و جمع‌بندی و پیشنهادها: نتایج کلی و توصیه‌هایی برای تحقیقات آینده را بیان می‌کند.

۲- مروری بر مدل‌های پیش‌بینی تعداد تصادفات

درزمینه پیش‌بینی تعداد تصادفات در گذرگاه‌های هم‌سطح مطالعات بسیاری صورت گرفته است. بر اساس پایگاه استنادی اسکوپوس این مطالعات در ایران حدود ۵ پژوهش است. در سال‌های اخیر به دلیل قابلیت توصیفی در کنار پیش‌بینی تعداد تصادفات مدل‌های خطی تعمیم یافته[1] مورد توجه پژوهشگران این حوزه قرارگرفته است. همچنین به دلیل ماهیت تعداد تصادفات مبنی بر گسسته بودن، غیرمنفی و تصادفی بودن قابلیت برازش خوبی توسط این مدل‌ها دارند. از سویی دیگر پراکندگی بیش یا کمتر از حد، محدودیت‌هایی هستند که معمولاً در اعداد تعداد تصادفات یافت می‌شوند [18]. این محدودیت‌ها در داده‌های تصادفات موجب ناکارآمدی پیش‌بینی تعداد تصادفات در گذرگاه توسط مدل پواسون می‌شود از سویی مدل دوجمله‌ای منفی، در مواجه با داده‌های با پراکندگی کم دچار محدودیت است. از سویی دیگر وجود تعداد صفرهای بیش‌ازحد در تعداد تصادفات باعث محدودیت در مدل‌های پواسون، دوجمله‌ای منفی می‌شود [16].

وجود این محدودیت‌ها باعث توسعه مدل‌های کلاسیک و به وجود آمدن مدل‌های خطی تعمیم‌یافته‌ایی با عناوین صفرآماسیده و هاردل شد [1]. در ادامه مطالعات انجام‌شده و مدل‌های مورداستفاده درزمینه پیش‌بینی تعداد تصادفات در گذرگاه‌های هم‌سطح مورد بحث و بررسی قرارگرفته است.

۲-۱- مدل پواسون

داده‌های شمارش تصادفات، با توجه صحیح و غیر منفی بودن با مدل رگرسیون پوآسن تقریب زده می‌شوند. در محاسبه تعداد تصادفات برای گذرگاه i به‌صورت فرمول ۱ است.

$$P(y_i) = \frac{e^{(-\lambda_i)}(\lambda_i{}^{y_i})}{y_i!} = \frac{e^{-\mu}(\mu^{y_i})}{y_i!} \quad (1)$$

در فرمول ۱، پارامتر پواسونی λ_i بیانگر تعداد تصادفات پیش‌بینی‌شده برای گذرگاه i است که برابر است با $E(y_i)$ که نشان‌دهنده تعداد تصادفات مورد انتظار در سال در گذرگاه i است.دراین مدل λ_i به‌صورت تابعی از متغیرهای توضیحی مطابق فرمول ۲ مشخص می‌شود.

$$log(\lambda_i) = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \cdots + \beta_m x_{im} \quad (2)$$

ضرایب β ، ضرایب رگرسیون را برآورد می‌کنند و Xها متغیر وابسته هستند

از آنجا که مدل رگرسیون پواسون هتروسکستیک[2] است تکنیک مورد استفاده برای برآورد ضریب رگرسیون $\hat{\beta}$ می‌تواند حداکثر سازی احتمال لگاریتم باشد درنتیجه جواب به دست آمده مطابق فرمول ۳ است.

$$L(\beta_i) = \prod_i \frac{exp(-exp(\beta x_i))\,(exp(\beta x_i))^{y_i}}{y_i!} \quad (3)$$

یک ویژگی توزیع پواسون که استفاده از این مدل را با محدودیت همراه می‌کند برابری میانگین و واریانس آن است که مطابق فرمول ۴ است.

$$Var"[Y]" = E"[Y]" = "\mu" \quad (4)$$

درصورتی‌که میانگین با واریانس برابر نباشد گفته می‌شود که داده‌ها بیش‌ازحد یا کم‌تر از حد پراکنده هستند. به صورت تجربی در داده‌های تصادفات راه‌آهن شاهد داده‌های بیش‌ازحد پراکنده هستیم [13, 5].

۲-۲- مدل دوجمله‌ای منفی

دوجمله‌ای منفی یک مدل آماری جایگزین است که معمولاً برای مقابله با داده‌های بیش‌ازحد پراکنده به کار می‌رود. توزیع دوجمله‌ای منفی مطابق فرمول زیر مدل‌سازی کرد:

[1] Generalized linear model (GLM)

[2] heteroscedastic

$$p_{NB}(X=k)=\frac{\Gamma\left(k+\frac{1}{\alpha}\right)}{\left(\Gamma(K+1)\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)\right)\left(\frac{1}{1+\alpha\lambda}\right)^{\frac{1}{\alpha}}\left(\frac{\alpha\lambda}{1+\alpha\lambda}\right)^{K}},k=0,1,2,\dots \quad (5)$$

که $p_{NB}(X=k)$ احتمال رخ دادن kتعداد تصادف و λ مقدار مورد انتظار برای تعداد تصادفات است و α پارامتر پراکندگی است.در توزیع دوجمله‌ای منفی رابطه بین واریانس و میانگین به صورت زیر است:

$$Var(X)=E(X)+\alpha E(X)^2 \quad (6)$$

که در آن پارامتر پراکندگی بیش‌ازحد است. اگر پراکندگی بیش‌ازحد برابر با صفر باشد، دوجمله‌ای منفی به مدل پواسون کاهش می‌یابد [1]. درواقع در این مدل با اضافه کردن یک عبارت به نام ε با توزیع گاما برای همه متغیرها به مساله اجازه خواهد داد تا میانگین و واریانس برابر نباشند [8].

$$log(\lambda_i)=\beta_0+\beta_1 x_{i1}+..+\beta_m x_{im}+\varepsilon \quad (7)$$

۲-۳- مدل پواسون صفر آماسیده

این مدل که توانایی پوشش تعداد صفرهای زیاد را دارد از دو بخش تشکیل‌شده است. یک مدل شمارشی و یک مدل لاجیت برای پیش‌بینی تعداد زیاد صفرها، به صورت کلی این مدل دوبخشی که شامل پواسون و لاجیت است به صورت فرمول ۹ است.

$$P(Y=y_i)=\begin{matrix}P_0+(1-P_0)P(y_i) & y_i=0\\ (1-P_0)P(y_i) & y_i>0\end{matrix} \quad (8)$$

در فرمول ۹، y_i: تعداد مورد انتظار تصادفات، P_0: احتمال اعداد صفرهای اضافه، $P(y_i)$: دارای یک توزیع پواسون است که پیشتر توضیح داده شد [1].

۲-۴- دوجمله‌ای منفی صفر آماسیده

این مدل دوبخشی شامل بخش تورم صفر یا مدل لاجیت که برای محاسبه مکان‌های با احتمال تصادف نزدیک به صفر است و بخش شمارش یا مدل دوجمله‌ای منفی برای شمارش تصادفات است.. قالب این مدل می‌تواند به صورت فرمول ۹ نوشته شود.

$$P(Y=y_i)=\begin{matrix}P_0+(1-P_0)g(y_i) & y_i=0\\ (1-P_0)g(y_i) & y_i>0\end{matrix} \quad (9)$$

$g(y_i)$: بیانگر مدل دوجمله‌ای منفی است، y_i: تعداد تصادفات مورد انتظار برای گذرگاه i، P_0: احتمال صفرهای زیاد [1].

۳- توصیف داده‌ها

در این پژوهش اطلاعاتی که مورد استفاده قرار گرفت به قرار زیر بود:

اطلاعات مشخصات گذرگاه‌های هم‌سطح مجاز، شامل ۲۳۰ گذرگاه که از اداره کل خط و سازه راه‌آهن جمع‌آوری شد.

تعداد تصادفات در گذرگاه‌های هم‌سطح، شامل مجموع ۱۲۸۰ تصادفات در گذرگاه‌های مجاز و غیرمجاز و ۱۱۹ تصادف ثبت‌شده در گذرگاه‌های مجاز از سال ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۱ شمسی که از اداره ایمنی راه‌آهن جمع‌آوری شد.

بلوک آماری جمعیت سال ۱۳۸۵ شمسی که از منابع اینترنتی جمع‌آوری شد [22, 23] و با استفاده از تعداد جمعیت کل هر شهر و تعداد کل خانوارها گزارش نفوس و مسکن سال ۱۳۸۵ مرکز آمار [24] برای اصالت داده‌های جمع‌آوری‌شده مورد بررسی قرار گرفت.

دیتاست مشخصات گذرگاه‌ها شامل نام اداره کل، نام محور، نام بلاک، نام گذرگاه، کیلومتراژ، مختصات جغرافیایی، تعداد خطوط ریلی، وجود راه‌بند، نوع راه‌بند، تعداد بوم، وضعیت هم‌سطح سازی، وضعیت علائم هشداردهنده، بیشترین سرعت قطار، تعداد قطارهای عبوری در شب و روز، شیب‌خط آهن در گذرگاه، هندسه خط آهن، نحوه عبور عابرین، زاویه تقاطع گذرگاه، هندسه و نوع کاربری جاده، ترافیک متوسط روزانه جاده، وضعیت دید کاربران جاده، شیب و تعداد لاین‌ها و درجه اهمیت جاده، وضعیت روشنایی گذرگاه، موقعیت گذرگاه، نام جاده، وضعیت هندسی و اختصاصی و عمومی بودن گذرگاه، ارتفاع خاک‌ریز و وجود جایگزین در صورت بسته بودن گذرگاه بود. متغیر وجود جایگزین در صورت بسته بودن گذرگاه، بیانگر این موضوع است که درصورتی‌که گذرگاه به دلایلی ازجمله عبور قطار، تصادف در گذرگاه و تعمیرات و نگهداری بسته‌شده باشد یک جایگزین مانند زیرگذر، تقاطع ریل و جاده دیگری در یک‌فاصله مشخص که این فاصله وابسته به شرایط جغرافیایی منطقه متغیر است، وجود دارد که کاربران جاده توانایی عبور از آن رادارند.

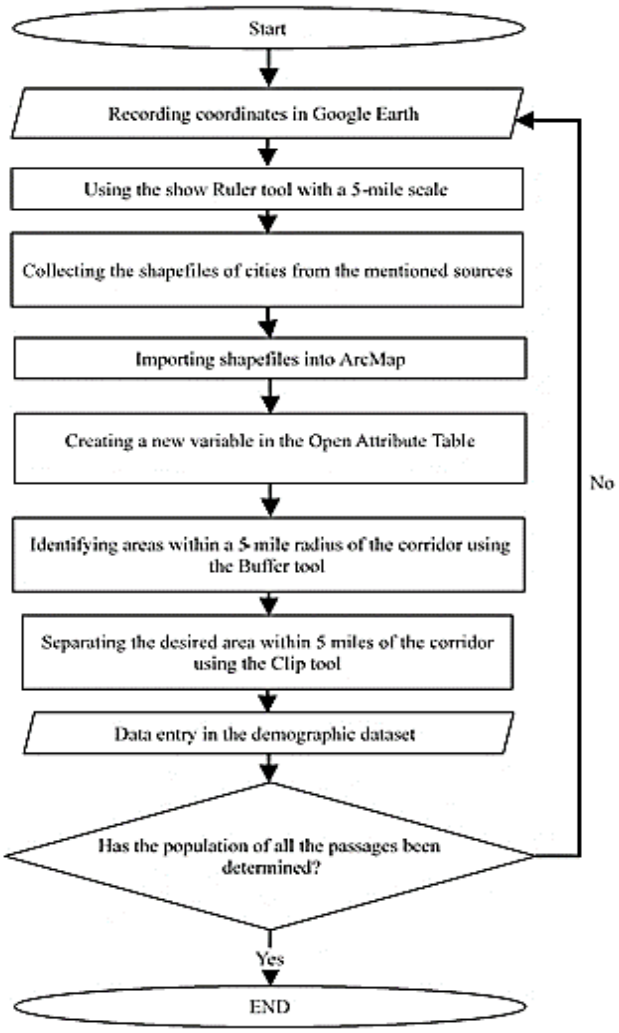
در این دیتاست ۱۳ گذرگاه به دلیل اختصاصی بودن، در دسترس

نبودن داده و یا غیر هم‌سطح سازشدن، از دیتاست حذف شد. عوامل مؤثر این دیتاستر مدل و توضیحات تکمیلی به‌صورت جدول [1] است.

توزیع داده‌های تعداد تصادفات در گذرگاه‌های هم‌سطح مجاز مطابق شکل (۲) است. این داده‌ها دارای مقادیر زیادی گذرگاه است که هیچ تصادفی در آن‌ها رخ نداده است از سویی میانگین این داده‌ها ۰,۵۳۴ و انحراف استاندارد آن‌ها ۰,۹۴۳ است که به معنی وجود پراکندگی بیش‌ازحد درداده‌ها است.

در رابطه داده‌های جمعیتی، مختصات عرض و طول جغرافیایی هر گذرگاه از دیتاست مشخصات گذرگاه که قبلاً ذکر شد استخراج شد. و توسط نرم‌افزار Google Earth شهرهای تحت تأثیر در ۸ کیلومتری گذرگاه مشخص شد درنهایت شیپ فایل این شهرها وارد نرم‌افزار Arc Map 10.8.2 شده و متغیرهای یادشده ساخته شد. مراحل ساخت به صورت دقیق‌تر به ترتیب مطابق فلوچارت شکل (۱) پردازش شد و درنهایت دیتاست جمعیتی ایجاد شد که شامل کل جمعیت، جمعیت مردان، جمعیت زنان، جمعیت جوان (جمعیت بین ۵ تا ۱۹ سال)، جمعیت میانسال (جمعیت بین ۲۰ تا ۶۰ سال)، جمعیت کهن‌سال (جمعیت بالای ۶۰ سال) در ۸ کیلومتری گذرگاه، و نسبت جمعیت مردان نسبت به جمعیت زنان و اختلاف آن‌ها، است. مشخصات و توضیحات متغیرهای مؤثر این دیتاستر مدل مطابق جدول (۲) است.

اهمیت استفاده از متغیر نسب جمعیت مردان به جمعیت زنان در ۸ کیلومتری گذرگاه به این دلیل است که، این متغیر در بعضی از مراجع به عنوان نسبت جمعیتی شناخته می‌شود که شاخصی مؤثر برای بررسی و نمایش فاکتورهای روان‌شناختی ازجمله خشونت، افسردگی و عصبانیت مورد استفاده قرارگرفته است [25]. این در حالی است که مطالعاتی در رابطه با تأثیر این فاکتورها در تصادفات انجام‌شده است و مؤثر بودن آن بر تعداد تصادفات را تائید می‌کند [26].



شکل ۱. فلوچارت ساخت متغیرهای جمعیتی

Fig .1 . Flowchart of Demographic Variable Construction

جدول ۱. مشخصات متغیرهای گذرگاه‌ها، مؤثر بر مدل

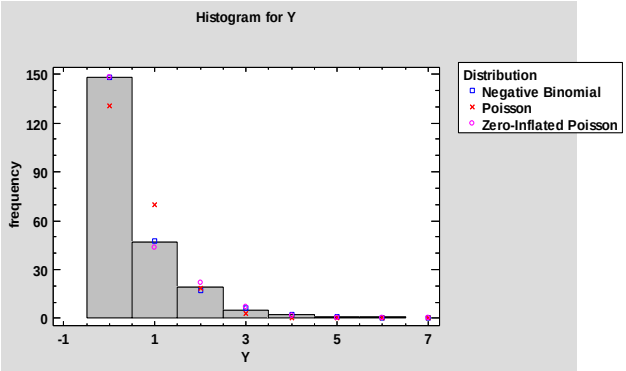
Table 1. Characteristics of Variables Related to Crossings Affecting the Model.

Variable	Values				Explanations
	Min	S.D	Mean	Max	
Number of railway lines	1	0.7514385	1.348837	4	The number of rail lines present in the Crossing
The number of passing trains at night	1	9.367832	7.95	41	The number of trains passing from 6 PM to 6 AM
The number of passing trains during daylight	1	6.532002	6.37561	31	The number of trains passing from 6 AM to 6 PM
The distance of the passage from the nearest road intersection	Categorized numbers				The distance in kilometers of the passage from the nearest road intersection
Type of road use	Categorized numbers				Type of use and functionality of the road (0 : rural road, 1 : secondary road, 2 : main road)
ADT	66	5625.828	2624.391	47770	Average daily road traffic
In case the passage is blocked, there is an alternative route for it.	Categorized numbers				It indicates an alternative to the intersection in case it is not available.

جدول ۲. متغیرهای جمعیتی مؤثر بر مدل

Table 2. Characteristics of Demographic Variables Used in the Model

Variable	Minimum	Mean	S.D	Median	Maximum	Explanations
Total population	0	106308.5	202608.1	17779	1173517	The total population is 5 miles from the crossing.
population to The ratio of the male the female population	0	0.672626	0.825841	0.995372	10.09529	population to The ratio of the male the female population
The difference between the male female population and the population	-8443	2546.759	9018.567	0	116065	The difference in the population of population of women men from the



شکل ۲. آزمون بصری روی توزیع داده‌های تصادف

Fig. 2. Visual Test on the Distribution of Accident Data

جدول ۳. آزمون لگاریتم درست‌نمایی.

Table 3. Log-Likelihood Test.

Comparison of Alternative Distributions		
Distribution	Est. Parameters	Log Likelihood
Zero-Inflated Poisson	2	-222.85
Poisson	1	-233.589
Negative Binomial	2	-9.99E+11

برای دسته‌بندی این افراد در سه گروه، ترکیبی از استاندارد سازمان ملل متحد (UN) و سازمان جهانی بهداشت (WHO) مورد استفاده قرار گرفت[27, 28]. سازمان جهانی بهداشت (WHO) گروه‌های سنی بالای ۵ سال را در سوانح ترافیکی و جاده ایی درگیر دانسته است [29] از این در پژوهش حاضر جمعیت گروه زیر ۵ سال حذف شد، گروه اول (۵ تا ۱۹ سال) شامل دانش‌آموزان و نوجوانان است که رفتارهای متفاوتی در عبور و مرور دارند. گروه دوم (۲۰ تا ۶۰ سال) شامل نیروی کار و افراد فعال جامعه است که بیشترین میزان سفرهای روزانه رادارند.گروه سوم (بالای ۶۰ سال) شامل سالمندان است که ممکن است درگیر کاهش توانایی‌های شناختی و حرکتی باشند [30].

۴- مدل‌سازی

برای انجام مدل‌سازی تعداد تصادفات در گذرگاه‌های مجاز هم‌سطح ایران داده‌ها به ۸۰ درصد برای آموزش مدل و ۲۰ درصد برای اعتبارسنجی مدل به صورت تصادفی تقسیم شدند. متغیرهای ورودی مدل مطابق توضیحات بخش ۳ است. با انجام بررسی تعداد تصادفات گذرگاه مشخص شد این داده‌ها دارای پراکندگی بیش‌ازحد هستند که در شکل (۲)، قابل مشاهده است.

برای انتخاب مدل مناسب برای برازش داده‌ها، بر اساس مدل‌های ادبیات موضوع، چهار مدل پواسون، دوجمله‌ای منفی، پواسون صفرآماسیده، دوجمله‌ای صفرآماسیده انتخاب شدند. مدل دوجمله‌ای منفی صفرآماسیده به دلیل محدودیت در داده‌های ورودی از این لیست حذف شد [31]

برای انتخاب مدل مناسب و مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار NCSS 2023 دو آزمون بصری و لگاریتم درست‌نمایی بر روی داده‌های تصادفات انجام شد.

NCSS یک بسته آماری است که توسط Jerry L. Hintze در سال ۱۹۸۱ میلادی ساخته‌شده و توسط شرکت NCSS واقع در آمریکا، منتشر شد این نرم‌افزار شامل بیش از ۲۵۰ روش آماری و نموداری مستند است همچنین این نرم‌افزار تمام فرمت‌های اصلی صفحه گسترده، پایگاه داده و فایل‌های آماری را وارد و صادر می‌کند و دارای مجموعه کامل اسناد است. از مهم‌ترین کاربرد کاربردهای این نرم‌افزار آماری می‌توان به: تحلیل واریانس، روش‌های ارزیابی نمودارها و نمودارها همبستگی، آمار توصیفی، تحلیل رگرسیون T-Tests و ... اشاره کرد [32].

بر اساس شکل (۲) عملکرد دوجمله‌ای منفی و پواسون صفرآماسیده مشابه هستند اما مدل پواسون همراه با خطا است. اما بر اساس جدول (۳) با توجه به بزرگ‌تر بودن مقدار لگاریتم

درست‌نمایی مدل پواسون صفرآماسیده این مدل برای برازش داده‌ها انتخاب شد (21).

برای مدل‌سازی سطح اطمینان ۹۵ درصد در نظر گرفته شد و برای تخمین ضرایب از روش برآورد درست نمای بیشینه استفاده شد. درنهایت مدل پواسون صفرآماسیده که شامل دو بخش است. بخش شمارشی پواسونی مطابق فرمول ۱۰ است که در این بخش با انجام آزمون همبستگی مشخص شد تعداد خط ریل و تعداد کل قطارها در شبانه‌روز دارای همبستگی ۰٫۶ بودند و همچنین در فرمول ۱۱ که مربوط به بخش باینری مدل است همبستگی بین میانگین روزانه ترافیک جاده و اختلاف جمعیت مردان از جمعیت زنان ۰٫۴ است. تای نتیجه‌گیری کرد که همبستگی متغیرهای حمل‌ونقل شایع است و مشکل‌آفرین نیست. بنابراین، حذف خودکار متغیرهای دارای همبستگی بالا صحیح نیست و انتخاب متغیر باید با توجه به هدف تحقیق انجام شود [33]. همچنین هدف متغیرهای مستقل با همبستگی بالا می‌تواند به کاهش دقت و ثبات مدل منجر شود [34].

$$E(\mu) = \text{Exp}(-1.75692212998667 + 0.399693403929521 * S1 + 1.14223671644244 * S2 + 0.368292176186057 * S3 + 0.0257167122783253 * S4 - 0.667965609694737 * S5 + 1.19036202206851E-06 * S6) \quad (10)$$

$$E(\mu) = Exp(-1.9928790363313 - 0.000727703428784855 * S7 + 3.44128173088546 * S8 + 0.000225603481089144 * S9) \quad (11)$$

$E(\mu)$ بیانگر تعداد تصادفات، S1: نوع کاربری جاده (0: جاده روستایی، ۱: جاده فرعی، ۲: جاده اصلی)، S2: نسبت جمعیت مردان به جمعیت زنان در ۸ کیلومتری گذرگاه، S3: فاصله گذرگاه تا تقاطع (0: کمتر از۲۰ متر، ۱: بین ۲۰ متر تا ۲۰۰ متر، ۲: بیش از ۲۰۰متر)، S4: تعداد کل قطارهای عبوری در گذرگاه، S5: تعداد خط ریل، S6: جمعیت کل در۸ کیلومتری گذرگاه، S7: میانگین ترافیک روزانه جاده، S8: آیا درصورت بسته بودن گذرگاه جایگزین دارد یا خیر؟ (0: خیر، ۱: بله)، S9: اختلاف جمعیت مردان از جمعیت زنان در ۸ کیلومتری گذرگاه.

انتخاب متغیرها برای مدل، به این شکل بود که ابتدا همه متغیرهای موجود وارد متغیر شدند در گام بعد متغیری که بالاترین مقدار P-Value را دارا بود حذف می‌شد با حذف این متغیر پارامترهای آماری نظیر AIC قاعدتاً باید کاهش پیدا می‌کرد که در غیر این صورت متغیر دیگری که مقدار P-Value بالا داشت حذف شد این مراحل تا جایی ادامه پیدا کرد که درنهایت مقدار P همه متغیرها کمتر از ۰٫۵ بود [1].

مدل پواسون صفرآماسیده برازش داده‌شده مطابق فرمول ۱۰ نشان‌دهنده رابطه پواسونی و فرمول ۱۱ بیانگر رابطه باینری مدل است نتایج حاصل از برازش مدل روی تصادفات گذرگاه‌های هم‌سطح مجاز ایران در جدول (۴) قابل‌مشاهده است. همچنین نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل برای هریک از متغیر برای رابطه پواسونی مطابق جدول (۵) و برای رابطه باینری مطابق جدول (۶) است. مقدار P در ضریب ثابت جدول (۵) نشانگر در نظر نگرفتن متغیرهای دیگری است که می‌تواند متغیر پاسخ را توضیح دهد [8].

نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که ۹ متغیر در پیش‌بینی تعداد تصادفات در گذرگاه‌های مجاز هم‌سطح ریل و جاده در ایران در سال‌های ۹۱ تا ۴۰۱ شمسی مؤثر بوده است:

جدول ۴. نتایج برازش مدل پواسون آماسیده روی‌داده‌ها

Table. 4. Results of Fitting the Zero-Inflated Poisson Model on the Data

Item	Value
Log-Likelihood	-145.3738
AIC	312.7477

جدول ۵. نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل برای متغیرها در رابطه لجستیک

Table. 5. Results of Model Implementation for Variables in the Logistic Regression Component

Parameter	Regression Coefficien	Standard Error	Z-Statistic	Two-side P-value
Logistic Regression Model				
Intercept	-1.992879	1.336677	1.49092-	0.1359825
S7	-0.0007277	0.00037367	1.957468-	0.05
S8	3.441282	1.618048	2.12681	0.0334
S9	0.0002256	0.000117	1.9583	0.05

جدول ۶. نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل برای متغیرها در رابطه پواسون

Table 6. Results of Model Implementation for Variables in the Poisson Component

Parameter	Regression Coefficien	Standard Error	Z-Statistic	Two-side P-value
Poisson Regression Model				
Intercept	-1.756922	0.4248444	-4.14E+00	3.54E-05
S1	0.3996934	0.1599273	2.499219	0.0124468
S2	1.142237	0.2707416	4.218917	2.45E-05
S3	0.3682922	1.38E-01	2.661102	0.0077885
S4	0.0257167	0.0129264	1.989478	0.0466484
S5	0.6679656-	0.2893587	2.308434-	0.020975
S6	1.90E-06	4.89E-07	2.432842	0.0149808

- در بخش لجستیک مدل: خروجی تابع احتمال این بخش باینری است و احتمال عدم وجود یا وجود تصادفات در گذرگاه‌های یادشده را اندازه‌گیری می‌کند. متغیرهای مؤثر آن عبارت است از:

میانگین ترافیک روزانه در بخش جاده (S7) که بر اساس مقدار P این متغیر بر مدل مؤثر بوده است و دارای ضریب منفی ۰,۰۰۰۷۲۷۷ است که یعنی در صورت افزایش این متغیر احتمال اینکه در گذرگاه شاهد عدم وقوع تصادف باشم کاهش پیدا می‌کند.

متغیر مؤثر بعدی که عنوان آن "در صورت بسته بودن گذرگاه آیا جایگزین وجود دارد؟ (S8)" با مقدار P کمتر از ۰,۵ در مدل ظاهرشده و معنی‌دار است. با توجه به مقدار باینری این متغیر، اگر مقدار آن ۱ باشد می‌تواند احتمال اینکه گذرگاه بدون تصادف باشد را افزایش دهد.

اختلاف جمعیت مردان از جمعیت زنان (S9) که در مدل معنادار و ضریب آن مثبت است و نشان می‌دهد که با افزایش آن، احتمال اینکه گذرگاه تصادفی را تجربه نکند افزایش می‌یابد.

- در بخش پواسون مدل: این بخش تعداد تصادفات در گذرگاه را شمارش می‌کند و ۶ متغیر مؤثر آن به‌قرار زیر است:

نوع کاربری جاده (S1) با توجه به اینکه در مدل معنادار و ضریب آن مثبت بوده و با توجه به مقادیر آن می‌توان این نتیجه‌گیری را کرد که جاده‌های روستایی کمترین و جاده‌های اصلی موجب بیشترین تعداد تصادفات در گذرگاه‌های یادشده می‌شود.

نسبت جمعیتی مردان به جمعیت زنان (S2) و فاصله گذرگاه با نزدیک‌ترین تقاطع (S3) و تعداد کل قطارهای عبوری از گذرگاه (S4) و جمعیت کل در فاصله ۸ کیلومتری گذرگاه (S5) علاوه بر اینکه مقدار P آن‌ها کمتر از ۰,۰۵ بود و در مدل معنادار بودند ضرایب آن‌ها هم مثبت بود به این معنی که با افزایش این متغیرها فرکانس تصادفات در گذرگاه‌های یادشده افزایش می‌یابد.

تعداد خطوط ریل در گذرگاه (S6) با توجه به مقدار P آن یعنی ۰,۰۲ در مدل معنادار تشخیص داده شد و با توجه به ضریب منفی آن می‌توان این نتیجه را برداشت کرد که با افزایش این متغیر تعداد تصادفات در گذرگاه‌های یادشده کاهش می‌یابد.

از منظر کاربردی، این یافته‌ها چندین ملاحظه کلیدی برای ایمنی حمل‌ونقل و برنامه‌ریزی زیرساختی را برجسته می‌کنند:

مدیریت ترافیک: تأثیر معنادار حجم ترافیک در متغیرهای میانگین روزانه ترافیک در جاده، نوع کاربری جاده و تعداد عبور قطارها نشان می‌دهد که تقاطع‌های پرترافیک باید در اولویت اقدامات ایمنی قرار گیرند، مانند بهبود علائم، نصب موانع خودکار، یا بهینه‌سازی زمان‌بندی سیگنال‌ها.

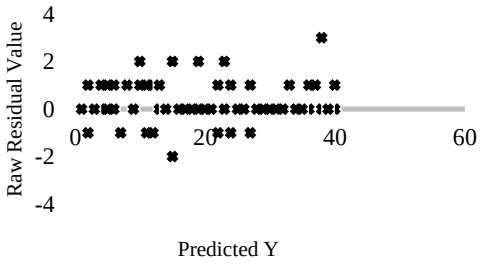
بهبود زیرساخت: تعداد خطوط ریل در گذرگاه، فاصله گذرگاه تا نزدیک‌ترین تقاطع جاده و اینکه در صورت بسته بودن گذرگاه آیا جایگزین وجود دارد؟ تأثیر مثبت این فاکتورها که مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر زیرساخت‌ها هستند را بر میزان تصادفات تأیید می‌کند که این تدابیر ایمنی مؤثر هستند و نیاز به توسعه گسترده‌تر در مناطق پرخطر دارند.

ملاحظات جمعیتی: متغیر جمعیت کل نقش تراکم جمعیت در احتمال تصادف نشان می‌دهد که استراتژی‌های برنامه‌ریزی شهری باید اقدامات ایمنی ریلی را به ویژه در مناطق پرتراکم در نظر بگیرند از سویی عوامل دیگر همچون اختلاف و نسبت جمعیت مردان و زنان در ۸ کیلومتری گذرگاه نشان از بررسی دقیق‌تر به شاخص‌های جمعیتی است که تصمیم‌گیرندگان هنگام توسعه و یا ساخت گذرگاه جدید باد مدنظر داشته باشند.

جدول ۷ نتایج آزمون‌های اعتبارسنجی مدل

Table 7. Results of Model Validation Tests

Model	Variance Equality Test			Mean Equality Test		
	F	P-value	Result	T	P-Value	Result
Zero-Inflated Poisson	1.752	0.0417	The hypothesis of variance equality is rejected	0.8268	0.41096	The hypothesis of mean equality is not rejected.



شکل ۳. نمودار باقی‌مانده در مقابل مقادیر پیش‌بینی

Fig .3. Residual Plot Against Predicted Values

این بینش‌ها پایه‌ای را برای سیاست‌گذاران فراهم می‌کنند تا مداخلات هدفمندی را برای کاهش تصادفات در تقاطع‌های راه‌آهن-جاده طراحی کنند. همچنین، گنجاندن متغیرهای جمعیتی در مدل بر اهمیت در نظر گرفتن عوامل اجتماعی-اقتصادی در ارزیابی تدابیر ایمنی حمل‌ونقل تأکید دارد.

۵- اعتبارسنجی

همان‌طور که پیش‌تر اعلام شد ۲۰ درصد داده‌ها که معادل ۴۰ گذرگاه بود که به صورت تصادفی برای اعتبارسنجی مدل و گسترش نتایج به سایر گذرگاه‌ها انتخاب شدند برای انجام این امر مطابق پژوهش محسنی و همکاران از آزمون T برای مقایسه میانگین دو نمونه و همچنین از آزمون F برای مقایسه واریانس‌های دو نمونه استفاده شد [8]. رویکرد این پژوهش مقایسه تعداد تصادفات گذرگاه که توسط مدل پیش‌بینی‌شده با مقدار واقعی تعداد تصادفات در این ۴۰ گذرگاه است. به جهت تعیین این مطلب که آیا تفاوت معناداری در این مقادیر وجود دارد یا خیر؟ برای مقایسه میانگین‌های دو نمونه از آزمون Aspin-Welch استفاده شد که برخلاف آزمون T سنتی محدودیتی در رابطه با برابری واریانس‌ها ندارد. فرض صفر در این آزمون برابری میانگین‌ها، و فرض جایگزین نابرابری میانگین‌هاست. این آزمون از آماره فرمول ۱۲ برای مقایسه میانگین‌ها استفاده می‌کند.

$$t\frac{\bar{x}_1+\bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1}+\frac{s_2^2}{n_2}}} \qquad (12)$$

همچنین درجه آزادی این آزمون با استفاده از فرمول ۱۳ محاسبه می‌شود.

$$df=\frac{\left(\frac{s_1}{n_1}+\frac{s_2}{n_2}\right)^2}{\frac{s_1^4}{n_1^2(n_1-1)}+\frac{s_2^4}{n_2^2(n_2-1)}} \qquad (13)$$

طبق جدول (۷) و مقدار P محاسبه‌شده برای آزمون T فرض صفر (برابری میانگین‌ها) که مقداری بزرگ‌تر از ۰,۰۵ است، فرض صفر رد نشده است . در روابط با $\bar{x}$ میانگین نمونه‌ها و s انحراف استاندارد و s^2 واریانس نمونه‌ها و t آماره آزمون و df درجه آزادی است [35] همچنین با توجه به مقدار P در آزمون F که مقدار ۰,۰۴۱۷ و کمتر از ۰,۰۵ است، فرض صفر رد شده و بیانگر برابر نبودن واریانس دو نمونه است.

از سویی دیگر مطابق شکل ۳ که بیانگر نمودار باقی‌مانده[1]-مقادیر پیش‌بینی است و با تجزیه‌وتحلیل آن می‌توان به عدم وجود الگویی خاص (با توجه به پراکندگی نقاط تصادفات حول خط صفر) را مشاهده کرد. همچنین مقادیر کم باقی‌مانده و تمرکز نقاط نزدیک صفر که بیانگر دقت بالای پیش‌بینی است از سویی در نمودار یک نقطه پرت با مقدار ۳ وجود دارد که مشکل خاصی برای مدل ایجاد نمی‌کند [36].

ازسویی با مقایسه مطالعه حاضر با آخرین پژوهش انجام شده در حوزه پیش‌بینی تعداد تصادفات در گذرگاه‌های هم‌سطح ریل و جاده در ایران می‌توان به درک بهتری در رابطه با مطالعه حاضر دست یافت. مطابق جدول (۸) مطالعه حاضر علاوه بر استفاده از داده‌های جدیدتر، مدل به روزتر با محدودیت کمتر، متغیرهای بیشتری را در مدل تعریف کرده که موجب تفسیر پذیری بهتر مدل شده است همچنین با توجه به مقدار AIC مدل حاضر که مقدار کمتری است و Log-Lokelihood که مقدار بیشتری نسبت به مطالعه قبلی است، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل حاضر با داده‌ها بهتر برازش داده شده است [8].

[1] Residual

جدول ۸ مقایسه پژوهش حاضر با پژوهش محسنی و همکاران

Table 8. Comparison of the Present Study with Mohseni et al.'s Study

	Present Study	Previous Study
Years of Data	91-401	88-93
Methodology	ZIP	NB
Total Population	✓	
Crossing Location		✓
Average Vehicle Traffic	✓	✓
Road Pavement Type		✓
Number of Railway Tracks	✓	
Male-to-Female Population Ratio	✓	
Total Number of Trains	✓	
Road Usage Type	✓	
Passing Train Speed		✓
Distance from Crossing to Nearest Intersection	✓	
Male Population Difference from Female Population	✓	
Alternative Route Available if Crossing is Closed	✓	
AIC	312.7	314.2
Log-Lokelihood	-145.3	-149.1

۶- بحث و بررسی

طبق فرمول ۱۰ در مدل پواسون صفرآماسیده، ضرایب مثبت نشان‌دهنده تأثیر مستقیم متغیر بر تعداد تصادفات است. به این معنا که افزایش متغیر موجب افزایش تصادفات در گذرگاه می‌شود و بالعکس.

طبق فرمول ۱۱، ضریب مثبت در رابطه باینری مدل موجب افزایش احتمال صفر (بهبود ایمنی گذرگاه) می‌شود. بر اساس فرمول ۱۴، می‌توان تأثیر افزایش یک واحد متغیر بر تغییر تعداد تصادفات را تعیین کرد. در این فرمول، A نشان‌دهنده درصد تغییرات تصادفات و B ضریب متغیر است [8].

$$A = 100 * (\mathrm{Exp}(B * 1) - 1) \quad (14)$$

با توجه به ضریب مثبت نوع کاربری جاده در معادله پواسونی، تأثیر مستقیم برافزایش تعداد تصادفات دارد. با توجه مقادیر این متغیر در جدول (۱)، بیشترین تصادفات در جاده‌های اصلی رخ می‌دهد که با نتایج دیگر پژوهشگران همخوانی دارد [11, 3].

نسبت جمعیت مردان به زنان با ضریب مثبت در معادله پواسونی ظاهرشده که با یافته‌های راب و سلیمانی، مبنی بر نسبت ۳ برابری دخالت مردان به زنان در حوادث، همخوانی دارد [37, 2].

فاصله گذرگاه تا نزدیک‌ترین تقاطع جاده‌ای با ضریب مثبت در مدل پواسونی نشان‌دهنده افزایش تصادفات است که ممکن است به ناآگاهی کاربران از گذرگاه مرتبط باشد و با تحقیقات گذشته همخوانی دارد [38, 39].

تعداد کل قطار (مجموع قطارهای روزانه و شبانه) با ضریب مثبت در مدل معنادار شده و نشان‌دهنده تأثیر مثبت بر تعداد تصادفات است که با پژوهش‌های گذشته همخوانی دارد [1, 3, 5, 11, 15, 18, 40, 41]. به دلیل این امر افزایش تعداد قطار باعث افزایش میزان مواجه قطار با ماشین‌های جاده می‌شود [1].

تعداد خطوط راه‌آهن با ضریب منفی در معادله پواسون نشان می‌دهد افزایش خطوط باعث کاهش تصادفات می‌شود، دلیل آن همبستگی مثبت این متغیر با دید رانندگان و همبستگی مثبت با سرعت است که منجر به افزایش دید و کاهش سرعت کاربران جاده می‌شود. این یافته با نتایج سایر پژوهش‌ها همخوانی دارد [14, 11].

جمعیت کل در ۸ کیلومتری گذرگاه با ضریب مثبت در رابطه پواسونی، نشان‌دهنده افزایش تصادفات با رشد جمعیت است و این یافته توسط خان تأیید شده است [18].

متغیر وجود جایگزین در صورت بسته بودن گذرگاه، دارای ضریب مثبت در مدل باینری است و با توجه به باینری بودن این متغیر می‌توان نتیجه گرفت که وجود جایگزین احتمال اینکه یک

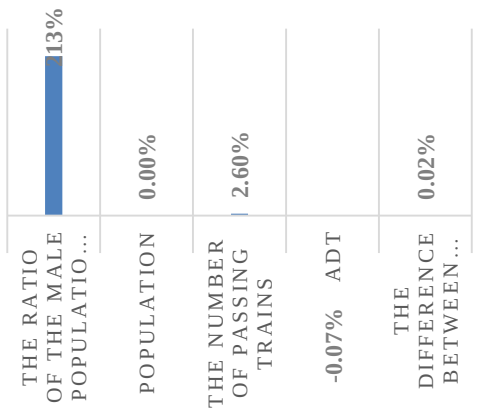
گذرگاه بدون تصادف باشد را بالا می‌برد. این موضوع با یافته‌های پژوهش آستل مبنی برافزایش ایمنی در گذرگاه‌های بسته‌شده، در صورت وجود جایگزین همخوانی دارد [42].

اختلاف جمعیت مردان و زنان با ضریب مثبت در معادله باینری نشان می‌دهد افزایش آن احتمال اینکه گذرگاه صفر تصادف را تجربه کند را بالا می‌برد، که با یافته‌های پژوهشگران درباره رفتار غیر ایمن‌تر زنان و بالا بودن خطاهای ادراکی در زنان همسو است [19]. این یافته با نظر هالیم که احتمال دخالت مردان در تصادفات گذرگاه‌های هم‌سطح کمتر از زنان است، مطابقت دارد [12].

میانگین روزانه ترافیک جاده با ضریب منفی در مدل لجستیک نشان می‌دهد افزایش ترافیک خطر تصادف در گذرگاه را کاهش می‌دهد، که با یافته‌های گذشته همخوانی دارد [3, 5, 8, 14].

با مقایسه این پژوهش و پژوهش محسنی و همکاران می‌توان درک بهتری نسبت به نقاط ضعف و قوت این پژوهش داشت. محسنی و همکاران که با استفاده از داده‌های تصادف سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳ با مدل دوجمله‌ای منفی مدل‌سازی شد چهار متغیر که عبارت بود از: موقعیت گذرگاه، میانگین وسایل نقلیه، نوع روسازی جاده و سرعت قطارهای عبوری را روی تعداد تصادفات در گذرگاه‌ها مؤثر دانستند: مدل آن‌ها همچنین بر اساس معیارهای آماری AIC[1] برابر ۳۱۴,۲ و لگاریتم درست‌نمایی[2] برابر با ۱۴۹,۱- بود [8]. این در حالی است که پژوهش حاضر با داده‌های تصادفات ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۱ که به‌روزتر هستند بر اساس مدل پواسون صفرآماسیده مدل‌سازی شد که نسبت به مدل قبلی بهتر پراکندگی بیش‌ازحد و تعداد زیاد صفرها را پوشش داده است همچنین متغیرهای مؤثر این مدل نه متغیر بودند که پیشتر ذکر شدند و این می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که این مدل قابلیت توصیفی بهتری دارد همچنین بر اساس معیارهای آماری AIC و لگاریتم درستنمایی دارای دقت بهتر و برازش بهتری است [1].

نمودار شکل (۴) با استفاده از فرمول ۱۴ درصد تغییرات تعداد تصادفات گذرگاه در صورت تغییر پارامتر مذکور است که سه پارامتر اول از چپ مربوط به بخش پواسونی و مابقی مربوط به بخش لجستیک مدل است.



شکل ۴. درصد تغییر هر متغیر برای افزایش یک واحد در تعداد تصادفات

Fig .4. The percentage change of each variable leading to a one-unit increase in the number of accidents

۷- جمع‌بندی و پیشنهادات

در این پژوهش به دنبال ارائه مدلی برای پیش‌بینی تعداد تصادفات در گذرگاه‌های هم‌سطح مجاز ریل و جاده ایران با نگاهی نو و استفاده از فاکتورهای جمعیتی و استفاده از داده‌های اخیر تصادفات راه‌آهن است.

در این پژوهش از داده‌های تصادفات گذرگاه‌های مجاز هم‌سطح ایران از سال ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۱ شمسی برای پیش‌بینی تعداد تصادفات استفاده شد در کنار داده‌های تصادفات، از داده‌های مشخصات که شامل ۲۳۰ گذرگاه بود هم استفاده شد درنهایت برای جمعیت تحت تأثیر در ۸ کیلومتری گذرگاه‌ها از شیپ فایل بلوک جمعیت آماری سال ۱۳۸۵ استفاده شد. روش مورداستفاده برای مدل‌سازی این داده‌ها استفاده از پواسون صفرآماسیده بود که با توجه به توزیع داده‌ها، نسبت به روش پواسون و دوجمله‌ای منفی که برای تصادفات گذرگاه‌های ایران کارشده بود دارای مزیت‌هایی همچون پوشش پراکندگی کمتر یا بیشتر داده‌ها و تعداد زیاد صفرها بود.

با انجام مدل‌سازی و بررسی‌های آماری، عوامل مؤثر بر تصادفات گذرگاه‌های مجاز هم‌سطح ایران، جمعیت کل، نوع کاربری جاده، نسبت جمعیتی مردان به جمعیت زنان، فاصله گذرگاه تا تقاطع جاده، تعداد خط راه‌آهن در گذرگاه، میانگین روزانه ترافیک جاده، داشتن جایگزین برای گذرگاه در صورت بسته بودن و اختلاف بین جمعیت مردان و جمعیت زنان تشخیص داده شدند.

نتایج این مطالعه چندین عامل مهم مؤثر بر تعداد تصادفات را

[1] Akaike information criterion
[2] Log-Lokelihood

شناسایی کرد. جمعیت کل در محدوده ۸ کیلومتری گذرگاه، نوع کاربری جاده و نسبت جمعیتی مردان به زنان تأثیر مستقیمی بر وقوع تصادفات داشتند. نسبت بالاتر جمعیت مردان با افزایش نرخ تصادفات همراه بود که نشان‌دهنده نقش احتمالی عوامل رفتاری در الگوهای ترافیکی است. همچنین، گذرگاه‌هایی که در فاصله دورتری از تقاطع‌های جاده‌ای قرار داشتند، احتمال بیشتری برای وقوع تصادف داشتند و این امر بر اهمیت خطرات ایمنی در مناطق دورافتاده تأکید دارد. علاوه بر این، گذرگاه‌هایی که تعداد بیشتری خط ریلی داشتند، تصادفات کمتری را تجربه کردند که احتمالاً به دلیل اجرای بهتر اقدامات ایمنی در این گذرگاه‌ها بوده است. حجم ترافیک جاده‌ای نیز عامل مهمی بود، به‌طوری‌که افزایش میانگین ترافیک روزانه احتمال وقوع تصادفات را بیشتر می‌کرد. همچنین، وجود مسیر جایگزین برای گذرگاه‌هایی که ممکن است بسته شوند، به‌طور قابل‌توجهی نرخ تصادفات را کاهش داد که اهمیت طراحی مسیرهای جایگزین برای افزایش ایمنی را نشان می‌دهد.

این یافته‌ها دارای کاربردهای عملی متعددی هستند. نخست، برنامه‌ریزان شهری و مسئولان حمل‌ونقل می‌توانند از این مدل برای شناسایی گذرگاه‌های پرخطر و اولویت‌بندی اقدامات ایمنی مانند بهبود علائم هشداردهنده، افزایش روشنایی و نصب راه‌بندهای خودکار استفاده کنند. دوم، ادغام داده‌های جمعیتی در ارزیابی ایمنی ریلی می‌تواند منجر به مداخلات ایمنی هدفمندتر شود، زیرا توزیع جمعیت می‌تواند بر خطر تصادفات تأثیر بگذارد. سوم، سیاست‌گذاران می‌توانند برای کاهش خطر تصادفات، تغییراتی در زیرساخت‌های جاده‌ای، مانند اصلاح زوایای تند در تقاطع‌ها و بهینه‌سازی جریان ترافیک در نزدیکی گذرگاه‌ها، اعمال کنند. درنهایت، با توجه به اثربخشی مسیرهای جایگزین در کاهش تصادفات، طراحی مسیرهای اضافی برای گذرگاه‌هایی که دارای حجم ترافیک بالایی هستند، می‌تواند یک راهبرد ایمنی مؤثر باشد.

در خصوص ادامه و تکمیل پژوهش حاضر پیشنهادهایی موردتوجه است ازجمله، با توجه به گسترش روزافزون گردآوری و ذخیره‌سازی داده‌های ژئوپلیتیکی و جی‌آی‌اس[1] می‌توان از داده‌هایی مانند توپولوژی منطقه حادثه، ارتفاع و سایر المان‌های مربوطه به جهت افزایش دقت و چگونگی ارتباط با تعداد سوانح در گذرگاه استفاده کرد. از سویی دیگر استفاده از داده‌های هواشناسی در هنگام تصادفات در گذرگاه‌های مجاز هم‌سطح ایران و چگونگی تأثیر آن بر سوانح می‌تواند عامل مهمی در تصادفات باشد که می‌تواند بر مدل و تعداد تصادفات مؤثر باشد همچنین گسترش مدل حاضر با سایر تکنیک‌هایی همچون بیزین می‌تواند روی دقت مدل تأثیر مثبت بگذارد.

قدردانی نویسندگان

نویسندگان از حمایت معنوی دانشگاه سپاسگزاری می کنند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافع با یکدیگر ندارند.

سهم نویسندگان

سهم نویسندگان در مقاله برابر است.

منابع مالی

هیچ گونه منابع مالی برای این مقاله دریافت نشده است.

[1] Geographic Information System (GIS)

References

[1] Yang, X. and et al., 2022. Modeling the accident prediction for at-grade highway-rail crossings, *Intelligent Transportation Infrastructure*, 1, liac017.

[2] Pasha, J., Dulebenets, M.A., Abioye, O.F., Kavoosi, M., Moses, R., Sobanjo, J. and Ozguven, E.E., 2020. A comprehensive assessment of the existing accident and hazard prediction models for the highway-rail grade crossings in the state of Florida. *Sustainability*, *12*(10), p.4291.

[3] Austin, R.D. and Carson, J.L., 2002. An alternative accident prediction model for highway-rail interfaces. *Accident Analysis & Prevention*, *34*(1), pp. 31–42.

[4] Liang, C. and Ghazel, M., 2023. Accident prediction modeling approaches for European railway level crossing safety. *New Research on Railway Engineering and Transportation*.

[5] Oh, J., Washington, S.P. and Nam, D., 2006. Accident prediction model for railway-highway interfaces. *Accident Analysis & Prevention*, *38*(2), pp. 346–356.

[6] Borsos, A., Gabor, M. and Koren, C., 2016. Safety ranking of railway crossings in Hungary. *Transportation Research Procedia*, *14*, pp. 2111–2120.

[7] Hu, S.R., Li, C.S. and Lee, C.K., 2010. Investigation of key factors for accident severity at railroad grade crossings by using a logit model. *Safety Science*, *48*(2), pp. 186–194.

[8] Mohseni, M., Hoseini, S.A. and Bagheri, M., 2020. Modeling of the frequency of accidents in Iran's railway level crossings. *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, *12*(2), pp. 273–288. (in Persian).

[9] Federal Railroad Administration, 2023. *Highway-Rail Grade Crossing Incidents*. Washington, DC: US Department of Transportation. Available at: https://data.transportation.gov

[10] Zaker, J.A. and Sadeghi, A.A., 2012. Evaluation of safety improvement in Iranian railway level crossings. *Journal of Safety Engineering*, *1*(1), pp. 1–6.

[11] Hu, S.R., Li, C.S. and Lee, C.K. 2012. Model crash frequency at highway–railroad grade crossings using negative binomial regression. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, *35*(7), pp. 841–852.

[12] Haleem, K. and Gan, A., 2015. Contributing factors of crash injury severity at public highway-railroad grade crossings in the US. *Journal of Safety Research*, *53*, pp. 23–29.

[13] Lu, P. and Tolliver, D. 2016. Accident prediction model for public highway-rail grade crossings. *Accident Analysis & Prevention*, *90*, pp. 73–81.

[14] Saccomanno, F.F., Fu, L. and Miranda-Moreno, L.F. 2004. Risk-based model for identifying highway-rail grade crossing blackspots. *Transportation Research Record*, *1862*(1), pp. 127–135.

[15] Ayati, E., Zakeri, J.A. and Sadeghi, A., 2010. Accident prediction model for Iran railway-highway grade crossings. *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, *2*(2), pp. 99–114. (in Persian).

[16] 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.

[17] National Highway Traffic Safety Administration, 2017. *US Department of Transportation*. Available at: https://www.nhtsa.gov [Accessed June 2017].

[18] Khan, I.U., Lee, E. and Khan, M.A., 2018. Developing a highway rail grade crossing accident probability prediction model: a North Dakota case study. *Safety*, *4*(2), 22.

[19] Holland, C. and Hill, R., 2010. Gender differences in factors predicting unsafe crossing decisions in adult pedestrians across the lifespan: A simulation study. *Accident Analysis & Prevention*, *42*(4), pp. 1097–1106.

[20] Raub, R.A., 2009. Examination of highway–rail grade crossing collisions nationally from 1998 to 2007. *Transportation Research Record*, *2122*(1), pp. 63–71.

[21] Yu, R., et al., 2019. A marginalized random effects hurdle negative binomial model for analyzing refined-scale crash frequency data', *Analytic Methods in Accident Research*, 22, 100092.

[22] Datakadeh, 2024. *Data Store*. Available at: https://datakadeh.com (in Persian).

[23] Shahrnegar, 2024. *Data Store*. Available at: https://www.shahrnegar.com (in Persian).

[24] Statistical Center of Iran, 2006. *Population and Housing Report*. Available at: https://web.archive.org/web/20121113182514/http://www.amar.org.ir/Default.aspx?tabid=553 (in Persian).

[25] Richardson, T., 2018. Discussion paper: Not enough guys to go around: How the sex ratio affects our behavior. *PsyPag Quarterly*.

[26] Briem, V., Ragnarsson, A. and Thordarson, K., 2002. Psychological factors in young drivers' traffic accidents.

[27] Dyussenbayev, A., 2017. Age periods of human life. *Advances in Social Sciences Research Journal*, *4*(6).

[28] United Nations, 2002. *Provisional guidelines on standard international age classifications*.

[29] World Health Organization, 2019. *Global status report on road safety 2018*. Geneva: WHO.

[30] Eghtesad24, 2023. What do age groups mean?. Iran. Available at: https://eghtesad24.ir (in Persian).

[31] Fang, R., 2013. *Zero-inflated negative binomial*

(ZINB) regression model for over-dispersed count data with excess zeros and repeated measures, an application to human microbiota sequence data. PhD thesis. University of Colorado.

[32] NCSS, 2023. *NCSS 2023 Statistical Software*. Kaysville, Utah: NCSS.

[33] Tay, R., 2017. Correlation, variance inflation and multicollinearity in regression model. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 12*, pp. 2006–2015.

[34] O'Brien, R.M., 2017. Dropping highly collinear variables from a model: why it typically is not a good idea. *Social Science Quarterly, 98*(1), pp. 360–375.

[35] Algina, J., 2005. A spin–Welch Test. *Encyclopedia of Biostatistics, 1*.

[36] Obi, I., Vange, T. and Chigbu, P., 2009. Using residual analysis to validate rice sowing dates experiment model.

[37] Soleimani, S. and et al., 2019. Mining the highway-rail grade crossing crash data: A text mining approach. in *18th IEEE International Conference On Machine Learning And Applications (ICMLA)*. IEEE.

[38] Keramati, A. and et al. 2020. Geometric effect analysis of highway-rail grade crossing safety performance. *Accident Analysis & Prevention*, 138, 105470.

[39] Lu, P. and et al. 2023. *Safety Support System for HRGCs*. Fargo: Mountain-Plains Consortium.

[40] Lu, P. and et al. 2020. A gradient boosting crash prediction approach for highway-rail grade crossing crash analysis. *Journal of Advanced Transportation, 2020*(1), 6751728.

[41] Brod, D., Gillen, D. and Decisiontek, L., 2020. *A new model for highway-rail grade crossing accident prediction and severity*. Washington, DC: US Department of Transportation, Federal Railroad Administration.

[42] Astle, D., 1976. Selective crossing closures – a neglected option in crossing safety programs. *AREA Bulletin*, 78.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم؟

Mosayebi, S.A., Hoseini, M. and Mohammad Hasany, R., 2026. Prediction of Accidents at Rail-Road Grade Crossings Using the Poisson Mode. *Modares Civil Engineering journal, 26*(2), pp.33-47.