

## مدل سازی پیش‌بینی تصادفات فوتی در تقاطع‌های چراغ‌دار

### (مطالعه موردی شهر اصفهان)

#### مقاله پژوهشی

محسن ابوطالبی‌اصفهانی\*، استادیار، دانشکده عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران  
امیرمسعود رحیمی، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران  
سهیلا سعیدی، دانش آموخته کارشناسی‌ارشد، دانشکده عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران  
\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.aboutalebi.e@eng.ui.ac.ir

دریافت: ۹۸/۰۴/۰۸ - پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۵

صفحه ۱-۱۶

#### چکیده

تقاطع‌ها عامل تعیین‌کننده ظرفیت شبکه حمل و نقل بوده و هر گونه اختلالی نظیر تصادفات در آن‌ها باعث کاهش شدید ظرفیت خواهد شد. وقوع تصادفات در تقاطعات به دلیل همگرا شدن جریان‌های ترافیکی از آمار قابل توجهی برخوردار است. هدف این پژوهش بررسی عوامل اثرگذار بر تصادفات فوتی تقاطع‌ها است. به همین منظور داده‌های هندسی، ترافیکی، فوتی و وضعیت کنترل ۶۵ تقاطع شهر اصفهان استخراج و در نرم افزار SPSS22 تحلیل شدند. این تحلیل با استفاده از مدل‌سازی لگاریتم خطی پواسون، لگاریتم خطی دوجمله‌ای منفی و رگرسیون خطی صورت گرفت. اصول مربوطه و کنترل مربوط به صحت کاربرد آن‌ها نیز بررسی شد. نتایج حاصل از پژوهش برتری مدل دوجمله‌ای منفی نسبت به دو مدل دیگر را نشان داد و مشخص شد ۵ متغیر از جمله تعداد فاز در تقاطع، وجود دوربین، عرض معبر، عرض خط گردش به چپ و حجم عبوری مستقیم از جمله متغیرهای تاثیرگذار بر ایمنی است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل آماری، تصادفات فوتی، تقاطع‌های چراغ‌دار، مدل پواسون، مدل دوجمله‌ای منفی

#### ۱- مقدمه

از کل تصادفات منجر به جرح که توسط پلیس نیروژ گزارش شد، در تقاطع‌ها رخ می‌دهد. تعداد تصادفات رخ داده در تقاطع‌های شهری نسبت به تقاطع‌های برون شهری بیشتر است (National Highway Traffic Safety Administration, 2003). مطابق آمار نیروی انتظامی، در سال ۱۳۹۰ تعداد ۲۳۵۱۲ تصادف در شهر اصفهان به وقوع پیوسته است که از این مقدار ۲۶۲۶ تصادف در تقاطعات شهر اصفهان رخ داده است. تحلیل نتایج آماری بیان‌کننده این است که ۱۱ درصد تصادفات رخ داده در شهر اصفهان مربوط به تقاطعات است. با توجه به مساحت کل تقاطع‌ها نسبت به

با توجه به زیان‌های اقتصادی و اجتماعی بسیار زیاد تصادفات، جلوگیری از رخداد حتی یک تصادف از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. به همین علت تاکنون تلاش‌های بسیاری در زمینه ارائه مدل‌های پیش‌بینی تصادفات در کشورهای مختلف صورت گرفته است. طبق تحقیقات صورت گرفته در آمریکا بیش از ۴۴ درصد از کل تصادفات، حدود ۲۳ درصد از تصادفات فوتی، نزدیک ۵۰ درصد از تصادفات جرحی و بیش از ۴۲ درصد از تصادفات خسارتی مربوط به تقاطع‌هاست. تصادفات ناشی از گردش به چپ و عبور از چراغ قرمز، از جمله تصادفات معمول در تقاطع‌ها است. در حدود ۴۰ درصد

بیانگر این بود که از عوامل شناسایی شده، حجم ترافیک اوج دوره در شب، شرایط روسازی و تقاطع‌های بدون چراغ بیشترین اثرات را بر روی تکرار تصادف داشته‌اند. برای کاهش تصادفات و ایمنی، توجه زیادی باید بر روی نگهداری و تعمیر روسازی صورت گیرد و تقاطعات از نور و روشنایی کافی برخوردار باشند. نتایج حاصل از مدل بیانگر این بود که عواملی نظیر متوسط ترافیک روزانه در سال در جاده‌های اصلی، شرایط آب و هوای برفی در تقاطعات، تقاطعات بدون وجود چراغ در شب، سطح روسازی و دوره اوج شب (ساعات ۵ تا ۷ شب)، به صورت قابل ملاحظه‌ای معنادار شدند. همچنین تقاطع‌های واقع در مناطق تجاری به احتمال زیاد تجربه تصادفات بیشتری در مقایسه با مناطق غیر تجاری دارند و ترافیک در جاده‌های اصلی در یک تقاطع نقش مهمی در تصادف ایفا می‌کند. همچنین بارش برف منجر به افزایش تصادفات در تقاطعات می‌شود (Roshandeh, Agbelie and Lee, 2016).

گریبه، نتایج مربوط به دو مدل پیش‌بینی تصادف در تقاطع‌های شهری برای یک دوره پنج ساله را ارائه کرد. گریبه به خاطر سادگی توزیع پواسونی، از این توزیع برای داده‌های تصادف استفاده کرد. تحلیل اولیه نشان داد که بین متغیرهای مستقل همبستگی زیادی وجود دارد که این مسئله سبب می‌شود که کاربرد مدل‌ها پیچیده باشند. مشکل دیگری که در تحقیق گریبه وجود داشت، این بود که تعداد تصادفات در هر بخش ممکن نیست دارای توزیع پواسونی باشد (Greibe, 2003).

پیچرینگ و همکاران در مطالعاتشان بر روی تقاطع‌های سه-راهه با خیابان‌های دو خطه، از مدل پواسن و مدل خطی چند متغیره استفاده کردند و نشان دادند که ۳۳ درصد از تصادفات جرحی در تقاطع‌ها رخ داده که ۴۵ درصد آن مربوط به تقاطع‌های سه‌راهه است (Pichering, Hall and Grimmer, 1986). سالیفو در تحقیقات خود در خصوص پیش‌بینی تصادفات در تقاطع‌های شهری بدون چراغ در کشور غنا، تقاطع‌های چهارراهی و سه‌راهی را در نظر گرفت و از روش دوجمله‌ای منفی استفاده کرد و برای تقاطع‌های سه‌راهه و چهارراه دو مدل جداگانه ارائه کرد (Salifu, 2004).

پرساد و همکاران، چندین مدل دوجمله‌ای منفی را برای پیش‌بینی تعداد تصادفات جرحی و خسارتی در انواع مختلف

کل شبکه معابر که بسیار ناچیز است، مقدار ۱۱ درصد تصادفات در این مساحت، عدد قابل توجهی بوده که بیانگر اهمیت بررسی تصادفات در تقاطعات در سطح شهر است (Deputy of Transport and Traffic of Isfahan Municipality, 2016).

از آن جایی که الگوهای رفتاری و شرایط اقلیمی بر الگوهای ترافیکی تاثیرگذار است؛ این تحقیق بر آن است تا ویژگی‌های جریان ترافیک و طرح هندسی را بر میزان وقوع تصادفات فوتی در تقاطع‌های شهر اصفهان بررسی نماید. نتایج حاصل از این پژوهش علاوه بر پیش‌بینی تصادفات فوتی در تقاطع‌ها، می‌تواند در الویت‌بندی اصلاح تقاطع‌ها از نظر ایمنی و حساسیت سنجی عوامل مختلف در تصادفات فوتی مورد استفاده قرار بگیرد. پرسش‌های مطرح شده در این ارتباط عبارتند از: پارامترهای مهم ایمنی در بروز تصادفات فوتی چیست؟ از میان روش‌های تحلیلی بررسی شده کدام یک برای مدل‌سازی تصادفات فوتی در شهر اصفهان مناسب است؟ کدام فاکتورهای پیش‌بینی با توجه به ضریب ظاهر شده در مدل از اهمیت بیشتری برخوردار است؟ براساس پارامترهای مهم پیش‌بینی، چه عوامل مهمی برای کاهش تصادفات در آینده باید مد نظر قرار گیرد؟

## ۲- پیشینه تحقیق

دیدگاه‌ها و رویکردهای مختلفی در مدل‌سازی پیش‌بینی تصادفات مورد استفاده قرار گرفته است. برخی از روش‌های مختلف برای مدل‌سازی تصادفات روش پواسن<sup>۱</sup>، روش دوجمله‌ای منفی<sup>۲</sup>، مدل رگرسیون پواسن پرفر<sup>۳</sup>، مدل گاما<sup>۴</sup>، شمارش پارامترهای تصادفی<sup>۵</sup>، مدل‌های احتمالی چند جمله‌ای<sup>۶</sup> و دیگر الگوریتم‌های هوشمند، هستند. با وجود شیوه‌های مدل‌سازی مختلف و فرضیات بسیار زیادی که در مورد هر شیوه مدل‌سازی وجود دارد، انتخاب مدل مناسب برای تصادفات وسایل نقلیه مشکل است (Xu, Wong and Choi, 2014).

روشنده و همکاران به بررسی اثرات عوامل احتمالی بر ایمنی تقاطعات بزرگراه‌ها پرداختند. آن‌ها مدل‌های تصادفی پواسن و دوجمله‌ای منفی را در ابتدا مورد آزمایش قرار دادند، با توجه به اینکه پراکنندگی در داده‌ها مشاهده نشد، از مدل پواسن برای تجزیه و تحلیل داده‌ها که برای سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ جمع‌آوری شده بود؛ استفاده کردند. نتایج حاصل از بررسی

دقیق‌تر است. در مدل آماری از یک تابع و رابطه مشخصی که با توزیع فراوانی داده‌ها تطابق دارد، استفاده می‌شود ولی در شبکه عصبی نیاز به تعریف تابع مشخصی نیست؛ بنابراین مدل‌سازی با شبکه عصبی راحت‌تر است اما به کارگیری و استفاده از مدل آماری آسان‌تر بوده و با در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای هر یک از متغیرهای مستقل، متغیر وابسته به سهولت به دست می‌آید (Afandi-Zadeh, Abdel Manafi and Ahmadinejad, 2007).

تاکنون مدل‌های زیادی در خصوص تصادفات انواع راهها در داخل کشور مطالعه و توسعه داده شده است (Abdolahi, Abdolahi and Rikhtehgaran, 2019; Sarvari, Mohammadzadeh Moghaddam, and Salehi, 2018; Shafiee Nikabadi and Hakaki, 2018; Shabani, Asgharnejad and Ghanbarpour, 2017).

پس از بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد تاکنون تحقیقات زیادی در خصوص مدل‌سازی پیش‌بینی تصادفات در تقاطعات در خارج و داخل کشور صورت گرفته است. هم‌چنین بررسی‌ها نشان داد تاکنون پژوهشی درخصوص مدل‌سازی پیش‌بینی تصادفات در ارتباط با چهارراه‌های چهارشاخه شهر اصفهان صورت نگرفته است. ایمنی در تقاطع‌های چهارشاخه چراغ‌دار در شبکه شهری به خصوص در شهرهای بزرگ حائز اهمیت است. با توجه به نرخ بالای تصادفات در شهرهای بزرگ کشور از جمله اصفهان و معضل ایمنی ترافیک در تقاطع‌های شهری، پیش‌بینی تعداد تصادفات در تقاطعات چهارشاخه چراغ‌دار براساس متغیرهای موثر آن می‌تواند کمک به سزایی در جهت بهبود ایمنی در شبکه معابر و جلوگیری از بروز تصادفات احتمالی باشد.

### ۳- روش تحقیق و محدوده پژوهش

هدف از این تحقیق، تعیین مدل‌های آماری برای پیش‌بینی فراوانی تصادفات فوتی در هر یک از شاخه‌های تقاطع بوده تا با استفاده از مدل‌های آماری مناسب، رابطه‌ای بین اجزاء هندسی و شرایط ترافیکی با فراوانی تصادفات در تقاطع‌های چراغ‌دار برقرار شود. لذا مدل‌های پیش‌بینی تصادفات فوتی در سه خانواده لگ خطی پواسن، لگ خطی دوجمله‌ای منفی و مدل خطی بررسی می‌شود، سپس نکوئی برازش مدل‌های ساخته شده با استفاده از آزمون‌های آماری مختلف بررسی و

تقاطع‌ها در تگزاس در نظر گرفتند. نتایج نشان داد حجم ترافیک راه‌هایی که یکدیگر را قطع می‌کنند، تنها عاملی است که در مدل‌های پیش‌بینی تصادفات در تقاطع‌های چراغ‌دار سه و چهار شاخه مهم است (Persaud, Lord and Palmisano, 2002).

راهنمای ایمنی معابر<sup>۷</sup>، کامل‌ترین مدل را برای پیش‌بینی فراوانی تصادفات در قطعات راه و انواع تقاطع‌ها ارائه کرده است. این راهنما بیان می‌کند برای پیش‌بینی تصادفات تقاطع‌ها، ویژگی‌های هندسی و کنترل ترافیکی شامل تعداد شاخه‌های تقاطع (۳ یا ۴ شاخه)، نوع کنترل ترافیک (چراغ‌دار و بدون چراغ)، زاویه انحراف تقاطع (میزان انحراف از ۹۰ درجه)، عملکرد خطوط گردش به چپ تقاطع، عملکرد خطوط گردش به راست تقاطع و وجود یا عدم وجود روشنایی تقاطع بایستی بررسی گردد (Federal Highway Administration, 2010).

شیخ الاسلامی و عزیزی از مدل دوجمله‌ای منفی برای انجام مدل‌سازی استفاده کردند و با استفاده از مدل دوجمله‌ای منفی، مدل پیش‌بینی تعداد تصادفات در تقاطع‌های چراغ‌دار را برای ارزیابی ایمنی تقاطع‌های چراغ‌دار شهر تهران توسعه دادند. هم‌چنین از پارامترهای هندسی و محیطی تقاطع‌ها در مدل‌سازی صرف نظر کردند (Sheikhholeslami and Azizi, 2010).

قاسمی نوقابی و آیتی در پژوهش خود از مدل دوجمله‌ای منفی برای پیش‌بینی فراوانی تصادفات جرحی در هر یک از شاخه‌های تقاطع استفاده کردند. مدل ساخته شده توسط آن‌ها قادر بود فراوانی تصادفات جرحی را براساس پارامترهای هندسی (تعداد خطوط عبوری و وجود میانه در شاخه تقاطع)، کنترلی (نوع سیستم کنترل تقاطع، تعداد فازها به ازای هر سیکل و دوربین نظارتی) و ترافیکی تقاطع (حجم ترافیک در شاخه تقاطع) پیش‌بینی نماید (Ghasemi Noghahi and Ayati, 2009).

احمدی‌نژاد و افندی‌زاده در تحقیقات خود، نتایج حاصل از مدل‌های آماری و شبکه عصبی در پیش‌بینی تعداد تصادفات در تقاطع‌ها را بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که دقت جواب‌های هر دو مدل آماری و شبکه عصبی خوب است ولی ضریب همبستگی در مدل آماری ۹۵ درصد و در مدل شبکه عصبی ۹۷ درصد است که مدل شبکه عصبی تا حدودی

۰/۰۵ باشد فرض  $\beta_i = 0$  در سطح ۰/۰۵ رد می‌شود. در غیر این صورت فرض  $\beta_i = 0$  پذیرفته می‌شود. مدل برازش شده را معمولاً به صورت رابطه ۲ می‌نویسند:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \chi_1 + \hat{\beta}_2 \chi_2 + \hat{\beta}_3 \chi_3 + \dots + \hat{\beta}_k \chi_k \quad (2)$$

که در آن  $\hat{y}$  برآورد میانگین متغیر پاسخ است و  $\hat{\beta}$  ها برآورد حداقل مربعات ضرایب هستند. در این تحقیق  $y$  نماد تعداد تصادفات است و  $\chi$  ها نماد متغیرهای مستقل هستند.

### مدل لگاریتم خطی پواسن و دوجمله‌ای منفی

مدل‌های رگرسیون پواسونی و دوجمله‌ای منفی، در مدل‌سازی فراوانی تصادفات، بسیار زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. تصادفات رخ داده در یک بازه زمانی (یک سال) در یک تقاطع معمولاً از توزیع پواسونی تبعیت می‌کند. احتمال وقوع  $y_i$  تصادف در طی یک‌سال در تقاطع  $i$  برابر است با:

$$P(y_i) = \frac{\exp(-\lambda_i) \lambda_i^{y_i}}{y_i!} \quad (3)$$

در فرمول فوق  $\lambda_i$  پارامتر پواسونی برای تقاطع  $i$  بوده و برابر با تعداد متوسط تصادفات پیش‌بینی شده در طی یک‌سال برای تقاطع  $i$ ،  $E[y_i]$ ، است. مدل رگرسیون پواسونی با مشخص کردن  $\lambda_i$  به صورت تابعی از متغیرهای توضیحی به شکل:

$$\lambda_i = \exp(\beta \chi_i) \quad (4)$$

تخمین زده می‌شود که در فرمول فوق  $\chi_i$  بردار متغیرهای توضیحی و  $\beta$  بردار ضرایب تخمین زده شده است. پارامترهای مدل با استفاده از تابع درست‌نمایی ماکزیمم تخمین زده می‌شود. مدل پواسون با توجه به تمام ویژگی‌های مثبتی که در مقایسه با مدل‌های پیشین دارد دارای این محدودیت است که در آن میانگین و واریانس متغیر وابسته باید با یکدیگر برابر باشد. در هنگامی که میانگین متغیر وابسته با واریانس مشاهده شده با یکدیگر برابر نباشند از توزیع دوجمله‌ای منفی استفاده می‌شود. توزیع دوجمله‌ای منفی، توزیع گسسته‌ای است که مدل دیگری برای داده‌های با پراکندگی زیاد نظیر داده‌های شمارشی را فراهم می‌کند. مدل لگاریتم خطی پواسن را به صورت معادله رابطه (۵) نیز می‌توان نوشت:

$$\mu_i = \exp\{\beta_0 + \beta_1 \chi_1 + \beta_2 \chi_2 + \dots + \beta_p \ln \chi_p\} \quad (5)$$

با هم مقایسه و اعتبارسنجی می‌شوند. در نهایت بهترین مدل پیش‌بینی تصادفات فوتی معرفی می‌گردد. برای انجام این پژوهش، شهر اصفهان به عنوان حوزه مطالعاتی انتخاب شده است. پس از بررسی‌های صورت گرفته، تقاطع‌های چهار شاخه چراغ‌دار براساس ویژگی‌های چهار شاخه بودن، هم سطح بودن، عرض و نوع معبر، وجود دوربین و عدم وجود دوربین، انتخاب شدند. تعداد تقاطعات انتخاب شده ۶۵ مورد بود که در جدول انتهایی پیوست اسامی آن‌ها ذکر شده است. تعداد تقاطع‌های در نظر گرفته شده حدود ۶۰ درصد تقاطع-های شهر اصفهان را شامل می‌شود. در بررسی‌های انجام شده تلاش شده است که تقاطعات انتخاب شده کل مناطق دوازده-گانه شهر را پوشش دهند. سپس آمار تصادفات در هر یک از شاخه‌های تقاطعات چراغ‌دار و چهار شاخه شهر اصفهان از بانک اطلاعاتی اداره راهنمایی و رانندگی شهر اصفهان به مدت یک‌سال و از مهرماه سال ۱۳۹۳ تا مهرماه سال ۱۳۹۴ و اطلاعات طرح هندسی و ترافیکی تقاطع‌ها و وضعیت کنترل تقاطع‌ها و اطلاعات حجم شاخه‌های تقاطع از طریق نرم افزار EMME4 و از معاونت حمل و نقل و ترافیک شهر اصفهان جمع‌آوری شد. اطلاعات ناقص نیز از طریق برداشت میدانی تکمیل شده است.

### مبانی نظری تحقیق

از آنجا که در این تحقیق از سه مدل خطی، مدل لگاریتم خطی پواسون و مدل لگاریتم خطی دوجمله‌ای منفی استفاده شده است در ادامه به مبانی نظری آن‌ها پرداخته شده است.

### مدل خطی

شکل کلی این مدل به صورت رابطه ۱ است:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \chi_1 + \beta_2 \chi_2 + \beta_3 \chi_3 + \dots + \beta_k \chi_k + e \quad (1)$$

در واقع رگرسیون خطی چندگانه، تعمیم یافته رگرسیون خطی ساده است. که در آن:  $y$  متغیر وابسته (متغیر پاسخ)،  $\chi$  ها متغیرهای مستقل (متغیرهای توضیحی)،  $e$  مانده‌های مدل و  $\beta$  ها ضرایب مدل هستند. فرض می‌شود که مانده‌ها از توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس ثابت  $\sigma^2$  پیروی می‌کنند. آزمون فرض  $\beta_i = 0$  بدین معنی است که اثر متغیر  $\chi_i$  وجود ندارد. این آزمون را می‌توان با استفاده از مقدار احتمال انجام داد. اگر مقدار احتمال کوچک‌تر یا مساوی

داده‌های تصادفات فوتی است. در جدول انتهایی پیوست متغیرهای مستقل بررسی شده که با توجه به اهمیت و در دسترس بودن اطلاعات بر اساس مطالعات پیشین گردآوری شده، نشان داده شده است.

#### ۴-۱- خروجی مدل لگاریتم خطی پواسون

ابتدا تمامی متغیرها وارد مدل شدند و سپس به ترتیب متغیرهای نامناسب با معناداری کم و ضریب متغیر نامناسب، از مدل خارج شدند. سطح اهمیت آماری در نظر گرفته شده برای حذف متغیرهای مستقل، برابر با ۱۰ درصد است. انتخاب این مقدار برای سطح اهمیت آماری به دلیل این است که متغیر حجم عبوری مستقیم که متغیر توضیحی مهمی به شمار می‌رود در مدل حضور داشته باشد. برای آزمون فرض صفر بودن یک پارامتر از آماره  $\chi^2$  دوی والد استفاده می‌شود. صفر شدن یک ضریب بدین معنی است که متغیر مستقل متناظر آن از مدل خارج می‌شود. در صورتی که مقدار  $\chi^2$  دو والد هر کدام از متغیرها از مقدار جدولی آن  $\chi^2_{0.9,1} = 2.71$  بزرگ‌تر باشد، بیان‌گر مناسب بودن متغیر برای مدل است. در نهایت مدل رگرسیون پواسن با ضرایب محاسباتی متغیرهای معنادار زیر بدست آمد:

$$\ln(\mu) = \beta_0 + \lambda_j \text{faz} + \beta_1 \chi_2 + \beta_2 \chi_{20} + \beta_3 \chi_8 + \beta_8 \ln \chi_{22} \quad (9)$$

نتایج تخمین مدل پواسن برای فراوانی تمام انواع تصادفات فوتی در شاخه تقاطع در جدول ۱ پیوست آمده است. این جدول شامل متغیرهای مربوطه، درجه آزادی، ضریب تخمین، خطای استاندارد و مقدار P-value است. لازم به توضیح است که متغیر توضیحی تعداد فاز، یک متغیر توضیحی رسته‌ای با چهار سطح بوده و معنادار شدن یک سطح از آن برای قرار گرفتن در مدل کافی است. در این بین طبق نتایج نرم‌افزار بعضی از متغیرها اضافی<sup>a</sup> بوده که در واقع این متغیرها توسط بقیه متغیرها پوشش داده شده‌اند. این متغیرها در همان ابتدا از مدل خارج می‌شوند و به صورت<sup>a</sup> در نتایج گزارش می‌شوند. در خصوص متغیر توضیحی تعداد فاز، پنج فاز بودن متغیری است که بایستی از مدل خارج شود و پارامتر مربوط به آن صفر در نظر گرفته می‌شود. معیارهای برازندگی مدل در جدول ۲ پیوست نشان داده شده است. براساس این جدول، آماره نسبت درست نمایی برای

فرض  $\beta_i = 0$  را با استفاده از مقدار احتمال می‌توان آزمود. فرض نیکوئی برازش مدل با استفاده از آماره نسبت درست‌نمایی تعمیم یافته (Deviance) انجام می‌شود. اگر  $\chi^2_a < \text{Deviance}$  فرض برازندگی مدل در سطح  $\alpha$  پذیرفته می‌شود؛ که در آن  $\chi^2_a$  صدک  $(1-\alpha) \cdot 100$  درصد توزیع  $\chi^2$  با  $d$  درجه آزادی است؛  $d = N - P$  (تعداد کل چهارراه‌ها و  $P$  تعداد متغیرهای توضیحی است) مقدار احتمال برای آزمون فرض برازندگی مدل برابر است با رابطه (۶):

$$p\text{-value} = P_r \{ \chi^2_a > \text{Deviance} \} \quad (6)$$

اگر  $p\text{-value} < 0.05$  آن‌گاه فرض برازندگی مدل در سطح  $0.05$  رد می‌شود. در غیر این صورت فرض برازندگی مدل در سطح  $0.05$  پذیرفته می‌شود. مدل لگاریتم خطی دوجمله‌ای منفی مشابه مدل لگاریتم خطی پواسن تعریف می‌شود. فقط تفاوت در این است که در مدل لگاریتم خطی دوجمله‌ای فرض می‌شود که  $\lambda$  (تعداد تصادفات) از توزیع دوجمله‌ای منفی پیروی می‌کند. برای ایجاد مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی یک جمله خطا با توزیع گاما و میانگین یک و واریانس  $\alpha^2$  به پارامتر پواسونی افزوده می‌شود:

$$\lambda_i = \text{EXP} (\beta \chi_i + \varepsilon) \quad (7)$$

اضافه کردن این جمله باعث می‌شود اختلاف واریانس و میانگین به صورت زیر باشد:

$$\text{VAR}[y_i] = E[y_i] + \alpha E[y_i]^2 \quad (8)$$

که  $\alpha$  پارامتر پراکندگی بیش از حد نامیده می‌شود. هنگامی که  $\alpha$  صفر است، مدل دوجمله‌ای منفی به مدل پواسونی تبدیل می‌شود.

#### ۴- یافته‌های پژوهش

مدل‌سازی داده‌ها در این تحقیق بر اساس نرم افزار SPSS انجام شده است. در این مدل‌سازی متغیر وابسته، تعداد کل تصادفات فوتی سالانه ( $y$ ) است که حداقل آن صفر و حداکثر آن ۳ تعیین شده و بر این اساس مقدار میانگین و انحراف معیار آنها به ترتیب  $0.17$  و  $0.494$  محاسبه شده است. بنابراین نسبت انحراف معیار به میانگین داده‌های تصادفات فوتی بزرگ‌تر از یک است. این امر بیانگر وجود پراکندگی در

که متناظر با ۲۲۳ درجه آزادی است. با استفاده از جدول خی دو، برای سطح معنی داری ۰/۰۵ عدد بحرانی ۲۵۸/۸۴ به دست می‌آید. با توجه به این که  $۲۵۸/۸۴ > ۲۰۵/۱۶$  لذا فرض نیکوئی برازش مدل در سطح ۰/۰۵ پذیرفته می‌شود. به این ترتیب مدل برازش شده عبارت است از رابطه (۱۱):

$$\ln(\hat{\mu}) = -4.538 + \lambda_j^{faz} + 0.179 \chi_2 - 1.104 \chi_{20} + 0.253 \chi_8 + 0.630 \ln \chi_{22} \quad (11)$$

$$\lambda_2^{faz} = -0.527, \lambda_3^{faz} = -1.376,$$

$$\lambda_4^{faz} = 0.148, \lambda_5^{faz} = 0$$

پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند.

#### ۴-۳- خروجی مدل رگرسیون خطی

جهت ساخت مدل رگرسیون خطی، ابتدا تمامی متغیرها وارد مدل شدند و متغیرهای نامناسب، با معناداری کم ( $\text{sig} > 0.05$ ) از مدل خارج شدند تا مناسب‌ترین مدل حاصل شود. در جدول ۵ پیوست برآورد پارامترهای مدل، انحراف معیار متناظر هر برآورد و مقدار احتمال برای آزمون فرض صفر بودن آن پارامتر ارائه شده است. در جدول ۶ پیوست مقدار آماره F، شاخص برازش مدل نشان داده شده است. لازم به توضیح است که متغیر توضیحی تعداد فاز، یک متغیر توضیحی رسته‌ای با چهار سطح است. سطح معنی داری ۰/۱ ( $p\text{-value}$  برابر با ۱۰ درصد است) به دلیل حضور متغیر توضیحی حجم عبوری مستقیم به کار رفته است. مدل به دست آمده بدون عدد ثابت است زیرا با وجود عدد ثابت معناداری متغیرهای توضیحی و هم‌چنین شاخص برازش مدل در وضعیت نامطلوبی قرار می‌گیرد. در این مدل متغیرهای مدل به دست آمده کاملاً مناسب و با آزمون  $t$ ، در مدل حضور معنی‌دار دارند. شاخص برازش ( $R^2$ )، حاصل از مدل، برابر ۳۷ درصد است که بیانگر برازش نسبتاً ضعیف مدل است. با توجه به نتایج تحت فرض عدم برازندگی مدل، مقدار آماره F برابر با  $۱۱/۸۲۰$  بدست آمده است که متناظر با  $df_1=4$  و  $df_2=227$  درجه آزادی است. با استفاده از جدول F بحرانی در سطح  $\alpha = 0.05$  برابر با  $F_{0.05} = 0.56$  بدست می‌آید. با توجه به اینکه  $۱۱/۸۲۰ > ۰/۵۶$  است فرض عدم برازندگی در سطح ۰/۰۵ رد می‌شود. به این ترتیب مدل برازش شده عبارت است از رابطه (۱۲):

$$\hat{\mu} = -0.172 \chi_{20} + 0.180 \chi_2 + 0.52 \chi_8 + 0.36 \ln \chi_{22} \quad (12)$$

آزمون فرض نیکوئی برازش مدل برابر با  $۱۳۸/۵۲۶$  به دست آمده که متناظر با ۲۲۳ درجه آزادی است. با استفاده از جدول خی دو<sup>۹</sup> برای سطح معنی داری ۰/۰۵، عدد بحرانی ۲۵۸/۸۴ به دست می‌آید. با توجه به این که  $۱۳۸/۵۲۶ < ۲۵۸/۸۴$  لذا فرض نیکوئی برازش مدل در سطح ۰/۰۵ پذیرفته می‌شود. به این ترتیب مدل برازش شده عبارت است:

$$\ln(\hat{\mu}) = -3.974 + \lambda_j^{faz} + 0.166 \chi_2 - 1.44 \chi_{20} + 0.249 \chi_8 + 0.571 \ln \chi_{22} \quad (10)$$

$$\lambda_2^{faz} = -0.788, \lambda_3^{faz} = -1.282,$$

$$\lambda_4^{faz} = 0.041, \lambda_5^{faz} = 0$$

$\hat{\mu}$  = فراوانی پیش‌بینی کل تصادفات فوتی

$\lambda_j^{faz}$  = برحسب این که تقاطع دو فاز، سه فاز و یا چهار فاز باشد مقادیر مربوط به آنها با توجه به رابطه ۱۰ در فرمول قرار داده می‌شود.

$\chi_2$  = عرض شاخه (برحسب متر)

$\chi_{20}$  = دوربین نظارتی در تقاطع (اگر دوربین در تقاطع وجود داشته باشد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰)

$\chi_8$  = عرض خط گردش به چپ ویژه (برحسب متر)

$\chi_{22}$  = حجم ترافیک روزانه کل عبوری مستقیم (برحسب لگاریتم طبیعی)

#### ۴-۲- خروجی مدل لگاریتم خطی دوجمله‌ای منفی

در ادامه روند مدل‌سازی، ابتدا تمامی متغیرها وارد مدل شدند. سپس متغیرهای مستقلی که از لحاظ معناداری و ضریب متغیر در شرایط مناسبی قرار نداشتند از مدل حذف شدند (به علت همبستگی متغیرها). همانند مدل پواسن، سطح معنی داری ۰/۱ ( $p\text{-value}$  برابر با ۱۰ درصد است) بکار رفت. انتخاب این مقدار برای سطح اهمیت آماری بدلیل این است که متغیر حجم عبوری مستقیم که متغیر توضیحی مهمی به شمار می‌رود در مدل حضور داشته باشد. نتایج حاصل از مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی با داده‌های تقاطع‌های مورد مطالعه در جدول ۳ پیوست آمده است. برآورد پارامترهای مدل، انحراف معیار متناظر هر برآورد و مقدار آماره خی دوی والد و مقدار احتمال برای آزمون فرض صفر بودن آن پارامتر در این جدول ارائه شده است. با توجه به نتایج، مقدار مربع کای هر کدام از متغیرها از مقدار جدولی آن  $\chi_{0.9,1}^2 = 2.71$  بزرگ‌تر است که بیانگر مناسب بودن متغیرها برای مدل است. معیارهای برازندگی مدل در جدول ۴ پیوست نشان داده شده است. آماره نسبت درست‌نمایی برای آزمون فرض نیکوئی برازش مدل برابر با  $۲۰۵/۱۶$  به دست آمده

مدل با دو مدل فوق پرداخته می‌شود. در مقایسه مدل پواسن و دوجمله‌ای منفی می‌توان از شاخص‌های AIC و BIC استفاده نمود، به گونه‌ای که هر چه مقدار این دو شاخص کمتر باشد نشان دهنده پیچیدگی کمتر مدل و داشتن ارجحیت مدل بر دیگری است. مقدار لگاریتم درست‌نمایی نیز می‌تواند معیار دیگری در تشخیص مقایسه دو مدل باشد، هر چه مقدار آن کمتر باشد مدل ارجح‌تر است. در جدول ۱ شاخص‌های برازش دو مدل پواسن و دوجمله‌ای منفی آورده شده است.

با توجه به نتایج مقایسه دو مدل پواسن و دوجمله‌ای منفی، شاخص‌های پیچیدگی مدل (AIC و BIC) برای مدل دوجمله‌ای منفی کمتر بوده که نشان دهنده این است که مدل دوجمله‌ای منفی با توجه به نتایج مدل‌سازی معتبرتر است. همچنین مقادیر انحراف و کای دو پیرسون در دوجمله‌ای منفی، تقسیم بر درجه آزادی‌شان به ۱ نزدیک‌تر است که با توجه به این شاخص‌ها مدل دوجمله‌ای منفی مناسب‌تر است. محدودیت مدل پواسن در برابری میانگین و واریانس بوده که با توجه به داده‌های آماری چنین فرضی صحیح نبوده و لذا مدل دوجمله‌ای منفی از نتایج معتبرتری برخوردار خواهد بود. این نکته با توجه به نتایج حاصل نیز قابل اثبات است.

$\hat{Y} =$  فراوانی پیش‌بینی کل تصادفات فوتی

$\chi^2_2 =$  عرض شاخه (برحسب متر)

$\chi^2_{20} =$  دوربین نظارتی در تقاطع (اگر دوربین در تقاطع وجود داشته باشد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰)

$\chi^2_8 =$  عرض خط گردش به چپ ویژه (برحسب متر)

$\chi^2_{22} =$  حجم ترافیک روزانه کل عبوری مستقیم (برحسب لگاریتم طبیعی)

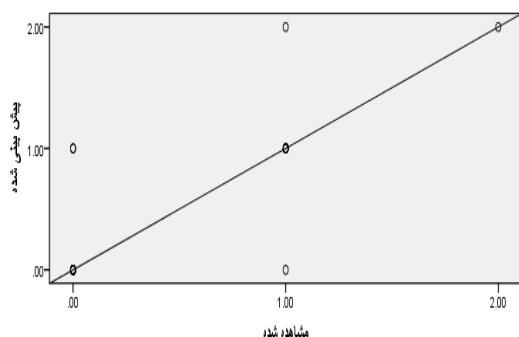
#### ۴-۴- مقایسه مدل‌های رگرسیون خطی، پواسن و

##### دوجمله‌ای منفی

مدل رگرسیون خطی به دلیل دارا بودن ضریب همبستگی پایین و قرار دادن تعداد تصادفات در محدوده کمتر از صفر، مدل مناسبی برای بررسی تصادفات نیست. با توجه به مقدار شاخص برازش حاصل شده از مدل که برابر با ۲۷ درصد است، مدل به دست آمده نمی‌تواند معیار دقیقی برای تخمین تعداد تصادفات فوتی باشد. همچنین به دلیل تفاوت ساختاری این نوع مدل با دو مدل پواسن و دوجمله‌ای منفی نمی‌توان نتایج آن‌ها را با هم مقایسه نمود. در رسم نمودار پراکنندگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی مدل‌ها، به مقایسه این

جدول ۱. مقایسه مدل‌های رگرسیون پواسن و دوجمله‌ای منفی

آزمون عمومی		Value/df					مدل
سطح معنی داری	نسبت درست نمایی کای دو	معیار اطلاعات بیزی (BIC)	معیار اطلاعات آکائیک (AIC)	لگاریتم درست نمایی	کای دو پیرسون	انحراف معیار	
۰/۰۰۰	۳۲/۰۵۸	۲۴۹/۷۳۲	۲۲۲/۱۹۲	-۱۰۳/۰۹۶	۱/۱۶۵	۰/۶۲۱	پواسن
۰/۰۰۰	۲۷/۶۵۷	۲۴۶/۹۸۹	۲۱۸/۹۸۹	-۱۰۱/۴۹۵	۰/۹۶۶	۰/۹۲	دوجمله‌ای منفی

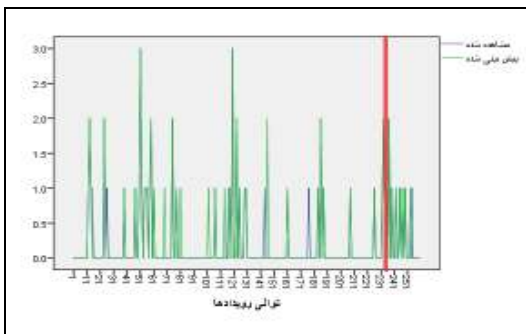


شکل ۱. پراکنندگی بین مشاهده‌ها و پیش‌بینی مدل پواسن

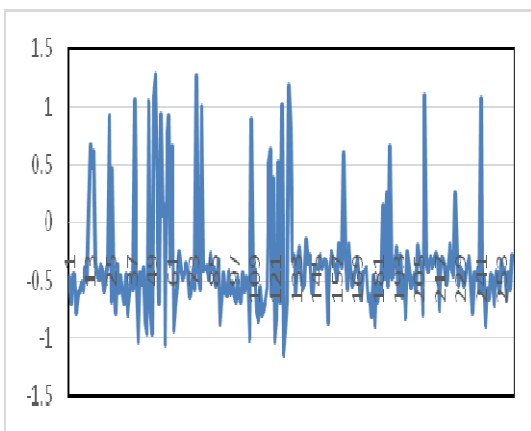
#### اعتبارسنجی مدل‌ها

در اشکال ۱، ۲ و ۳ پراکنندگی بین تعداد تصادفات جرحی مشاهده شده و تعداد تصادفات جرحی پیش‌بینی شده با مدل پواسن، مدل دوجمله‌ای منفی و مدل رگرسیون خطی در شاخه‌های تصادفی انتخابی که به عنوان ارزیاب در نظر گرفته شده بودند و در مدل وارد نشدند، ترسیم شده است. دایره‌های که پررنگ‌تر هستند به دلیل تجمع فراوانی داده‌های تصادف در این نقاط است.

کنار گذاشته شده بود. نتایج مدل پیش‌بینی با مقادیر مشاهده شده از انطباق خوبی برخوردار است که این برانزده بودن مدل را نشان می‌دهد. در صورتی که مدل برازش خوبی داشته باشد، انتظار می‌رود که مانده‌ها حول صفر نوسان و در فاصله (۳ و -۳) قرار داشته باشند. تحلیل باقیمانده‌ها نیز برای مدل دو جمله‌ای منفی نشان می‌دهد که میانگین آن‌ها مستقل از هم و نرمال و حول صفر نوسان دارد و این مناسبت مدل را نشان می‌دهد. مانده‌های استاندارد برای تصادفات فوتی مدل دو جمله‌ای منفی در شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۴. توالی بین مشاهدات و پیش‌بینی مدل پواسن در تصادفات فوتی

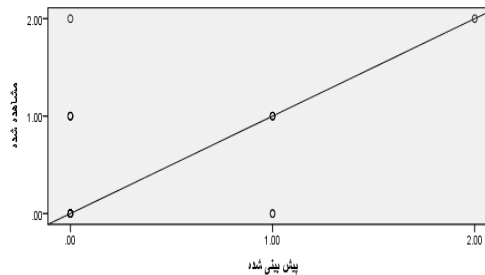


شکل ۵. مانده‌های استاندارد شده (Standardized Residues) در مقابل  $\lambda$  برای مدل پیش‌بینی پواسن تصادفات فوتی

با استفاده از پیش‌بینی تصادفات و اندیشیدن در خصوص عوامل موثر می‌توان راهکارهایی برای پیش‌گیری از وقوع تصادف و به حداقل رساندن آنها، انجام داد. مدل‌های آماری ساخته شده در این تحقیق قادر است فراوانی تصادفات فوتی را براساس پارامترهای هندسی، کنترلی و ترافیکی تقاطع پیش‌بینی نماید. آمار لازم از اطلاعات کروکی‌های ثبت شده توسط پلیس استخراج شده است. لازم به ذکر است وارد کردن مواردی از مشخصات مربوط به آمار تصادفات همچون



شکل ۲. پراکندگی بین مشاهده‌ها و پیش‌بینی مدل دو جمله‌ای منفی



شکل ۳. پراکندگی بین مشاهدات و پیش‌بینی مدل رگرسیون خطی

با توجه به نمودار پراکندگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر مشاهده شده، مقدار ضریب همبستگی مدل دو جمله‌ای منفی بیشتر از دو مدل رگرسیون پواسن و رگرسیون خطی است. بنابراین مدل رگرسیون دو جمله‌ای منفی دارای عملکرد مناسب‌تری است. جهت به دست آوردن مقادیر  $R^2$  هر یک از مدل‌ها از رابطه ۱۳ استفاده شد:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (A_i, \text{act} - B_i, \text{pred})^2}{\sum_{i=1}^n (A_i, \text{act} - \bar{A}_i, \text{pred})^2} \quad (13)$$

که در این رابطه  $A$  مقادیر واقعی،  $B$  مقادیر پیش‌بینی شده و  $\bar{A}$  میانگین مقادیر واقعی است. در جدول ۲ مقادیر  $R^2$  برای هر یک از مدل‌ها آورده شده است.

جدول ۲. مقادیر  $R^2$  مدل‌ها

مدل	$R^2$
رگرسیون پواسن	۰/۶۳۵۱۷۹
رگرسیون دو جمله‌ای منفی	۰/۸۱۷۵۹
رگرسیون خطی	۰/۰۰۳۲۶

پس از انتخاب مدل دو جمله‌ای منفی، نمودار توالی مشاهده شده در مقابل نمودار پیش‌بینی شده این مدل در شکل ۴ ترسیم گردید. قسمت قرمز رنگ به بعد مربوط به شاخه‌های تقاطعاتی است که به صورت تصادفی انتخاب و



ج) در تصادفات فوتی، سه فازه بودن نسبت به دو فازه بودن طبق جدول شماره ۳ پیوست منجر به کاهش بیشتری در تعداد تصادفات فوتی می‌شود؛ و چهار فازه بودن منجر به افزایش تعداد تصادفات فوتی به میزان ۱۵/۹۵ درصد در تقاطعات می‌شود. با افزایش تعداد فاز، رانندگان در انتهای هر فاز سعی در تکمیل هرچه سریعتر مانور خود دارند و تلاش می‌کنند از زمان زرد باقی مانده استفاده کنند که این امر سبب بروز تصادف می‌شود.

چ) با توجه به ضریب تخمین متغیر حجم عبوری و بزرگی آن، افزایش حجم ترافیک عبوری مستقیم در شاخه تقاطع باعث افزایش تصادفات فوتی به میزان ۸۷/۸۷ درصد می‌شود. به طور کلی با افزایش حجم، برخوردهای بین وسایل نقلیه بیشتر می‌شود و فاصله کمی بین وسایل نقلیه برای انجام مانور گردش به چپ و ادغام ترافیک گردش به راست وجود دارد. بالا بودن حجم ترافیک در شاخه‌های تقاطع، نشان دهنده شلوغ بودن تقاطع است که سبب افزایش تعداد نقاط برخورد وسایل نقلیه با یک دیگر می‌شود.

#### ۵- نتیجه گیری

مدل پیش‌بینی فراوانی تصادفات فوتی در سه گروه از خانواده لگاریتم خطی پواسن، لگاریتم خطی دوجمله‌ای منفی و رگرسیون خطی بررسی شد و برتری مدل دوجمله‌ای منفی اثبات گردید. شاخص  $R^2$  حاصل از مدل دوجمله‌ای منفی ۰/۸۱۷۵ حاصل شد. این مدل سازی نشان داد که با توجه به مدل‌های ساخته شده و ضرایب متغیرها نحوه اولویت‌بندی و اهمیت پارامترها برای کاهش تصادفات فوتی در تقاطعات به ترتیب حجم عبوری، دوربین نظارتی، عرض خط گردش به چپ، عرض شاخه و تعداد فاز هستند. بنابراین لازم است در خصوص کاهش تصادفات با اولویت بیان شده، اقدامات صورت گیرد.

#### ۶- سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از فرمانده محترم پلیس راهنمایی و رانندگی استان اصفهان و معاون محترم حمل و نقل و ترافیک شهرداری اصفهان که مساعدت و همکاری‌های لازم را جهت جمع‌آوری داده‌های این تحقیق انجام دادند، قدردانی نمایند.

زمان دقیق وقوع تصادف، نوع وسیله نقلیه، شرایط آب و هوایی و ...، به مدل پیش‌بینی تصادفات در تقاطع، بدلیل وابستگی به هر تصادف امکان‌پذیر نیست. به عبارت دیگر این عوامل بایستی در بررسی تک‌تک پارامترهای تصادف و پیش‌بینی هر تصادف به طور جداگانه مورد بررسی قرار گیرد. شایان ذکر است موضوع این تحقیق پیش‌بینی تصادف (در مجموع) در تقاطع با توجه به فاکتورهای ترافیکی و عوامل مربوط به تقاطع است. در نهایت مدل‌های ساخته شده در شناسایی عوامل موثر و مقدار تاثیر هر یک در تصادفات موثر است. نتایج حاصل از پژوهش به شرح زیر است:

الف) طبق مطالعات انجام شده در خصوص احتمال وقوع تصادف و عوامل مرتبط با آن، عوامل ترافیکی، عوامل هندسی و خطاهای انسانی از مهم‌ترین علل بروز تصادف هستند. طبق نتیجه نهایی مدل پیش‌بینی تصادفات فوتی، این مدل قادر است فراوانی تصادفات فوتی را براساس پارامترهای هندسی (عرض شاخه و عرض خط گردش به چپ ویژه)، کنترلی (دوربین نظارتی و تعداد فاز) و ترافیکی تقاطع (حجم ترافیک روزانه عبوری مستقیم) پیش‌بینی نماید.

ب) ضریب تخمین متغیر دوربین نظارتی، نشان می‌دهد که اگر شاخه دارای دوربین نظارتی باشد، فراوانی تصادفات فوتی کاهش می‌یابد. علت این امر آن است که با وجود دوربین، رانندگان به دلیل ثبت تخلف آن‌ها توسط دوربین؛ صبر و حوصله بیشتری از خود نشان می‌دهند و سعی در کاهش تخلفات دارند. با توجه به فاکتور کاهش تصادف برای این متغیر چنانچه در دو تقاطع تمام شرایط کاملاً یکسان باشد در تقاطعی که دوربین نظارتی وجود دارد، فراوانی تمام انواع تصادفات جرحی طبق جدول شماره ۳ پیوست ۶۶/۸۴ درصد کاهش خواهد یافت.

پ) طبق نتایج حاصل از جدول شماره ۳ پیوست با افزایش عرض خطوط شاخه تقاطع و عرض خط گردش به چپ، تعداد تصادفات فوتی به میزان ۱۹/۶ درصد و ۲۸/۷۸ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش عرض شاخه تقاطع، حجم ورودی به تقاطع و همچنین نقاط برخورد بین وسیله نقلیه به علت مانورهای حرکتی مختلف افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش عرض، حجم ترافیک گردش به چپ زیاد می‌شود و نقاط برخورد بین وسیله نقلیه به علت مانورهای مختلف افزایش می‌یابد.

5. Random-parameter count
6. Multinomial Models
7. Highway Safety Manual
8. Redundant
9. Chi-Square

## ۷- پی نوشت ها

1. Poisson
2. Negative-binomial
3. Conway-Maxwell-Poisson
4. Gamma

## ۸- مراجع

- افندی زاده، ش. عبدالمنافی، س. ا. و احمدی نژاد، م.، (۱۳۸۶). "مقایسه نتایج مدل های آماری و شبکه عصبی در پیش بینی تصادفات در تقاطعات"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال چهارم، شماره چهارم، ص. ۳۳۹-۳۵۵.
- سروری، ع. محمدزاده مقدم، ا. و صالحی، م.، (۱۳۹۷)، "توسعه مدل های منعطف کلان گر پیش بینی فراوانی تصادفات با در نظرگیری وابستگی های فضایی و اثرات مشاهده نشده ناهمسان ساز"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، پذیرش شده برای چاپ.
- شعبانی، ش. عسگر نژاد، و. و قنبرپور، آ.، (۱۳۹۶)، "توسعه مدل نرخ تصادفات ترافیکی بر اساس رابطه سرعت، چگالی و جریان ترافیک در راه های دو طرفه"، جاده، دوره ۲۵، شماره ۹۱، ص. ۱۲۱-۱۳۲.
- شفیع نیک آبادی، م. و حکاکی، ا.، (۱۳۹۷)، "مدل پویای عوامل انسانی و وسیله نقلیه مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت در شهر تهران"، پژوهشنامه حمل و نقل، پذیرش شده برای چاپ.
- شیخ الاسلامی، ع. ا. و عزیزی، ل.، (۱۳۸۹)، "مدل سازی تعداد در تقاطعات چراغ دار"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران.
- عبدالهی، ر.، حق شناس، ح. و ریخته گران، ر.، (۱۳۹۸)، "مدل سازی همزمان تاثیر عوامل هندسی، توپوگرافی و دسترسی راه در تصادفات راه های برون شهری با عامل سازی و رگرسیون خطی تعمیم یافته"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۱، شماره ۱، ص. ۱-۲۰.
- قاسمی نوقایی، م. و آیتی، ا.، (۱۳۸۸)، "پیش بینی فراوانی تصادف های جرحی در تقاطع های چهارشاخه چراغ دار"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال ششم، شماره سوم، ص.
- معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری اصفهان، (۱۳۹۴)، "مطالعات جامع حمل و نقل اصفهان، شناسایی وضع موجود، بررسی مشکلات و راهکارهای کلان ایمنی تردد در شهر اصفهان"، ویرایش سوم.
- Federal Highway Administration, (2010), "Highway Safety Manual", American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Greibe, P., (2003), "Accident Prediction Models for Urban Road", Accident Analysis and Prevention, Vol.35, No.2, pp. 273-285.
- National Highway Traffic Safety Administration, (2003), "Traffic Safety Facts", U.S. Department of Transportation.
- Persaud, B. Lord, D. and Palmisano, J., (2002), "Calibration and Transferability of Accident Prediction Models for Urban Intersections", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol.1784, No.1, pp. 57-64.
- Pichering, D. Hall, R.D. and Grimmer, M., (1986), "Accident at Rural Tjunctions", Transport and Road Research Laboratory, Department of Transport, Crowthome, Berkshire. Research Report 65.
- Roshandeh, A.M. Agbelie, B.R.D.K. and Lee, Y., (2016), "Statistical modeling of total crash frequency at highway intersections", Journal Traffic and Transportation engineering, Vol.3, No.2, pp. 166-171.
- Salifu, M., (2004), "Accident Prediction Models for Unsignalised Urban Junction in Ghana", IATSS Research, Vol.28, No.12, pp. 68-81.
- Xu, X. Wong, S.C. and choi, K., (2014), "A two bivariate logistic-Tobit model for the safety analysis of signalized intersections", Analytic methods in Accident Research, Vol.3, No.4, pp.1-10.

جدول ۱. مدل رگرسیون پواسن برای پیش‌بینی تصادفات فوتی (خروجی نرم‌افزار)

نسبت نرخ رویداد (IRR)	فاکتور کاهش تصادفات	آزمون فرض			فاصله اطمینان ۹۰٪ والد		خطای استاندارد	ضرایب	پارامتر
		سطح معناداری	درجه آزادی	خی دو والد	حد بالا	حد پایین			
-	-	۰/۰۱۲	۱	۶۳۲۱	-۱/۳۷۴	-۶/۵۷۳	۱/۵۸۰۵	-۳/۹۷۴	عدد ثابت
۰/۴۵۴	۵۴/۶٪	۰/۲۷۷	۱	۱/۱۸۲	۰/۴۰۴	-۱/۹۷۹	۰/۷۲۴۴	-۰/۷۸۸	دوفازه بودن
۰/۲۷۷	۷۲/۲۴٪	۰/۰۶۳	۱	۳/۴۶۴	-۱/۴۹	-۲/۴۱۴	۰/۶۸۸۶	-۱/۲۸۲	سه فازه بودن
۱/۰۴۱	-۴/۱۸٪	۰/۹۵۲	۱	۰/۰۰۴	۱/۱۵۴	-۱/۰۷۲	۰/۶۷۶۷	۰/۰۴۱	چهارفازه بودن
-	-	.	.	.	.	.	.	0 <sup>۳</sup>	پنج فازه بودن
۰/۳۱۸	۶۸/۱۴٪	۰/۰۰۲	۱	۹/۲۶۹	-۰/۵۲۶	-۱/۷۶۱	۰/۳۷۵۶	-۱/۱۴۴	دوربین ( $\chi_{20}$ )
۱/۱۸	-۱۸/۰۵٪	۰/۰۱۱	۱	۶۳۹۷	۰/۲۷۴	۰/۰۵۸	۰/۰۶۵۷	۰/۱۶۶	عرض شاخه ( $\chi_2$ )
۱/۲۸۲	-۲۸/۲۷٪	۰/۰۱۶	۱	۵/۷۹۱	۰/۴۲۰	۰/۰۷۹	۰/۱۰۳۶	۰/۲۴۹	عرض خط گردش به چپ ( $\chi_8$ )
۱/۷۷	٪۷۷	۰/۰۶۷	۱	۳/۳۵۱	۱/۰۸۵	۰/۰۵۸	۰/۳۱۲۱	۰/۵۷۱	لگاریتم حجم عبوری مستقیم ( $\chi_{22}$ )

جدول ۲. معیارهای برازندگی مدل پواسن (خروجی نرم‌افزار)

Value/df	درجه آزادی	مقدار	پارامتر
۰/۶۲۱	۲۲۳	۱۳۸/۵۲۶	انحراف معیار
	۲۲۳	۱۳۸/۵۲۶	انحراف معیار مقیاس بندی شده
۱/۱۶۵	۲۲۳	۲۵۹/۶۹۶	کای دو پیرسون
	۲۲۳	۲۵۹/۶۹۶	کای دو پیرسون مقیاس بندی شده
		-۱۰۳/۰۹۶	لگاریتم درست نمایی
		۲۲۲/۱۹۲	معیار اطلاعات آکائیک (AIC)
		۲۲۲/۸۴۱	نمونه نهایی اصلاح شده (AIC) (AICC)
		۲۴۹/۷۳۲	معیار اطلاعات بیزی (BIC)
		۲۵۷/۷۳۲	ثابت AIC (CAIC)
		۳۳/۰۵۸	کای دو نسبت درست نمایی
	۹	۰/۰۰۰	سطح معناداری

جدول ۳. خروجی مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی برای پیش‌بینی تصادفات فوتی

نسبت نرخ رویداد (IRR)	فاکتور کاهش تصادفات	آزمون فرض			فاصله اطمینان ۹۰٪ والد		خطای استاندارد	ضرایب	پارامتر
		سطح معناداری	درجه آزادی	خی دو والد	حد بالا	حد پایین			
-	-	۰/۰۱۲	۱	۶/۲۶۶	-۱/۵۵۶	-۷/۵۲۰	۱/۸۱۳۰	-۴/۵۳۸	عددثابت
۰/۵۹۱	۴۰/۹	۰/۱۴۲	۱	۰/۳۷۱	۰/۸۹۶	-۱/۹۵۰	۰/۸۶۵۰	-۰/۵۲۷	دوفازه بودن
۰/۲۵۳	۷۴/۶۸	۰/۰۴۵	۱	۴/۰۰۹	-۲/۲۴۶	-۲/۵۰۶	۰/۶۸۷۱	-۱/۳۷۶	سه فازه بودن
۱/۱۵۹	-۱۵/۹۵	۰/۸۵۷	۱	۰/۰۳۳	۱/۵۰۲	-۱/۲۰۵	۰/۸۲۲۸	۰/۱۴۸	چهارفازه بودن
-	-	.	.	.	.	.	.	0 <sup>a</sup>	پنج فازه بودن
۰/۳۳۱	۶۶/۸۴	۰/۰۰۷	۱	۷/۲۷۸	-۰/۴۳۱	-۱/۷۷۷	۰/۴۰۹۲	-۱/۱۰۴	دوربین ( $\chi_{20}$ )
۱/۱۹۶	-۱۹/۶۰	۰/۰۱۹	۱	۵/۵۳۲	۰/۳۰۴	۰/۰۵۴	۰/۰۷۶۱	۰/۱۷۹	عرض شاخه ( $\chi_2$ )
۱/۲۸۷	-۲۸/۷۸	۰/۰۴۱	۱	۴/۱۶۹	۰/۴۵۷	۰/۰۴۹	۰/۱۲۴۰	۰/۲۵۳	عرض خط گردش به چپ ( $\chi_8$ )
۱/۸۷۷	۸۷/۷۶	۰/۰۷۲	۱	۳/۲۴۶	۱/۲۰۶	۰/۰۵۸	۰/۳۴۹۹	۰/۶۳۰	لگاریتم حجم عبوری مستقیم ( $\chi_{22}$ )

جدول ۴. معیارهای برازندگی مدل دوجمله‌ای منفی (خروجی نرم‌افزار)

Value/df	درجه آزادی	مقدار	پارامتر
۰/۹۲	۲۲۳	۲۰۵/۱۶	انحراف معیار
	۲۲۳	۲۰۵/۱۶	انحراف معیار مقیاس بندی شده
۰/۹۶۶	۲۲۳	۲۱۵/۳۹۱	کای دو پیرسون
	۲۲۳	۲۱۵/۳۹۱	کای دو پیرسون مقیاس بندی شده
		-۱۰۱/۴۹۵	لگاریتم درست نمایی
		۲۱۸/۹۸۹	معیار اطلاعات آکانیک (AIC)
		۲۱۹/۶۳۸	نمونه نهایی اصلاح شده AIC (AICC)
		۲۴۶/۵۲۹	معیار اطلاعات بیزی (BIC)
		۲۵۴/۵۲۹	ثابت AIC (CAIC)
		۲۷/۶۵۷	کای دو نسبت درست نمایی
	۹	۰/۰۰۰	سطح معناداری

جدول ۵. مدل رگرسیون خطی برای پیش‌بینی تصادفات فوتی (خروجی نرم‌افزار)

سطح اطمینان ۹۰٪		سطح اطمینان	مقدار t	خطای استاندارد	ضرایب	پارامتر
کران بالا	کران پایین					
-۰/۰۶۴	-۰/۲۸۰	۰/۰۰۹	-۲/۶۴۰	۰/۰۶۵	-۰/۱۷۲	$\chi_{20}$
۰/۰۳۳	۰/۰۰۳	۰/۰۴۵	۲/۰۱۷	۰/۰۰۹	۰/۰۱۸	$\chi_2$
۰/۰۸۸	۰/۰۱۵	۰/۰۲۰	۲/۳۴۷	۰/۰۲۲	۰/۰۵۲	$\chi_8$
۰/۰۷۱	۰/۰۰۱	۰/۰۸۸	۱/۷۱۴	۰/۰۲۱	۰/۰۳۶	لگاریتم حجم کل عبوری مستقیم $\chi_{22}$

جدول ۶. شاخص برازش مدل رگرسیون خطی برای پیش‌بینی تصادفات فوتی (خروجی نرم‌افزار)

مربع R	سطح معناداری	F مقدار	میانگین مربع	درجه آزادی	نوع سوم مجموع مربعات	منبع
۰/۲۷	۰/۰۰۰	۱۱/۸۲۰	۲/۸۰۱	۴	۱۱/۲۰۴	مدل اصلاح شده
	۰/۰۰۹	۶/۹۷۱	۱/۶۵۲	۱	۱/۶۵۲	$\chi_{20}$
	۰/۰۴۵	۴/۰۶۸	۰/۹۶۴	۱	۰/۹۶۴	$\chi_2$
	۰/۰۲۰	۵/۵۰۹	۱/۳۰۶	۱	۱/۳۰۶	$\chi_8$
	۰/۰۸۸	۲/۹۳۸	۰/۶۹۶	۱	۰/۶۹۶	لگاریتم حجم کل عبوری مستقیم $\chi_{22}$
			۰/۲۳۷	۲۲۷	۵۳/۷۹۶	خطا
				۲۳۱	۶۵/۰۰۰	مجموع

جدول ۷. اسامی تقاطعات تقاطع‌های چهار شاخه چراغ‌دار بررسی شده در این تحقیق

۱	شمال پل فلزی	۱۸	هشت بهشت / نشاط	۳۴	حمزه اصفهانی / بیست و دو بهمن	۵۰	رسالت / آزادی
۲	چهارراه وفایی	۱۹	چهارراه شکرشکن	۳۵	هشت بهشت / بزرگمهر	۵۱	سجاد / قائم مقام فراهانی
۳	شمس آبادی / شیخ بهایی	۲۰	شیخ صدوق / سعادت‌آباد	۳۶	چهارراه نورباران	۵۲	چهار راه آپادانا
۴	شمال پل ابوذر	۲۱	فراپورگ / سعادت‌آباد	۳۷	لاهور / بلال	۵۳	بهشت / آتشگاه
۵	طالقانی / شمس آبادی	۲۲	آبشار / سجاد	۳۸	توحید / شریعی	۵۴	جی / پروین
۶	چهارراه تختی	۲۳	جنوب پل فردوسی	۳۹	شریعی / حکیم نظامی	۵۵	فرسان / عسگریه
۷	آیت الله زاهد / میرداماد	۲۴	جابر انصاری / کاوه	۴۰	وحید / رودکی	۵۶	پروین / آل خجند
۸	شهیدان / مدرس نجفی	۲۵	اشراق / ابوریحان	۴۱	توحید / نظر	۵۷	پروین / دشتستان
۹	صمدیه / خرم	۲۶	اشراق / فلاطوری	۴۲	حکیم نظامی / نظر	۵۸	پروین / ۲۴ متری
۱۰	صمدیه / آیت الله مدرس نجفی	۲۷	گلستان / هسا	۴۳	جنوب پل فلزی	۵۹	فجر / معراج
۱۱	خ امام خمینی / شریف	۲۸	نیرو هوایی / خانه اصفهان	۴۴	جنوب پل آذر	۶۰	چهارراه عسگریه
۱۲	خ امام خمینی / خانه اصفهان	۲۹	رباط / باهنر	۴۵	وحید / باغ دریاچه	۶۱	بعثت / فلاطوری
۱۳	امام خمینی امام رضا	۳۰	گلخانه / بنفشه	۴۶	قائم / شاهد	۶۲	جی / شهرک اریسون
۱۴	شمال پل فردوسی	۳۱	خادمی / باهنر	۴۷	شریعی / چهارباغ بالا	۶۳	قائم / غدیر
۱۵	ابن سینا / کمال	۳۲	چهار راه نقاشی	۴۸	سه راه سیمین	۶۴	ادیب / سرچشمه غربی
۱۶	ولی عصر / صغیر	۳۳	کاشانی / شیخ بهایی	۴۹	شیخ مفید / فیض	۶۵	رباط / رزمندگان
۱۷	ملک / هشت بهشت						

جدول ۸. اطلاعات توصیفی متغیرهای مستقل

انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	علامت اختصاری	نام متغیر
۰/۸۲۰	۲/۳	۵	۰	$\chi_1$	تعداد خطوط عبوری در شاخه تقاطع
۲/۸۷	۷/۸	۲۴	۰	$\chi_2$	عرض شاخه (برحسب متر)
۰/۲۶۷	۰/۰۸	۱	۰	$\chi_3$	جهت مسیر حرکت در شاخه تقاطع (اگر شاخه تقاطع یک طرفه باشد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰)
۰/۳۸۶	۰/۱۸	۱	۰	$\chi_4$	فاصله ایستگاه اتوبوس تا شاخه تقاطع (اگر فاصله ایستگاه اتوبوس تا تقاطع ۶۰ متر باشد مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰)
۰/۱۷۳	۰/۰۳	۱	۰	$\chi_5$	وجود اتوبوس در مسیر یک طرفه (اگر اتوبوس در مسیر یک طرفه باشد مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰)
۰/۴۷۳	۰/۳۳	۱	۰	$\chi_6$	فاز گردش به چپ محافظت شده (اگر شاخه دارای فاز گردش به چپ محافظت شده باشد مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰)
۰/۳۷۲	۰/۱۷	۱	۰	$\chi_7$	خط گردش به چپ ویژه (اگر شاخه دارای خط گردش به چپ ویژه باشد مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰)
۱/۳۸	۰/۶۰۵	۷	۰	$\chi_8$	عرض خط گردش به چپ ویژه (برحسب متر)
۱۹/۸	۸/۵۵	۸۰	۰	$\chi_9$	طول خط گردش به چپ (برحسب متر)
۰/۴۱۱	۰/۱۹	۲	۰	$\chi_{10}$	تعداد خط گردش به چپ
۰/۳۹۲	۰/۸۱	۱	۰	$\chi_{11}$	خط گردش به راست ویژه (اگر شاخه دارای خط گردش به راست ویژه باشد مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰)

ادامه جدول ۸. اطلاعات توصیفی متغیرهای مستقل

انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	علامت اختصاری	نام متغیر
۲۰/۳۷۵	۴۱/۲۵	۹۰	۰	$\chi_{12}$	طول خط گردش به راست ویژه (برحسب متر)
۰/۵۶۴	۰/۹۲	۳	۰	$\chi_{13}$	تعداد خطوط گردش به راست ویژه
۲/۳۳	۴/۴۸	۹/۵	۰	$\chi_{14}$	عرض خطوط گردش به راست ویژه (برحسب متر)
۰/۳۶۱	۰/۸۵	۱	۰	$\chi_{15}$	وجود میانه در شاخه تقاطع (اگر در شاخه تقاطع میانه وجود داشته باشد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰)
۴/۱۶	۳/۱۲	۳۰	۰	$\chi_{16}$	عرض میانه شاخه تقاطع (برحسب متر)
۰/۷۶۴	۲/۸۲	۵	۲	$\chi_{17}$	تعداد فازها به ازای هر سیکل
۳۰/۰۸۱	۸۸/۸۵	۱۶۵	۳۰	$\chi_{18}$	زمان بندی سیکل (ثانیه)
۰/۲۶۷	۰/۹۲	۱	۰	$\chi_{19}$	نوع سیستم کنترل تقاطع (اگر شاخه دارای چراغ راهنمایی هوشمند باشد مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰)
۰/۴۷۹	۰/۶۵	۱	۰	$\chi_{20}$	دوربین نظارتی در تقاطع (اگر دوربین در تقاطع وجود داشته باشد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰)
۰/۴۸۷	۰/۶۲	۱	۰	$\chi_{21}$	زاویه بین شاخه‌های فرعی با امتداد اصلی تقاطع (اگر زاویه نود درجه باشد مقدار ۱ در صورت منفرجه بودن مقدار ۰)
۰/۹۶	۳/۴۶	۴/۵۶	۰	$\chi_{22}$	حجم ترافیک روزانه عبوری مستقیم (برحسب لگاریتم طبیعی)
۱/۰۵۹	۲/۷	۴/۳۶	۰	$\chi_{23}$	حجم روزانه ترافیک عبوری راست گرد (برحسب لگاریتم طبیعی)
۱/۰۶	۲/۷	۴/۳۷	۰	$\chi_{24}$	حجم ترافیک روزانه عبوری چپ گرد (برحسب لگاریتم طبیعی)
۰/۷۹	۳/۸	۴/۶۴	۰	$\chi_{25}$	حجم روزانه کل عبوری شاخه تقاطع (برحسب لگاریتم طبیعی)

# **Modeling the Prediction of Fatal Crashes at the Signalized Intersection (Case Study: Isfahan)**

*Mohsen Aboutalebi Esfahani, Assistant Professor, Faculty of Civil and Transportation,  
University of Isfahan, Isfahan, Iran.*

*Amir Masuod Rahimi, Associate Professor, Civil Engineering Department,  
Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.*

*Soheila Saeidi, M.Sc., Grad., Faculty of Civil and Transportation, University of  
Isfahan, Isfahan, Iran.*

*E-mail: m.aboutalebi.e@eng.ui.ac.ir*

Received: September 2019-Accepted: February 2020

## **ABSTRACT**

Intersections are a factor in determining the capacity of the transportation network, and any disruptions such as accidents in them will result in a severe capacity reduction. Accident crashes at intersections are significant due to the convergence of traffic flows. The purpose of this study is to investigate the factors affecting fatal accidents. For this purpose, geometric, traffic, fatality and control status data of 65 intersections of Isfahan city were extracted and analyzed in SPSS22 software. This analysis was carried out using Poisson linear logarithmic modeling, negative binomial linear logarithmic and linear regression. The results showed the superiority of the negative binomial model to the other two models, and it was found that 5 variables including the number of phases at the intersection, the presence of the camera, the width of the line, the width of the left-turning lane and the straight transit volume, are among the variables that affect safety.

**Keywords:** Fatal accidents, Signalized intersections, Statistical analysis, Poisson model, Negative binomial model