

## مدلسازی پیش بینی فراوانی تصادفات در معابر شریانی شهری (مطالعه موردی؛ شهر تهران)

محمدرضا نقدی زاده<sup>۱</sup>، مرتضی چایچی مطلق<sup>۲</sup>، حمید یزدان پناه<sup>۳</sup>، مهدی عابدینی<sup>۴</sup>

- ۱- کارشناس ارشد مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه علم و صنعت ایران
- ۲- کارشناس ارشد مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران
- ۳- کارشناس ارشد مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب
- ۴- کارشناس ارشد مهندسی راه و ترابری، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران

### چکیده

در این مقاله تصادفات شریانی شهر تهران در دو سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. به این منظور در ابتدا عوامل موثر بر تصادفات معابر شریانی شناسایی شده و سپس با استفاده از بررسی همبستگی این عوامل در وقوع تصادف، متغیرهای مناسب برای ساخت مدل تصادفات شریانی، با کمک از این عوامل ساخته شده است. در ادامه با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیر خطی شمارشی مدلی مناسب برای پیش‌بینی تصادفات شریانی شهر تهران محاسبه شده است. در این تحقیق از مدل‌های رگرسیونی پواسون و مدل رگرسیونی پواسون پرفر و مدل رگرسیونی دوجمله ای منفی و همچنین مدل رگرسیونی دوجمله‌ای منفی پرفر استفاده شده است. در نهایت ۴ مدل ساخته شده با یکدیگر مقایسه شده اند

**کلید واژه:** پیش‌بینی تصادفات، مدل پواسون پرفر، مدل دوجمله‌ای منفی پرفر

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد مرکز تحقیقات فنی و اقتصادی ایمنی جاده ای دانشگاه فردوسی مشهد، ۰۹۱۲۴۰۴۹۸۳۶،  
naghdizadeh@civileng.iust.ac.ir

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد مرکز تحقیقات فنی و اقتصادی ایمنی جاده ای دانشگاه فردوسی مشهد، ۰۹۳۶۴۵۷۱۹۵۷،  
m.chaichi.motlagh@gmail.com



## ۱- مقدمه

اساساً مدل، یک نمادی از واقعیت است. مدل‌ها از آن نظر حایز اهمیت هستند که در شرایطی که امکان تجربه به دلایل اقتصادی، سیاسی و فنی وجود ندارد، درک چگونگی رفتار سیستم را میسر می‌سازند. مدل‌سازی رابطه بین عوامل موثر در تصادفات نیاز به یک چارچوب آماری دارد که طبیعت پراکنده واقعه تصادف را شامل شده و در عین حال توصیف کننده تاثیر عوامل مربوطه باشد. علاوه بر این، برای به دست آوردن نتایج واقعی و قابل اطمینان از مدل، تحلیل‌گر به اطلاعات مناسب تصادفات، ترافیک، طرح هندسی، شرایط رویه راه و محیط، از دو نقطه نظر کیفی و کمی نیاز دارد. شناخت بهتر عوامل مربوط به تعداد و شدت تصادفات و توسعه این گونه مدل‌ها برای بررسی تاثیر عوامل مورد نظر بر روی تصادفات، مهندسين را قادر می‌سازد تا اقدامات لازم را جهت شناسایی و کاهش تعداد تصادفات یا کاهش احتمال وقوع آنها اعمال نمایند [۱] و [۲].

در این مقاله با توجه به اطلاعات در دسترس از مدل‌های بیان کننده تعداد تصادفات، صرف نظر از شدت آن استفاده شده است. در این مدل‌ها رابطه‌ای بین تعداد تصادف در یک بخش از معبر با خصوصیات آن برقرار می‌شود. از این مدل‌ها علاوه بر تعیین احتمال تعداد وقوع تصادفات می‌توان برای محاسبه تغییرات در نرخ تصادفات در اثر تغییر خصوصیات قطعه و در نتیجه آگاهی از اقدامات لازم در جهت کاهش نرخ تصادفات نیز استفاده کرد [۳].

## ۲- مروری بر ادبیات موضوع

ش. افندیزاده، ف. رضایی مقدم (۱۳۸۶) [۴] مدل‌سازی نرخ تصادفات برای انواع بزرگراه‌های درون‌شهری (مطالعه موردی شهر تهران) را مدنظر قرار داده‌اند. در این مقاله به بررسی مدلی که بتواند رابطه پارامترهای جریان ترافیک، سرعت و مشخصات طرح هندسی راه را با تصادفات به صورت ریاضی بیان کند، پرداخته شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بزرگتر شدن انحراف معیار سرعت احتمال بروز تصادفات را افزایش می‌دهد. ل. عزیزی، ع. شیخ الاسلامی (۱۳۸۹) [۵] بیان کرده‌اند که متغیر انحراف معیار سرعت در مدل‌های توسعه یافته در نظر گرفته نشده و مشخصات هندسی از قبیل تعداد خطوط عبوری، عرض خطوط کمتر از ۳/۴ متر، عرض شانه راه و شیب‌های بزرگتر از ۴ درصد با نرخ تصادفات رابطه دارند. در نتیجه این تحقیق، بهترین مدل متناسب با داده‌ها، مدل چندجمله‌ای چندمتغیره است که شامل پارامترهای مستقل سرعت متوسط، انحراف معیار سرعت و حجم ترافیک در هر خط عبوری است. تغییرات در نرخ تصادفات، نتیجه‌ی تأثیر توأم این متغیرهاست.

ح. راضی اردکانی، ا. صمیمی (۱۳۹۱) [۶] بررسی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات درون‌شهری با استفاده



از مدل‌های پروبیت، لوجیت و شبکه عصبی مصنوعی است که به بررسی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات جلوه‌جلوی درون‌شهری با به کارگیری مدل‌های پروبیت، لوجیت و شبکه عصبی مصنوعی می‌پردازد. در این پژوهش نتیجه گرفته شده است که سه مدل پروبیت، لوجیت، و شبکه عصبی مصنوعی دقت پیش‌بینی کلی تقریباً مشابهی دارند، ولی اگر دقت پیش‌بینی مدل‌ها بر مبنای دقت دسته‌بندی ارزیابی شود، در این صورت، ضعیف‌ترین مدل پروبیت و قوی‌ترین مدل شبکه عصبی مصنوعی خواهند بود.

آیتی و اعباسی (۱۳۹۰) [۷] مدل دوجمله‌ای منفی پرصفر را بهترین مدل برای پیش‌بینی تصادفات بزرگراه‌های شهری با زبان مالی و تصادفات با زبان جانی معرفی کرده است. ایشان در این مدل از متغیرهایی نظیر حجم خودروی عبوری به تفکیک خودروی سواری، خودروی سبک و خودروی سنگین، سرعت، شمار خطوط، شمار قوس‌ها و شمار دسترسی بهره برده است. راهنمای ایمنی معابر (۲۰۱۰) [۸] کاملترین مدل را برای پیش‌بینی فراوانی تصادفات قطعات راه ارائه کرده است. این راهنما، متغیرهایی نظیر تعداد تصادفات هر قطعه راه در طول یکسال، تعداد دسترسی، پارک حاشیه‌ای، اشیا ثابت کنار معبر، عرض میانه، سیستم روشنایی، کنترل خودکار سرعت، عرض معبر، متوسط حجم روزانه ترافیک، دو طرفه یا یک طرفه بودن و طول قطعه راه برای ساخت مدل پیش‌بینی فراوانی تصادفات پیشنهاد کرده است.

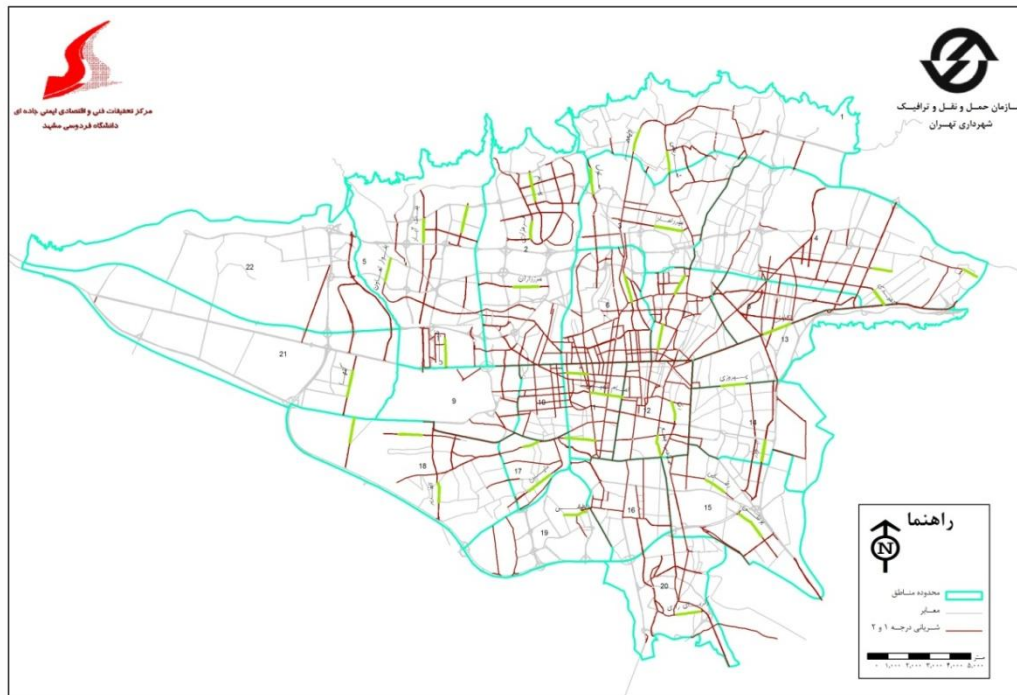
### ۳-گرد آوری و آماده‌سازی اطلاعات

آن چه به‌عنوان داده‌های اساسی در طراحی مدل مورد نظر استفاده شده است، بانک اطلاعاتی تصادفات شهر تهران است که برای دو سال متوالی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ اطلاعات تمامی کروکی‌ها و گزارش‌های مربوط به آن‌ها توسط کارشناسان و افسران پلیس راهنمایی و رانندگی تهران بزرگ تکمیل و ارایه شده‌اند. این بانک اطلاعاتی در قالب نرم افزار Excel ارایه شده است. برای استفاده از این اطلاعات در قالب مدل‌سازی ابتدا تعداد تصادفات در هر قطعه شریانی شمارش شده و اطلاعات تجمیع‌شده برای هر قطعه راه شریانی در نرم‌افزار STATA وارد گردیده است. در سطح شهر تهران ۶۷/۶۱۴ کیلومتر خیابان با رده عملکردی شریانی درجه ۱ و شریانی درجه ۲ وجود دارد<sup>۵</sup>. برای انتخاب یک نمونه مناسب از این جامعه با سطح اطمینان ۹۵٪، ۷۱ کیلومتر از معابر شریانی با استفاده از روش

<sup>۵</sup> بر اساس اطلاعات درفات شده از شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران



نمونه گیری متعادل و روش نمونه گیری موزاییک بندی طبقه ای - تصادفی تعمیم یافته<sup>۶</sup> انتخاب گردیده است. شکل شماره (۱) محل قرار گیری و پراکندگی آن در سطح شهر تهران را نشان می دهد.



شکل (۱) قطعات شریانی انتخاب شده به عنوان نمونه

با بررسی و تجزیه و تحلیل عوامل موثر در تعداد تصادفات، می توان متغیرهای لازم برای ساخت مدل تصادفات را مورد بررسی قرار داد. برای اینکار ابتدا چند متغیر از ویژگی های هندسی، محیطی و دینامیکی (حجم و غیره) برای قطعه راه های شریانی محاسبه شده است. در جدول (۱) عناوین، شرح متغیرها، میانگین عددی مقادیر متغیر و همچنین انحراف معیار نمایش داده شده است.

جدول (۱) متغیرهای مورد استفاده در مدل سازی پیش بینی تصادفات در شریانی های شهر تهران

نام متغیر	شرح متغیر	میانگین	انحراف معیار
RL	نسبت تعداد خطوط رویکرد رفت به خطوط رویکرد برگشت	۰/۷۶	۰/۴۲
NUT	تعداد دورگردان ها در هر کیلومتر از شریانی	۰/۳۶	۰/۹۴۶
NI3/km	تعداد سه راهی ها در هر کیلومتر از شریانی	۸/۶۳	۷/۱۸
NI4/km	تعداد چهارراهی ها در هر کیلومتر از شریانی	۲/۳۴	۲/۷۰

<sup>6</sup> GRTS, Generalized Random Tessellation Stratified



نام متغیر	شرح متغیر	میانگین	انحراف معیار
ME	وجود (یک) و یا عدم وجود (صفر) میانه در شریانی	۰/۷۱	۰/۴۵۵
NCL/km	تعداد خط عابر پیاده در هر کیلومتر از شریانی	۷/۰	۷/۱۹
PB	تعداد پل عابر در هر کیلومتر از شریانی	۰/۵۴۵	۰/۹۹۲
SP	وجود (یک) و یا عدم وجود (صفر) پارک حاشیه‌ای	۰/۸۰	۰/۴۰۳
CWL	وجود (یک) و یا عدم وجود (صفر) تغییر عرض	۰/۱۷	۰/۳۸
NBS/km	تعداد ایستگاه‌های اتوبوس در هر کیلومتر از شریانی	۱/۰۵	۰/۲۲۹
Ln V	لگاریتم متوسط سالیانه ترافیک روزانه در شریانی	۷/۵۹	۱/۲۴
VR	نسبت حجم رویکرد رفت به حجم رویکرد برگشت شریانی	۵/۲	۱۰/۳۹
NL	تعداد خطوط رفت و برگشت شریانی	۵/۱۴	۱/۲۳

برای سنجش میزان اثرگذاری هر کدام از متغیرها بر تعداد تصادفات از ضریب همبستگی پیرسن استفاده شده است. در جدول (۲) ضریب همبستگی تمامی متغیرهای استفاده شده در مدل شریانی مشاهده می‌شود. همانگونه که از ستون متغیر تصادفات مشخص است، متغیر تعداد تصادفات با متغیرهای تعداد خط عابر پیاده و تعداد ایستگاه اتوبوس و لگاریتم حجم عبوری و مجموع خط عبوری همبستگی بالاتر از ۰/۲ دارد که نشان از اثرگذاری قابل توجه این متغیرها بر مقدار تصادفات می‌باشد.

جدول (۲) همبستگی متغیرها با تعداد تصادفات

متغیرها	RL	NUT	NI3/km	NI4/km	ME	NCL/km	PB	SP	CWL	NBS/km	Ln V	VR	NL
RL	1												
NUT	0.2183	1											
NI3/km	-0.003	0.012	1										
NI4/km	-0.1467	-0.1195	0.3833	1									
ME	0.6982	0.2426	-0.0785	-0.2025	1								
NCL/km	-0.1351	0.0604	0.6637	0.5469	0.0969	1							
PB	0.1513	-0.0882	0.0363	-0.2503	0.1985	-0.156	1						
SP	-0.1138	0.1918	-0.151	0.1084	-0.3162	-0.276	-0.0221	1					
CWL	0.0777	-0.1152	-0.1991	-0.1316	-0.0479	-0.312	-0.1819	0.0379	1				
NBS/km	0.0944	-0.1691	-0.0259	-0.2825	0.1101	-0.011	-0.1361	-0.0016	0.1206	1			
Ln V	-0.123	-0.2647	0.3033	0.2537	0.0401	0.483	0.2652	-0.2592	-0.249	-0.1112	1		
VR	-0.3709	-0.1128	-0.1073	0.1495	-0.2655	-0.025	-0.0367	0.1162	-0.071	0.0631	0.0533	1	
NL	0.6811	0.2253	0.0398	-0.0899	0.6949	-0.058	0.3537	-0.1753	0.0709	0.1554	-0.0037	-0.237	1

#### ۴- مدل‌های آماری

روش‌های گوناگونی در طی سال‌های اخیر جهت تحلیل داده‌های فراوانی تصادفات به کار گرفته شده است. در این پژوهش تعداد تصادفات شریانی شهر تهران به وسیله چهار مدل رگرسیون پواسون،



دوجمله‌ای منفی، پواسون پرفر<sup>۷</sup> و دوجمله‌ای منفی پرفر<sup>۸</sup> مدل سازی شده است.

#### ۴-۱- مدل رگرسیون پواسون

هنگامی که فراوانی تصادفات گزارش شده برای فرآیند مدل سازی کم باشد و به اصطلاح داده‌های مشاهده شده دارای فراوانی صفر در خود باشند، مدل‌های لگاریتم طبیعی توانایی پیش‌بینی مناسب فراوانی تصادفات را ندارند. دلیل اصلی این امر فرض نرمال بودن توزیع داده‌هاست. در این شرایط مدل رگرسیون پواسون<sup>۹</sup> می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این مدل به خوبی می‌تواند وقوع پیشامدهای گسسته و کمیاب را بیان کند. رابطه بین فراوانی تصادفات مورد انتظار در قطعه  $i$  و  $q$  پارامترهای مسیر یعنی  $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iq}$  که در این مدل به شکل زیر است:

که در آن  $P$  برابر با احتمال اینکه مشاهده  $i$  دارای  $y$  تصادف باشد. همچنین  $\mu$  برابر با تعداد تصادفات مورد انتظار در مشاهده  $i$  است ( $E(y)$ ). در این مدل پارامتر  $X$  به عنوان یک متغیر توضیحی معرفی می‌شود. معمول‌ترین رابطه برای بیان رابطه  $\mu$  و متغیرهای توصیفی به صورت زیر است:

$$\ln(\mu_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^q \beta_j x_{ij} \quad (1)$$

در عین حال، در این مدل فرض می‌شود که فراوانی تصادفات در مدل، از توزیع پواسون با میانگین  $\mu_i$  پیروی می‌کند. در این حال احتمال این که یک قطعه با مجموعه‌ای از ویژگی‌های معین  $(y_i, x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iq})$  تصادف را تجربه کند، به صورت زیر بیان می‌شود:

$$P(Y_i = y_i | \mu_i) = \mu_i^{y_i} e^{-\mu_i} / y_i! \quad (2)$$

بررسی مدل ریاضی توزیع پواسون نشان می‌دهد که این مدل تنها یک پارامتر دارد که همان میانگین  $\mu_i$  است. دیگر ویژگی این مدل برابری میانگین و واریانس داده‌ها است که هر دو آن‌ها مقدار  $\mu_i$  را اختیار می‌کنند.

این ویژگی یکی از محدودیت‌های مدل پواسون است، زیرا که لزوماً میانگین و واریانس تصادفات مشاهده شده با یکدیگر برابر نیستند. به عبارت دیگر در بسیاری از داده‌های تصادفات گزارش شده واریانس فراوانی تصادفات از میانگین تصادفات بیشتر است که این مسئله را به اصطلاح بیش‌پراکنش<sup>۱۰</sup> می‌نامند. برای برآورد ضرایب متغیرها در مدل رگرسیون پواسون از تخمین‌گرهای درست‌نمایی بیشینه، شبه درست‌نمایی یا روش کمترین مربعات تعمیم یافته استفاده می‌شود.

<sup>7</sup> Zero-Inflated Poisson

<sup>8</sup> Zero-Inflated Negative Binomial

<sup>9</sup> Poisson Models

<sup>10</sup> Over dispersion



#### ۴-۲- مدل رگرسیون دو جمله‌ای منفی

مدل پواسون با توجه به تمام ویژگی‌های مثبتی که در مقایسه با مدل‌های پیشین خود دارد، ولیکن در آن میانگین و واریانس متغیر وابسته (در اینجا فراوانی تصادفات) باید با یکدیگر برابر باشد. در هنگامی که میانگین متغیر وابسته با واریانس مشاهده شده با یکدیگر برابر نباشند از توزیع دو جمله‌ای منفی استفاده می‌شود. توزیع دو جمله‌ای منفی، توزیع گسسته‌ای است که مدل دیگری برای داده‌های با پراکندگی زیاد نظیر داده‌های تصادفات را فراهم می‌کند. برخلاف توزیع پواسون، توزیع دو جمله‌ای منفی دو پارامتر دارد. همانگونه که برای مدل پواسون در بالا ذکر شد، رابطه بین فراوانی پارامترهای مسیر مربوطه باز هم به صورت زیر است:

$$Function(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_q x_{iq} \quad (3)$$

در عین حال، در اینجا فرض بر این است که فراوانی تصادفات  $y_i$  از توزیع دو جمله‌ای منفی با پارامترهای  $\alpha, k$  پیروی می‌کند. احتمال این که قطعه تعریف شده با مجموعه معینی از متغیرهای پیش‌بینی کننده تصادف را تجربه کنند، می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$Pr(Y_i = y_i, \alpha, k) = \frac{(y_i + k - 1)!}{y_i! (k - 1)!} \times \frac{\alpha^{y_i}}{(1 + \alpha)^{y_i + k}} \quad (4)$$

میانگین و واریانس توزیع دو جمله‌ای منفی بر اساس پارامترهای  $\alpha, k$  به صورت رابطه (۵) و رابطه (۶) بیان می‌شود:

$$E(Y) = \mu_i = k\alpha \quad (5)$$

$$Var(Y) = k\alpha + k\alpha^2 = \mu_i + \frac{\mu_i^2}{k} \quad (6)$$

در رابطه میانگین جزء  $\mu_i$  به تابع واریانس پواسون برمی‌گردد و  $\frac{\mu_i^2}{k}$  جزء اضافی برآمده از ترکیب توزیع پواسون با توزیع گاما است که توزیع دو جمله‌ای منفی را ایجاد می‌کند. در این وضعیت اگر توزیع تصادفات از توزیع گاما پیروی نکند، روابط پیش‌بینی شده توسط مدل دو جمله‌ای منفی ممکن است اشتباه باشد.

#### ۴-۳- مدل‌های پرفر

این مدل‌ها در مواردی که داده‌ها دارای صفرهایی بیش از حالت معمول باشد قابل استفاده است. این ویژگی سبب شده است این مدل‌ها در آنالیز داده‌های تصادفات ترافیکی مورد استفاده پژوهشگران قرار گیرد. به طور مثال این مدل‌ها در پیش‌بینی وقوع تصادفات در قطعه‌های راه مورد استفاده قرار



می گیرند. در واقع احتمال بروز تصادف در این قطعه‌ها صفر یا نزدیک به صفر است. برای به نمایش دادن مدل‌های پرفر و در نظر گرفتن اثر این مشاهدات صفر، دو مدل پرفر پواسون و مدل پرفر دوجمله‌ای منفی توسعه یافتند که در ادامه معرفی می‌گردند. یکی از نقاط ضعف داده‌های تصادفات فزونی داده‌های صفر است. در این حالت داده‌های تصادفات را می‌توان به دو نوع دسته‌بندی تقسیم نمود. در دسته اول حالت داده تصادف واقعاً صفر یا حالت ذاتاً ایمن است هر چند برخی آن را حالت ایمن مجازی نیز تعریف کرده‌اند. و دسته دوم حالت داده غیرصفر است. در این حالت ممکن است در برخی دوره‌های زمانی، داده‌های صفر هم گزارش شوند. این حالت دارای یک توزیع آماری پواسن یا دوجمله‌ای منفی است. در مدل‌های پرفر احتمال وجود داده با مقدار صفر، برابر با احتمال  $w$  و داده‌های غیر صفر برابر با احتمال  $1-w$  است. در این حال احتمال وقوع تصادف در قطعه  $i$  برابر است با:

$$P(y_i) = \begin{cases} \omega_i + (1 - \omega_i) \exp(-\lambda_i), & y_i = 0 \\ (1 - \omega_i) \frac{\exp(-\lambda_i) \lambda_i^{y_i}}{y_i!}, & y_i > 0 \end{cases} \quad (7)$$

در صورتی که داده‌های مورد استفاده دارای پراکندگی باشند، آن‌گاه به جای استفاده از مدل پواسون پرفر از مدل دوجمله‌ای منفی پرفر استفاده می‌شود که شکل ریاضی تابع چگالی احتمال آن به صورت زیر است:

$$P(y_i) = \begin{cases} \omega_i + (1 - \omega_i)(1 + \alpha \lambda_i)^{\frac{1}{\alpha}}, & y_i = 0 \\ (1 - \omega_i) \frac{\Gamma(y_i + \frac{1}{\alpha})}{y_i! \Gamma(\frac{1}{\alpha})} (1 + \alpha \lambda_i)^{\frac{1}{\alpha}(1 + \frac{1}{\lambda_i \alpha})^{-y_i}}, & y_i > 0 \end{cases} \quad (8)$$

که در آن  $\alpha$  ضریب پراکنش است که در بخش‌های قبل توضیح داده شده است.

#### ۴- مطالعه موردی شهر تهران

حال با توجه به مدل‌های معرفی شده در بالا ۴ مدل با حضور تمامی متغیرها در مدل، ساخته شده است. سپس به روش پسرو<sup>۱۱</sup> از متغیرهای مدل کم شده تا معنی‌داری متغیرها بهبود پیدا کند. در جدول (۳) و (۴) مدل‌های ساخته شده بر اساس ۴ روش معرفی شده برای ۵ دسته از متغیرها نمایش داده شده است. جدول (۳) برآورد پارمترهای مدل پواسون و مدل پواسون پرفر را نشان می‌دهد. در انتهای جدول (۳) نیز معیار آزمون نیکوی برازش کای-دو گزارش شده است.

<sup>11</sup> backward





جدول (۳) مدل های پواسون و پرفسور پواسون پیش بینی تصادفات در شریانی های شهر تهران

مدل شماره ۵	مدل شماره ۴		مدل شماره ۳		مدل شماره ۲		مدل شماره ۱		متغیر	نوع متغیر
	پرفسور پواسن	پواسن	پرفسور پواسن	پواسن	پرفسور پواسن	پواسن	پرفسور پواسن	پواسن		
-۰.۰۹۴۲۲۰۴	-۰.۱۲۳۷۹۱۲	-۰.۲۸۱۲۹۸۷	-۰.۳۲۵۳۶۱۷	-۰.۲۲۰۲۴۳۸	-۰.۲۴۵۷۲۶۹	-۰.۲۳۵۹۵۱۵	-۰.۲۵۳۳	۰.۱۴۷۷۶	۰.۱۸۵۴	RL
-	-	-	-	-	-	-	-	-۰.۱۲۴۳۶۸۵	۰.۱۴۰۶	NUT
۰.۰۳۹۸۸۳۹	۰.۰۴۱۸۰۹۱	۰.۰۴۸۷۶۰۳	۰.۰۵۱۲۹۶۲	۰.۰۵۰۲۳۲۹	۰.۰۵۳۳۲۳۵	۰.۰۵۱۴۴۶۶	۰.۰۵۴۷	۰.۰۵۰۴۳۵۵	۰.۰۵۳۶	NI3/km
-	-	-	-	-	-	-	-	-۰.۰۲۸۸۵۷۵	-۰.۲۰۱۲	NI4/km
-	-	۰.۳۵۵۹۴۸۶	۰.۳۸۲۷۱۰۶	۰.۴۳۳۲۱۹۳	۰.۴۸۳۷۷۷۲	۰.۴۷۲۴۸۴۶	۰.۵۲۸۱	۰.۴۶۱۴۴۵۴	۰.۵۳۷۹	ME
-۰.۰۰۴۲۷۲۷	-۰.۰۰۵۵۱۱۳	-۰.۰۱۵۳۳۳۹	-۰.۰۱۷۴۸۸۲	-۰.۰۱۸۵۵۹۷	-۰.۰۲۱۹۴۳۱	-۰.۰۱۸۵۲۷۶	-۰.۰۲۱۷	-۰.۰۰۹۰۰۶۹	-۰.۰۱۳۶	NCL/km
-	-	-	-	-	-	-	-	۰.۰۰۸۰۴۰۵	۰.۰۱۷۸	PB
-	-	-	-	-	-	۰.۰۶۵۶۳۳۹	۰.۰۷۳۴	۰.۱۶۷۰۶۹۱	۰.۱۷۰۸	SP
-	-	-	-	-	-	-	-	-۰.۰۹۸۲۰۹۵	-۰.۱۴۶۰	CWL
۱.۲۴۴۸۷۱	۱.۲۷۸۸۴۵	۱.۱۸۵۷۹۴	۱.۱۸۸۳۹۲	۱.۲۰۵۸۲۴	۱.۲۱۸۴۴۶	۱.۲۰۹۷۸۷	۱.۲۱۹۷	۱.۰۳۰۳۹۸	۱.۰۸۷	NBS/km
۰.۰۸۷۸۲۳۳	۰.۱۳۸۸۲۶	۰.۰۸۵۵۲۱۸	۰.۱۳۵۴۶۳۷	۰.۰۸۸۹۲۹۶	۰.۱۴۱۵۵۲۴	۰.۰۹۳۰۰۲۷	۰.۱۴۶۲	۰.۰۶۴۸۵۷۶	۰.۱۱۲۵	Ln V
-	-	-	-	-	-	۰.۰۰۰۷۸۶۳	۰.۰۰۱۹۶	۰.۰۰۲۰۷۲۷	۰.۰۰۲۶	VR
۰.۱۱۰۷۶۱	۰.۱۳۳۶۵۹۳	۰.۰۵۸۰۴۰۱	۰.۰۷۶۶۰۰۹	-	-	-	-	-	-	NL
۰.۷۰۹۲۴۳۸	۰.۱۴۴۶۲۲۲	۰.۹۶۸۴۷۹۷	۰.۴۴۰۷۴۹۳	۱.۱۳۱۹۴۴	۰.۶۴۱۶۱۹۱	۱.۰۱۱۵۶۹	۰.۴۹۳۹	۱.۳۲۸۰۸۲	۰.۸۰۵۶	CONS.
۱.۳۴۳۹۹۱	-	۱.۳۴۳۹۹۱	-	۱.۳۴۳۹۹۱	-	۱.۳۴۳۹۹۱	-	۱.۳۴۳۹۹۱	-	RL
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NUT
-۰.۱۱۹۶۳۲۵	-	-۰.۱۱۹۶۳۲۵	-	-۰.۱۱۹۶۳۲۵	-	-۰.۱۱۹۶۳۲۵	-	-۰.۱۱۹۶۳۲۵	-	NI3/km
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NI4/km
-۱.۸۳۹۴۹۴	-	-۱.۸۳۹۴۹۴	-	-۱.۸۳۹۴۹۴	-	-۱.۸۳۹۴۹۴	-	-۱.۸۳۹۴۹۴	-	ME
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NCL/km
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PB
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SP
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	CWL
-۱.۱۳۹۱۹۹	-	-۱.۱۳۹۱۹۹	-	-۱.۱۳۹۱۹۹	-	-۱.۱۳۹۱۹۹	-	-۱.۱۳۹۱۹۹	-	NBS/km
-۱.۵۴۸۱۵۹	-	-۱.۵۴۸۱۵۹	-	-۱.۵۴۸۱۵۹	-	-۱.۵۴۸۱۵۹	-	-۱.۵۴۸۱۵۹	-	Ln V
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	VR
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NL
۹.۶۵۵۹۸۱	-	۹.۶۵۵۹۸۲	-	۹.۶۵۵۹۸۳	-	۹.۶۵۵۹۸۳	-	۹.۶۵۵۹۸۳	-	CONS.
۰/۴۱۷	۰/۳۸۴	۰/۴۹۸	۰/۳۹۹	۰/۴۲۵	۰/۳۹۲	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۴۵	۰/۴۲	R <sup>2</sup>



جدول (۴) مدل های دوجمله ای منفی و دوجمله ای منفی پرفر پیش بینی تصادفات در شریانی های شهر تهران

مدل شماره ۵ دوجمله ای منفی	مدل شماره ۴ دوجمله ای منفی		مدل شماره ۳ دوجمله ای منفی		مدل شماره ۲ دوجمله ای منفی		مدل شماره ۱ دوجمله ای منفی		متغیر	نوع متغیر	
	پرفر	ساده	پرفر	ساده	پرفر	ساده	پرفر	ساده			
-۰.۱۶۵۴۰۰۳	-۰.۲۹۵۰۶۳۴	-۰.۲۸۸۹۵۳۷	۰.۴۳۲۵۵۱	-۰.۲۳۵۴۲۷۷	-۰.۳۴۲۳۱۴۸	-۰.۲۰۰۸۵۰۳	-۰.۲۹۲۵۰۱	-۰.۱۴۳۱۶۷۱	-۰.۲۷۲۵۳۲۵	RL	ساده
-	-	-	-	-	-	-	-	-۰.۱۳۲۹۸۷۹	-۰.۰۹۹۱۳۸۱	NUT	
۰.۰۵۰۶۳۶	۰.۰۵۶۲۰۵	۰.۰۶۱۴۵۸	۰.۰۶۹۸۳۹	۰.۰۶۳۵۳۹	۰.۰۷۳۹۳۲	۰.۰۶۴۲۰۱	۰.۰۷۴۹۴۹	۰.۰۷۰۶۵۷	۰.۸۳۳۸۶۹	NI3/km	
-	-	-	-	-	-	-	-	-۰.۰۴۸۳۷۸	-۰.۰۳۶۷۳۰۵	NI4/km	
-	-	۰.۴۰۳۴۰۱	۰.۴۸۴۴۰۲	۰.۴۹۱۱۴۹	۰.۶۵۰۲۹۹	۰.۴۸۴۵۷۳	۰.۶۳۸۸۱۶	۰.۶۳۸۹۲۱	۰.۸۱۸۰۵۹	ME	
-۰.۰۱۵۷۰۰۸	-۰.۰۱۹۰۴۳۱	-۰.۰۳۱۲۰۶۹	-۰.۰۳۸۲۸۹۳	-۰.۰۳۴۶۱۶۳	-۰.۰۴۴۷۲۹۵	-۰.۰۳۴۴۷۳۸	-۰.۰۴۴۷۶۶۲	-۰.۰۳۳۸۰۱۹	-۰.۰۵۱۲۷۲۶	NCL/km	
-	-	-	-	-	-	-	-	-۰.۱۲۸۸۲۲۳	-۰.۱۳۶۱۶۳۱	PB	
-	-	-	-	-	-	-۰.۰۱۹۶۷۱۷	-۰.۰۳۶۵۰۵۲	۰.۱۶۶۹۲۵	۰.۰۹۵۲۸۳	SP	
-	-	-	-	-	-	-	-	-۰.۲۱۶۴۱۹۵	-۰.۳۵۰۹۱۲۷	CWL	
۱.۱۹۸۲۰۶	۱.۱۴۴۸۷۷	۱.۲۴۰۰۱۸	۱.۲۱۰۱۷۲	۱.۲۶۸۸۳۵	۱.۲۶۶۲۰۲	۱.۲۶۰۹۵۹	۱.۲۵۱۹۳۷	۰.۹۹۲۰۱۱	۱.۰۸۹۲۰۲	NBS/km	
۰.۱۴۷۸۵۱	۰.۲۳۵۲۴۸	۰.۱۶۴۴۰۶	۰.۲۵۵۱۶۷	۰.۱۶۷۹۴۹	۰.۲۶۱۲۸۹	۰.۱۶۵۱۴۶	۰.۲۵۷۹۵۱	۰.۱۷۹۴۱	۰.۲۷۲۰۲۷	Ln V	
-	-	-	-	-	-	۰.۰۰۳۰۰۶	۰.۰۰۴۲۹۳	۰.۰۰۴۲۹۶	۰.۰۰۴۹۹۹	VR	
۰.۱۳۶۶۳۱	۰.۲۰۱۵۲	۰.۰۵۳۵۴۵	۰.۰۹۷۴۴۸	-	-	-	-	-	-	NL	
۰.۲۱۶۹۱۳	-۰.۷۱۳۱۰۸۸	۰.۲۹۰۱۹۲	-۰.۶۲۷۵۰۶۸	۰.۴۱۲۵۵۵	-۰.۴۰۷۱۳۴۲	۰.۴۱۲۹۷	-۰.۳۹۹۱۳۹۴	۰.۵۱۱۳۹	-۰.۳۶۷۹۵۰۹	CONS.	
۱.۴۰۵۷۸۹	-	۱.۴۱۲۷۱۲	-	۱.۴۲۱۱۹۹	-	۱.۴۲۹۹۲۲	-	۱.۴۴۳۸۹۸	-	RL	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NUT	
-۰.۱۱۶۹۶۱۸	-	-۰.۱۱۶۸۵۳۱	-	-۰.۱۱۶۷۶۴۴	-	-۰.۱۱۶۴۳۲	-	-۰.۱۱۶۰۷۵۴	-	NI3/km	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NI4/km	
-۱.۸۴۹۲۳۱	-	-۱.۸۴۲۲۵۸	-	-۱.۸۴۲۳۹	-	-۱.۸۴۲۱۰۶	-	-۱.۸۳۶۰۷۷	-	ME	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NCL/km	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PB	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SP	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	CWL	
-۱.۱۲۳۸۷۸	-	-۱.۱۲۶۶۰۷	-	-۱.۱۲۸۸۳۸	-	-۱.۱۲۷۱۹۱	-	-۱.۱۲۸۷۲۲	-	NBS/km	
-۱.۵۵۰۶۸۸	-	-۱.۵۵۳۹۳۸	-	-۱.۵۵۶۳۴۴	-	-۱.۵۵۷۷۷۸	-	-۱.۵۶۲۱۶۵	-	Ln V	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	VR	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NL	
۹.۵۷۵۶۱۳	-	۹.۵۸۹۹۴۷	-	۹.۵۹۹۱۵۹	-	۹.۵۹۶۳۰۵	-	۹.۶۰۸۳۳۳	-	CONS.	
۰/۳۶۴	۰/۲۵۶	۰/۳۴۷	۰/۲۰۸	۰/۳۳	۰/۱۷	۰/۳۲۵	۰/۱۴۲	۰/۲۳۵	-۰/۰۹۶	R <sup>2</sup>	

### ۵- ارزیابی مدل (اعتبار سنجی)

برای انجام اعتبارسنجی مدل ها با استفاده از بانک داده های موجود در ابتدا اقدام به انتخاب ۱۰ شریانی به صورت تصادفی شده است. در مرحله سنجش مدل های ساخته شده می توان از معیارهایی نظیر R<sup>2</sup>



پیش بینی مدل و  $R^2$  مک فادن<sup>۱۲</sup> استفاده کرد. روشی که برای سنجش مدل بر اساس مشاهدات جدید در نظر گرفته شده، استفاده از  $R^2$  خط ۴۵ درجه "پیش بینی-مقادیر واقعی" است. در این روش هرچه مقدار پیش بینی-مقادیر واقعی از خط ۴۵ درجه فاصله داشته باشد مقدار  $R^2$  مورد نظر کوچکتر خواهد شد. رابطه (۹) نحوه محاسبه  $R^2$  خط ۴۵ درجه را نشان می دهد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (9)$$

که در آن  $y_i$  مقادیر تصادفات واقعی و  $\hat{y}_i$  مقادیر تصادفات پیش بینی شده بر اساس مدل و  $\bar{y}$  میانگین تصادفات واقعی است. جدول (۵) مقادیر  $R^2$  را برای ۲۰ مدل برتر ساخته شده نشان می دهد.

جدول (۵) مقدار  $R^2$  اعتبار سنجی برای ۲۰ مدل برتر ساخته شده

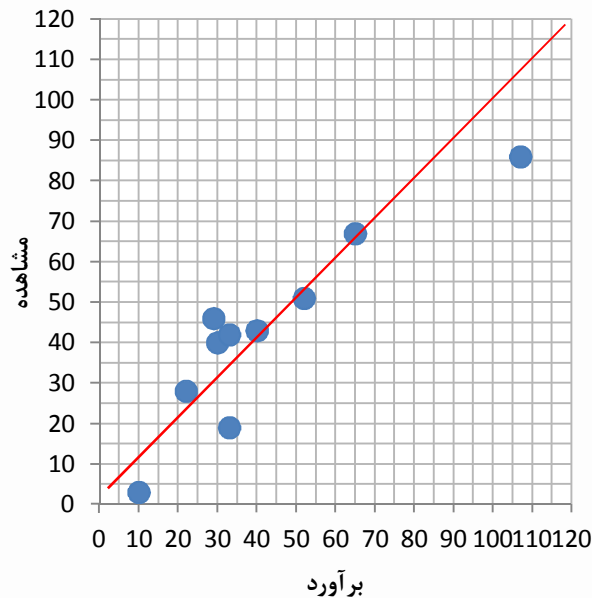
نوع مدل	پواسون	دوجمله ای منفی	پواسون پرفر	دو جمله ای پرفر
شماره مدل	P1	ZIP1	NB1	ZINB1
$R^2$	۰,۶۶	۰,۲۰۶	۰,۷۵	۰,۶۳۵
شماره مدل	P2	ZIP2	NB2	ZINB2
$R^2$	۰,۵۹	۰,۱۰۶	۰,۶۳۹	۰,۴۵۹
شماره مدل	P3	ZIP3	NB3	ZINB3
$R^2$	۰,۶۶	۰,۱۰۷	۰,۶۹۵	۰,۴۶۹
شماره مدل	P4	ZIP4	NB4	ZINB4
$R^2$	۰,۶۱	۰,۱	۰,۶۳۴	۰,۴۳
شماره مدل	P5	ZIP5	NB5	ZINB5
$R^2$	۰,۴۳	-۰,۰۴	۰,۳۶۹	۰,۱۲۳

بررسی مدل های نمایش شده در جداول و بررسی معناداری پارامتر و همچنین تفسیر ضرایب متغیرهای مورد استفاده در مدل سازی، منجر به انتخاب مدل ۴ پواسون پرفر به عنوان مدل برتر برای پیش بینی تصادفات در شریانی های شهر تهران گردید. البته لازم به توضیح است که مقدار  $R^2$  برای مدل شماره ۳ پرفر پواسون بهتر است ولی به دلیل آنکه متغیر نماینده عرض معبر، به عنوان متغیری مهم در مطالعات، در آن وجود ندارد، مدل شماره ۴ پرفر پواسون به عنوان مدل برتر شناخته

<sup>12</sup> McFadden



می‌شود. شکل (۲) نمودار برآورد-مشاهده را برای ۱۰ نمونه تصادفی انتخاب شده نشان می‌دهد.



شکل (۲) نتایج برآورد مدل شماره ۴ (پرفسور پواسون) برای ۱۰ نمونه تصادفی اعتبارسنجی

جزئیات این مدل در جدول (۶) و تفسیر ضرایب متغیرهای برآوردشده نیز در ادامه نشان داده شده است.

جدول (۶) مدل پیشنهادی نهایی برای پیش‌بینی تصادفات شریانی‌های در شهر تهران

متغیر	ضریب	خطای استاندارد	Z	$ P  > Z$	بازه اطمینان ۹۵ درصد
نسبت تعداد خطوط رویکرد رفت به تعداد خطوط رویکرد برگشت	-۰/۲۸۱	۰/۰۸۸	-۳/۱۸	۰/۰۰۱	-۰/۱۰۸ -۰/۴۵۴
تعداد سهراهی در هر کیلومتر از شریانی	۰/۰۴۸۷	۰/۰۰۳۹	۱۲/۴۵	۰/۰۰۰	۰/۰۵۶ ۰/۰۴۱
وجود و یا عدم وجود میانه	۰/۳۵۶	۰/۰۸۳	۴/۲۴	۰/۰۰۰	۰/۵۲ ۰/۱۹۱
تعداد خط عابر در هر کیلومتر از شریانی	-۰/۰۱۵	۰/۰۰۴۷	-۳/۲۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۵ -۰/۰۲۴
تعداد ایستگاه اتوبوس در هر کیلومتر از شریانی	۱/۱۸۵	۰/۰۹۷	۱۲/۱۸	۰/۰۰۰	۰/۹۹ ۱/۳۸
لگاریتم متوسط سالیانه ترافیک روزانه در شریانی	۰/۰۸۵۵	۰/۰۱۹	۴/۴۳	۰/۰۰۰	۰/۱۲۳ ۰/۰۴۷
تعداد خطوط رفت و برگشت شریانی	۰/۰۵۸۰	۰/۰۲۷	۲/۱۱	۰/۰۳۵	۰/۱۱۲ ۰/۰۰۴۱
ثابت مدل	۰/۹۶۸	۰/۲۱۲	۴/۵۶	۰/۰۰۰	۰/۵۵۱۹ ۱/۳۸۵
	۰/۰۰۰		Prob > chi2	۵۱۷	LR chi2(7)



مدل نهایی برای پیش‌بینی تصادفات در شریان‌های شهر تهران متشکل از ۷ متغیر و یک ثابت است که همه آن‌ها در بازه اطمینان ۹۵ درصد دارای ضرایب معنادار هستند. این مدل نشان می‌دهد که با افزایش حجم تردد خودروها در معابر شریانی ( $\beta=0.0855, P<0.000$ ) و متعاقب آن افزایش برخوردها<sup>۱۳</sup> میان وسایل نقلیه‌ها، فراوانی تصادفات افزایش می‌یابد یا به عبارت دیگر ایمنی در این معابر کاهش می‌یابد. البته شایان ذکر است که این رابطه بین افزایش تصادفات و حجم عبوری دارای رابطه لگاریتمی است. نسبت تعداد خطوط رویکرد رفت به تعداد خطوط رویکرد برگشت نیز یکی از پارامترهای معنادار در مدل‌سازی است که دارای ضریب معنادار منفی ( $\beta=-0.281, P<0.001$ ) است. یکی دیگر از متغیرهای معنادار، تعداد سهراهی در هر کیلومتر از شریانی است که با علامت مثبت معنادار شده است. ( $\beta=0.487, P<0.000$ ) این متغیر نشان می‌دهد که هر چه تعداد دسترسی‌ها در یک شریانی بیشتر باشد، تعداد تصادفات افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، افزایش جریان تداخلی بعنوان یکی از عوامل کاهش دهنده ایمنی در شریانی‌ها مطرح است. وجود و یا عدم وجود میانه، با علامت مثبت در مدل معنادار شده است. ( $\beta=0.356, P<0.000$ ) و نشان می‌دهد که وجود یک عامل جداکننده رویکردهای رفت و برگشت در یک شریانی، با کاهش ایمنی آن و افزایش تصادفات همراه است. از دیگر عوامل تاثیرگذار در وضعیت ایمنی معابر شریانی، تعداد خطوط عابر پیاده در هر کیلومتر از شریانی است که با علامت منفی در مدل معنادار شده است ( $\beta=-0.015, P<0.001$ ). با افزایش خطوط عابر پیاده در معابر شریانی و در نتیجه افزایش احساس خطر تصادف در رانندگان، تعداد تصادفات کاهش می‌یابد. عامل مهم دیگری که در مدل با علامت مثبت معنادار شده است ( $\beta=0.0580, P<0.035$ )، متغیر تعداد خطوط رویکرد رفت و برگشت شریانی است. علامت مثبت آن موید این مطلب است که با افزایش عرض معبر، تصادفات افزایش می‌یابد.

## ۶- نتایج و پیشنهادات

براساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت مدل پواسون پرفر بهترین مدل برای پیش‌بینی فراوانی تصادفات در معابر شریانی است. بررسی‌های مدل نشان می‌دهد عدم وجود تقاطعات کنترل نشده نقش عمده‌ای در کاهش تصادفات معابر شریانی دارد هم چنین افزایش تعداد خطوط عبوری و یا افزایش عرض معبر، نه تنها تصادفات را کاهش نداده بلکه منجر به افزایش تصادفات می‌گردد. علت این امر را می‌توان افزایش سرعت تردد خودروها و در نتیجه مانورهای موج وار دانست که خود عاملی برای کاهش ایمنی و افزایش تعداد تصادفات در شریانی خواهد بود. از سوی دیگر، عابرین پیاده جهت

<sup>13</sup> Conflict



عبور از عرض شریانی، لازم است مسافت طولانی تری را طی کنند که سبب کاهش ایمنی و افزایش تعداد تصادفات خواهد بود. از دیگر نتایج مدل می توان به نقش تعادل میان تعداد خطوط مسیر رفت به برگشت اشاره نمود. این مدل نشان می دهد که هر چه از توازن در تعداد خطوط معابر شریانی کاهش یابد، ایمنی نیز کاهش خواهد یافت. در واقع این کاهش توازن منجر به استفاده رانندگان از مسیر روبرو در معابری که رفوژ میانی ندارند، می گردد.



## ۷-مراجع

- 1-Khan, S. S. (1999). Injury fatal and property damage accident models for highway corridor. *Transportation Research Record, No. 1665*.
- 2-Lord, D. P. (2001). Accident prediction models with and without trend. *Transportation Research Record, No. 1717*, 102-108.
- 3-Saccomanno, F. N. (1996). Reliability of statistical road accident injury severity models. *Transportation Research Record, No. 1542*, , 14-23.
- ۴- ش. افندیزاده، ف. رضایی مقدم. "مدلسازی نرخ تصادفات برای انواع بزرگراه‌های درون شهری (مطالعه موردی شهر تهران)". ۱۳۸۶.
- ۵- ا.آیتی، ا.عباسی. "کاربرد مدل‌های رگرسیون پرصفر در مدلسازی تصادفات بزرگراه‌های درون شهری"، مجله عمران مدرس، دوره یازدهم، شماره ۴، ۱۳۹۰.
- ۶- ح. راضی اردکانی، ا. صمیمی. "بررسی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات درون شهری". یازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک. ۱۳۹۱.
- 7-Highway Safety Manual, American Association of State Highway and Transportation Officials. All rights reserved. 444 N Capitol St. NW - Suite 249 - Washington, DC 2010



## A Prediction Model for Accidents Frequency at Urban Arterial Roads (Case study: Tehran Metropolitan)

Naghdizadeh Mohammadreza<sup>1</sup>, Chaichi Motlagh Morteza<sup>2</sup>, Yazdanpanah Hamid<sup>3</sup>,  
Abedini Mehdi<sup>4</sup>

1-MSc, Transportation Planning, Iran University of Science and Technology

2-MSc, Transportation Planning, Islamic Azad University of Science and Research

3-MSc, Transportation Planning, Islamic Azad University South Tehran Branch

4-MSc, Road and Traffic Engineering, Islamic Azad University of Science and Research

### Abstract

In this paper, we analyzed accidents database in Tehran. At first, we recognized effective parameters of accident occurrence in urban arterial roads. Then correlations of variables were considered for choosing suitable variable. Based on literature review, Poisson regression models zero-inflated Poisson regression and negative binomial regression model and zero-inflated negative binomial regression model was used. Finally four models built are compared with each other. At this paper, zero-inflated Poisson regression model was presented the best model for prediction of arterial road accidents.

**Key Words:** *model, variable, accident prediction, zero-inflated Poisson, negative binomial*

