

مدل های پیش بینی فراوانی انواع تصادفات خسارتی در تقاطع های چهار شاخه چراغ دار درون شهری

مسعود قاسمی نوقابی¹، اسماعیل آیتی²

1- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

2- استاد، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

تحقیقات زیادی در زمینه ایجاد مدل های پیش بینی تعداد تصادفات انجام شده است که نتیجه آن ها ارائه مدل های پیش بینی کننده تعداد کل تصادفات می باشد ولی مدل های پیش بینی کننده انواع مختلف تصادفات، کمتر مورد بررسی قرار گرفته است و در ایران نیز هیچ تحقیقی که عوامل مؤثر بر فراوانی انواع تصادفات در تقاطع ها را بررسی کرده باشد، انجام نگردیده است. در این مقاله سعی می شود نشان داده شود که اولاً هر یک از انواع مختلف تصادفات به طرق مختلف با متغیرهای پیش بینی کننده ارتباط دارد و ثانیاً مدل های پیش بینی بر حسب نوع تصادف ممکن است شناخت بیشتر و دقیق تری نسبت به وقوع تصادف و راهکارهای عملی تر فراهم کند. برای تصادفات رخ داده در تقاطع های چراغ دار شهر مشهد سه مدل دوجمله ای منفی شامل مدل پیش بینی کل تصادفات خسارتی، تصادفات خسارتی جلو به عقب و جلو به پهلو تخمین زده شد و نتایج آن ها با یکدیگر مقایسه گردید. کنترل صحت مدل های به دست آمده از طریق آزمون های آماری مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. اعتبار سنجی مدل ها با استفاده از آزمون استیودنت حالت دو نمونه وابسته بررسی شد. نتایج نشان داد که 8 متغیر به میزان قابل ملاحظه ای بر ایمنی تقاطع ها اثر می گذارد.

کلیدواژه: تصادف، تقاطع، مدل دو جمله ای منفی.

1- کارشناس ارشد مطالعات ترافیک، 09153771258، Ghasemiengineer@gmail.com

2- عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد، 09153107483، e_ayati@yahoo.com

1- مقدمه

یک تقاطع در اصل نقطه‌ای است که سبب برخورد بین وسایل نقلیه در سیستم راه‌ها می‌شود. به علت وجود مانورهای حرکتی مختلف برای رانندگان و عابران پیاده، تقاطع‌ها یکی از پیچیده‌ترین وضعیت‌های ترافیکی است که رانندگان با آن مواجه می‌شوند [1]. تقاطع‌های هم سطح از جمله مکان‌هایی است که دارای بیشترین فراوانی تصادفات می‌باشد که بخشی از آن به علت روابط متقابل پیچیده بین کاربران راه در حوزه تأثیر تقاطع می‌باشد [2]. شیوه معمول برای درک رابطه متقابل بین عوامل هندسی و ترافیکی با علل تصادف، ایجاد یک رابطه بین وقوع تصادفات و مشخصات تقاطع‌های چراغ‌دار می‌باشد. اکثر محققان جهت درک این رابطه تلاش کرده‌اند تا اثرات متغیرهای هندسی، محیطی و ترافیکی را بر تعداد کل تصادفات تقاطع‌ها بررسی کنند [3,4,5,6,7]. ولی مدل‌های پیش‌بینی تصادفات بر حسب نوع تصادف به‌ندرت مورد بررسی قرار گرفته است و در ایران نیز هیچ تحقیقی که عوامل مؤثر بر فراوانی انواع تصادفات در تقاطع‌ها را بررسی کرده باشد، انجام نگردیده است.

حداقل سه دلیل مهم و قابل توجیه برای ارائه مدل‌هایی که نوع تصادف را به صورت تابعی از عوامل هندسی، محیطی و ترافیکی پیش‌بینی کند، وجود دارد. دلیل اول، نیاز به شناسایی بخش‌های پرخطری است که در آن‌ها نوع خاصی از تصادفات رخ می‌دهد و نمی‌توان از طریق تعداد کل تصادفات آن‌ها را شناسایی کرد. به عنوان مثال در یک تقاطع درون‌شهری ممکن است تعداد کل تصادفات در حد مجاز باشد ولی تعداد تصادفات جلو به عقب یا گردشی نسبت به تقاطع مشابه بیش از حد باشد. تعیین تعداد تصادفات مورد انتظار بر حسب نوع تصادف، باعث آگاهی بیشتر نسبت به مشکلات مربوط به تقاطع می‌شود. دلیل دوم استفاده از مدل‌های پیش‌بینی بر حسب نوع تصادف این است که امکان درک اثرات مختلف عوامل هندسی، ترافیکی و محیطی بر حسب نوع تصادف فراهم می‌شود و اثرات راهکارهای عملی ممکن است بهتر درک شود. دلیل سوم که نسبت به دو دلیل دیگر ارجح‌تر است، اعتقاد به این مسئله است که هر یک از انواع خاص تصادفات به طرق مختلف با متغیرهای هندسی، ترافیکی و محیطی ارتباط دارد. بنابراین متغیرهای اثرگذار بر وقوع تصادفات ممکن است با ضرایب مختلف بر انواع تصادفات اثر بگذارد و در نظر گرفتن تعداد کل تصادفات ممکن است تفاوت‌های متمایز بین انواع خاص تصادفات نادیده گرفته شود.

به دلیل این که مدل‌های رگرسیونی که به طور جداگانه برای هر یک از انواع خاص تصادفات ایجاد می‌شود، قدرت پیش‌بینی دقیق‌تری دارد، در این مقاله سعی بر این است که اولاً اثبات شود انواع مختلف تصادفات به طرق مختلف با متغیرهای پیش‌بینی کننده ارتباط دارد و ثانیاً نشان داده شود که تخمین مدل‌های انواع تصادفات ممکن است شناخت دقیق‌تری نسبت به وقوع تصادفات و ارائه راهکارهای عملی‌تر فراهم کند.

2- متغیرهای موثر بر وقوع تصادفات در تقاطع‌ها

در تحقیقاتی که در گذشته انجام شده است، پارامترهای مختلف موثر بر وقوع تصادفات در تقاطع‌های چراغدار مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج تحقیق پوچ و مینرینگ¹ نشان داد که حجم ترافیک گردش به چپ، حجم ترافیک گردش به راست، حجم کل ترافیک شاخه، حجم کل ترافیک شاخه مقابل، حجم ترافیک گردش به چپ در شاخه مقابل، ترکیب خط مستقیم و خط گردش به راست، کنترل ترافیک با چراغ دوفازه، کنترل ترافیک با چراغ هشت‌فازه، خط گردش به چپ محافظت شده، گردش به چپ مجاز و محافظت شده، محلی بودن خیابان تقاطع، محدودیت مسافت دید، ترکیب خط مستقیم و گردش به چپ، سرعت حرکت در شاخه تقاطع، سرعت حرکت در شاخه مقابل، واقع شدن تقاطع در مراکز تجاری، بیشتر بودن شیب شاخه تقاطع از 5%±، تعداد خطوط شاخه تقاطع، تعداد خطوط شاخه مقابل، تعداد شاخه‌های تقاطع و وجود قوس افقی در شاخه مقابل متغیرهایی هستند که بر فراوانی کل تصادفات، تصادفات جلو به عقب، زاویه‌ای و گردشی اثرگذار هستند [8].

نتایج تحقیق چن و قدوس² نشان داد افزایش حجم ترافیک شاخه، حجم ترافیک گردش به چپ، وجود خط گردش به راست کنترل نشده، افزایش مسافت دید تقاطع، وجود میانه‌های با عرض بیشتر از دو متر، وجود ایستگاه‌های اتوبوس نزدیک به تقاطع و وجود دوربین نظارتی باعث افزایش تصادفات سالانه می‌شود. وجود بخش شتاب‌گیری روی خط گردش به راست، وجود راه‌های اختصاصی اتوبوس در محل ایستگاه‌ها و استفاده از چراغ راهنمایی هوشمند سبب کاهش تصادفات سالانه می‌شود [9].

3- روش تحقیق

3-1- توصیف مدل

اگر چه روش‌های مدل‌سازی گوناگونی برای پیش‌بینی فراوانی تصادفات وجود دارد، مدل‌های پواسونی و دوجمله‌ای منفی از جمله روش‌هایی است که در حال حاضر برای فرایند مدل‌سازی وقایع پراکنده و غیر وابسته مانند تصادفات جاده‌ای استفاده می‌شود [10]. در این مدل‌ها فرض می‌شود که تصادفات رخ داده در یک جاده یا تقاطع، مستقل از یکدیگر می‌باشد. تصادفات رخ داده در یک بازه زمانی در شاخه تقاطع معمولاً از توزیع پواسونی تبعیت می‌کند [11]. تعداد متوسط تصادفات پیش‌بینی شده در شاخه تقاطع در طی یک دوره زمانی در نظر گرفته شده به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E(y_i) = m_i = \exp(b_i + \sum_{j=1}^n x_{ij} b_j) \quad (1)$$

که در رابطه فوق m_i = تعداد متوسط تصادفات پیش‌بینی شده در طی یک دوره زمانی در نظر گرفته شده برای شاخه تقاطع، $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ = مقادیر متغیرهای مستقل شاخه تقاطع i در طی دوره زمانی

مفروض، $b_1, b_2, \dots, b_n = b$ ضرایبی است که باید تخمین زده شود. در توزیع پواسونی، واریانس تعداد تصادفات در شاخه تقاطع i ، برابر با میانگین m_i می باشد. در مدل پواسونی، احتمال وقوع یک تعداد مشخص از تصادفات در شاخه تقاطع i در دوره زمانی مفروض، y_i ، برابر است با:

$$P(y_i) = \frac{e^{-m_i} m_i^{y_i}}{y_i!} \quad (2)$$

در توزیع پواسونی ضرایب b با استفاده از تابع درستنمایی ماکزیمم، $L(b)$ ، تخمین زده می شود.

$$L(b) = \sum_i (y_i \log m_i - m_i - \log y_i) \quad (3)$$

که $b = b_1, b_2, \dots, b_n$ بردار ضرایب و y_i تعداد تصادفات مشاهده شده برای شاخه تقاطع i و m_i تحت معادله (2) می باشد. به ازای هر مقدار b که معادله (3) ماکزیمم شود، برابر بردار ضرایب تخمین زده، b ، است. یک محدودیت مهم مدل پواسونی این است که باید میانگین $E[y_i]$ و واریانس $VAR[y_i]$ متغیر وابسته برابر باشد. هنگامی که میانگین و واریانس داده ها تقریباً برابر نباشد ضرایب تخمین زده شده دارای خطا خواهد بود. این محدودیت را می توان با استفاده از توزیع دو جمله ای منفی رفع نمود [11]. در توزیع دو جمله ای منفی، یک جمله درجه دوم به واریانس که معرف پراکندگی بیش از حد می باشد، اضافه می شود. شکل کلی تابع احتمال مدل دو جمله ای منفی به صورت زیر است:

$$P(y_i) = \frac{(y_i + a - 1)!}{y_i! (a - 1)!} \frac{m_i^{y_i}}{(1 + m_i)^{y_i + a}} \quad (4)$$

a پارامتر پراکندگی بیش از حد و واریانس برابر $m_i + a(m_i)^2$ می باشد. اگر a برابر با صفر باشد، توزیع دو جمله ای منفی به توزیع پواسونی تبدیل می شود. در توزیع دو جمله ای منفی، بردار ضرایب تخمین زده شده با استفاده از حداکثر تابع احتمال $L(b, a)$ بدست آورده می شود [11]. همان طور که وگت³ اشاره کرده است، توزیع دو جمله ای منفی تغییرات غیر پواسونی⁴ را به خاطر این که تمام پارامترها در مدل در نظر گرفته نشده است، به حساب می آورد [12].

$$L(b, a) = \sum_i \left[\left(\sum_{j=1}^{y_i} \log(1 + aj) - \log(1 + ay_i) \right) + \sum_i \left[y_i \log m_i - \left(y_i + \frac{1}{a} \right) \log(1 + am_i) - \log(y_i!) \right] \right] \quad (5)$$

3-2- ارزیابی مدل

3-2-1- ارزیابی پراکندگی بیش از حد

تصمیم گیری درباره انتخاب مدل پواسونی یا مدل دو جمله ای منفی، می تواند بر اساس یکی از آزمون های آماری دویانس یا نسبت کی-دو پیرسون انجام شود. دویانس مدل برابر است با:

$$D^m = 2(L^f - L^m) \quad (6)$$

که L^f برابر لگاریتم احتمال مدل تحت معادله (3) می باشد و تحت شرایطی که مدل به طور دقیق به داده ها برازش داده شده باشد و $a = 0$ بدست آورده می شود و L^m لگاریتم احتمال تحت معادله (3) یا (5) می باشد. اگر مدل دوم صحیح باشد، D_m تقریباً برابر با یک متغیر تصادفی با درجه آزادی $n - p$

خواهد بود که n برابر با تعداد مشاهدات و p برابر با تعداد متغیرهای شامل شده در مدل می‌باشد. اگر مقدار دویانس به میزان قابل ملاحظه‌ای بیشتر از $n-p$ باشد، بدین معناست که مدل به خاطر در نظر نگرفتن برخی از متغیرها و یا شکل غیر پواسونی، بیش از حد پراکنده است. بنابراین هنگامی که دویانس بر درجه آزادی تقسیم می‌شود به میزان قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از یک خواهد بود و نشان دهنده پراکندگی بیش از حد خواهد بود [11]. علاوه بر این، نسبت کی-دو پیرسون، تعریف شده تحت معادله (7)، یک متغیر تصادفی با میانگین $n-p$ برای یک مدل پواسونی خواهد بود.

$$Pearson's\ c^{\chi} = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\hat{y}_i} \quad (7)$$

در فرمول فوق y_i برابر تصادفات مشاهده شده و \hat{y}_i برابر تصادفات پیش‌بینی شده در شاخه تقاطع می‌باشد. اگر $\frac{c^{\chi}}{n-p}$ به میزان قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از یک باشد پراکندگی بیش از حد داده‌ها و استفاده از مدل دو جمله‌ای منفی، تأیید می‌شود [13].

3-2-2- ارزیابی میزان برازش مدل

مشابه با R^2 در رگرسیون خطی، R^{χ} پیرسون می‌تواند برای هر مدل خطی تعمیم یافته به منظور میزان برازش مدل محاسبه شود [11].

$$R_p^{\chi} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\hat{y}_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{\bar{y}}} = 1 - \frac{Pearson's\ c^{\chi}}{\frac{n}{\bar{y}} \times Var[y_i]} \quad (8)$$

در فرمول فوق $R_p^{\chi} = R^{\chi}$ پیرسون، y_i = تعداد تصادفات مشاهده شده در i امین تقاطع در طی یک دوره زمانی، \hat{y}_i = تعداد تصادفات تخمین زده شده در طی یک دوره زمانی، \bar{y} = متوسط تصادفات مشاهده شده در تمام تقاطع‌های تحت بررسی، n = تعداد مشاهدات.

3-3- بررسی تأثیر متغیرهای مستقل بر فراوانی تصادفات

یکی از روش‌های تفسیر متغیرهای شامل شده در مدل و بررسی تأثیر آن بر فراوانی تصادفات، محاسبه نسبت نرخ رویداد⁵ می‌باشد. این کمیت به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$IRR = \exp(b_i) \quad (9)$$

اگر IRR یک متغیر مفروض، از یک خیلی کمتر باشد، بنابراین افزایش در مقدار متغیر به میزان قابل ملاحظه‌ای با بهبود ایمنی ارتباط خواهد داشت. بر عکس، اگر IRR از یک خیلی بیشتر باشد افزایش در مقدار متغیر به میزان قابل ملاحظه‌ای با کاهش ایمنی ارتباط خواهد داشت. خارج از این دو حالت متغیر هیچ تأثیری روی ایمنی نخواهد داشت [9].

برای بررسی رابطه بین فراوانی تصادفات، مشخصات هندسی، ترافیک و کنترلی تقاطع‌های چراغ‌دار با استفاده از مدل‌های آماری مناسب، مجموعاً از 50 تقاطع چهارشاخه چراغ‌دار در شهرستان مشهد استفاده شد. تقاطع‌های در نظر گرفته شده، 45% کل تقاطع‌های چراغ‌دار چهار شاخه را پوشش می‌دهد. شدت تصادف بر اساس شدیدترین جراحت وارده به سه گروه تقسیم می‌شود: فوتی، جرحی، خسارتی. در این تحقیق فقط تصادفات خسارتی در نظر گرفته شد. برای جمع آوری داده‌های تصادف از "فرم‌های کام" که توسط افسران پلیس در صحنه تصادف تکمیل می‌شود، استفاده شد. هر تقاطع به شاخه‌های جداگانه تقسیم شد و تصادفاتی که در فواصل 75 متری از ورودی تقاطع رخ داده بود انتخاب شد. در صورتی که فاصله محل تصادف از خط توقف تقاطع، 75 متر باشد، در "فرم کام" تصادف، کروکی تقاطع ترسیم شده و این تصادف به تقاطع نسبت داده می‌شود. اگر تصادف درست در محل تقاطع رخ دهد، این تصادف به شاخه‌ای که وسیله نقلیه مقصر از آن وارد تقاطع شده است، نسبت داده می‌شود. برای تقاطع‌های مورد نظر در سال 1387، 1532 تصادف خسارتی از فرم‌های تصادفات اداره راهنمایی و رانندگی مشهد برداشت شد. اصل مورد استفاده در انتخاب متغیرهای مستقل در نظر گرفتن مجموعه‌ای از متغیرهای کاربردی مستقل براساس داده‌های موجود و قضاوت مهندسی می‌باشد. برای هر شاخه تقاطع، 23 متغیر مستقل در نظر گرفته شد. در جدول 1، شاخص‌های آماری متغیرهای مستقل نشان داده شده است. اکثر متغیرهای هندسی تقاطع از طریق

جدول 1: شاخص‌های آماری متغیرهای مستقل شامل شده در این تحقیق

| ردیف | نام متغیر | حداقل | حداکثر | میانگین | انحراف معیار |
|------|--|-------|--------|---------|--------------|
| 1 | تعداد خطوط عبوری در شاخه تقاطع | 2 | 9 | 5/89 | 1/3 |
| 2 | عرض خطوط عبوری در شاخه تقاطع (برحسب متر) | 7/64 | 34/5 | 20/87 | 4/62 |
| 3 | خط گردش به چپ ویژه (اگر شاخه دارای خط گردش به چپ ویژه باشد مقدار 1 و در غیر این صورت 0) | 0 | 1 | 0/46 | 0/50 |
| 4 | فاز گردش به چپ محافظت شده (اگر شاخه دارای فاز گردش به چپ محافظت شده باشد مقدار 1 و در غیر این صورت 0) | 0 | 1 | 0/03 | 0/17 |
| 5 | تعداد خطوط گردش به چپ ویژه | 0 | 1 | 0/46 | 0/50 |
| 6 | عرض خط گردش به چپ ویژه (برحسب متر) | 0 | 4 | 1/16 | 1/35 |
| 7 | طول خط گردش به چپ ویژه (برحسب متر) | 0 | 72/13 | 12/9 | 15/67 |
| 8 | خط گردش به راست ویژه (اگر شاخه دارای خط گردش به راست ویژه باشد مقدار 1 و در غیر این صورت 0) | 0 | 1 | 0/46 | 0/50 |
| 9 | تعداد خطوط گردش به راست ویژه | 0 | 3 | 0/87 | 0/96 |
| 10 | عرض خطوط گردش به راست ویژه (برحسب متر) | 0 | 12 | 3/12 | 3/43 |
| 11 | طول خط گردش به راست ویژه (برحسب متر) | 0 | 60 | 9/81 | 12/58 |
| 12 | عرض میانه در شاخه تقاطع (برحسب متر) | 0 | 8/88 | 2/41 | 2/22 |
| 13 | فاصله ایستگاه اتوبوس در شاخه تقاطع در جهت رفت (ورود به تقاطع) (اگر فاصله ایستگاه اتوبوس تا تقاطع بیشتر از 50 متر باشد مقدار 1 و در غیر این صورت 0) | 0 | 1 | 0/81 | 0/39 |
| 14 | فاصله ایستگاه اتوبوس در شاخه تقاطع در جهت برگشت (خروج از تقاطع) (اگر فاصله ایستگاه اتوبوس تا تقاطع بیشتر از 50 متر باشد مقدار 1 و در غیر این صورت 0) | 0 | 1 | 0/76 | 0/42 |
| 15 | جهت مسیر حرکت در شاخه تقاطع (اگر شاخه تقاطع یک طرفه باشد مقدار 1 و در غیر این صورت 0) | 0 | 1 | 0/1 | 0/31 |
| 16 | زاویه بین شاخه های فرعی با امتداد شاخه اصلی تقاطع (برحسب درجه) | 0 | 126/26 | 44/64 | 45/8 |
| 17 | تعداد فازها به ازای هر سیکل | 0 | 4 | 2/38 | 0/56 |
| 18 | دوربین نظارتی در تقاطع (اگر دوربین در تقاطع وجود داشته باشد مقدار 1 و در غیر این صورت 0) | 0 | 1 | 0/14 | 0/35 |
| 19 | نوع سیستم کنترل تقاطع (اگر شاخه دارای چراغ راهنمایی هوشمند باشد مقدار 1 و در غیر این صورت 0) | 0 | 1 | 0/44 | 0/50 |
| 20 | حجم ترافیک عبوری مستقیم (برحسب لگاریتم طبیعی) | 8/62 | 75/51 | 32/23 | 13/39 |
| 21 | حجم ترافیک عبوری گردش به راست (برحسب لگاریتم طبیعی) | 0 | 12/87 | 2/73 | 2/21 |
| 22 | حجم ترافیک عبوری گردش به چپ (برحسب لگاریتم طبیعی) | 0 | 13/10 | 3/22 | 2/7 |
| 23 | حجم کل ترافیک در شاخه تقاطع (برحسب لگاریتم طبیعی) | 8/62 | 84/24 | 38/18 | 14/27 |

نقشه‌های با مقیاس 1/2000 تقاطع و برداشت میدانی جمع‌آوری شد و متغیرهای ترافیکی (حجم ترافیک و نحوه کنترل تقاطع) از سازمان ترافیک مشهد اخذ گردید. برای مدلسازی لازم است این سوال مطرح شود که چه متغیرهایی با فراوانی تصادفات ارتباط دارد و این متغیرها وابستگی خطی نداشته باشند. برای پاسخ به سوال اول، ارتباط هر یک از متغیرها با متغیر وابسته فراوانی تصادفات مورد بررسی قرار گرفت و ضریب همبستگی و P-value هر متغیر محاسبه گردید و متغیرهایی که P-value آنها از 10% کمتر بود انتخاب شد. وابستگی بین متغیرهای مستقل نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و مشاهده شد که ضرایب همبستگی بین هر جفت متغیر مستقل از 0/5 کمتر است و بنابراین ارتباط بین آنها کم است.

4- مدل‌های فراوانی انواع تصادفات خسارتی

هدف از این تحقیق، ایجاد مدل‌های آماری برای فراوانی انواع تصادفات خسارتی در هر یک از شاخه‌های تقاطع می‌باشد (به عنوان مثال، یک تقاطع چهار شاخه با جهت شمال-جنوب، شرق-غرب، دارای چهار شاخه سوی شمال، جنوب، شرق و غرب خواهد بود). به خاطر این که ممکن است یکی از انواع تصادفات بیشتر در تقاطع روی دهد، ایجاد مدل‌های جداگانه برای تصادفات برخورد از جلو به عقب و جلو به پهلو نسبت به مدل فراوانی کل تصادفات، می‌توان شناخت دقیق‌تری نسبت به وضعیت گوناگون تصادفات در شاخه‌های تقاطع پیدا نمود. در این تحقیق تلاش می‌شود تا مدل‌های پیش‌بینی فراوانی کل تصادفات خسارتی، جلو به عقب و جلو به پهلو در تقاطع‌های چهار شاخه چراغ‌دار ایجاد شود.

آمار تصادفات رخ داده در تقاطع‌ها نشان داد تصادفات خسارتی جلو به عقب و جلو به پهلو از عمده تصادفات تقاطع‌ها می‌باشد. در تمام مدل‌ها متغیر وابسته، فراوانی تصادفات سالانه می‌باشد که عددی غیر منفی می‌باشد. در جدول 2 آمار توصیفی متغیرهای وابسته آورده شده است. همان‌طور که جدول 2 نشان می‌دهد نسبت واریانس به میانگین داده‌های تصادف از یک خیلی بزرگتر است که نشان دهنده پراکندگی در داده‌های تصادف می‌باشد. با توجه به پیروی توزیع فراوانی داده‌های تصادف از توزیع دو جمله‌ای منفی، در این تحقیق از مدل‌های رگرسیونی خطی تعمیم یافته با توزیع دو جمله‌ای منفی برای متغیر وابسته استفاده شده است. در رگرسیون دو جمله‌ای منفی، پارامترهای رگرسیونی توسط روش حداکثر احتمال با پردازش GENMOD در نرم افزار تحلیل آماری (SAS) محاسبه شد. پردازش GENMOD یک مدل خطی تعمیم یافته را توسط حداکثر احتمال به داده‌ها برازش داده و پارامترهای مدل از لحاظ عددی از طریق یک فرایند برازش تکراری تخمین زده می‌شود. پارامتر پراکندگی بیش از حد، a ، نیز توسط روش حداکثر احتمال، دویانس باقیمانده‌ها یا کی‌دو پیرسون تقسیم بر درجه آزادی تخمین زده شد. برای هر پارامتر رگرسیونی، خطای استاندارد و P-value

براساس فرض نرمال بودن حداکثر احتمال ضرایب محاسبه شد. در طی فرایند رگرسیونی، روش رگرسیون پسر⁶، برای حذف متغیرهای مستقلی که از نظر آماری اهمیت نداشتند استفاده شد؛ جدول 2: آمار توصیفی انواع تصادفات خسارتی

| متغیر وابسته (نوع تصادف خسارتی) | نماد متغیر | حداقل | حداکثر | میانگین | انحراف معیار | واریانس | واریانس/میانگین |
|---------------------------------|------------|-------|--------|---------|--------------|---------|-----------------|
| کل تصادفات | y_{TDA} | 0 | 38 | 7/66 | 6/12 | 37/45 | 4/89 |
| برخورد از جلو به عقب | y_{RDA} | 0 | 13 | 1/84 | 2/42 | 5/86 | 3/18 |
| برخورد از جلو به پهلو | y_{SDA} | 0 | 30 | 4/21 | 4/09 | 16/73 | 3/97 |

بدین معنا که در ابتدا تمام متغیرهای مستقل در مدل وارد شدند و سپس متغیرهایی که سطح معناداری آنها از 10% بیشتر باشد یکی پس از دیگری از مدل حذف شدند. متغیرهای نامعنادار براساس آماره نسبت احتمال و خطای استاندارد پارامترهای تخمینی شناسایی شدند. به طور همزمان ماتریس همبستگی بررسی شد و اگر دو متغیر قویاً با یکدیگر ارتباط داشتند یک متغیر از مدل حذف گردید تا مدل برازش داده شده از لحاظ آماری وابستگی خطی نداشته باشد. برای اجتناب از مشکل وابستگی خطی بین متغیرهای وارد شده در مدل که ممکن است باعث شود خطای استاندارد ضرایب نادرست بوده و بنابراین منجر به اشتباه بودن علامت یا بزرگی غیرمنطقی ضرایب تخمینی شود، فقط مهم‌ترین متغیرها انتخاب شدند. وابستگی بین متغیرها بدین معناست که تعداد دو یا بیشتر متغیرهای مستقل در مدل رگرسیونی چندگانه به شدت با یکدیگر ارتباط دارد. عامل تورم واریانس⁷ روشی معمول برای آشکار شدن وابستگی خطی بین داده‌ها می‌باشد. این شاخص به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$VIF_p = \frac{1}{1 - R_p^2} \quad (10)$$

در فرمول فوق R_p^2 مقدار R^2 بدست آمده از رگرسیون p امین متغیر مستقل نسبت به دیگر متغیرهای مستقل می‌باشد. توجه شود که عامل تورم واریانس برای هر p متغیر مستقل موجود در مدل رگرسیونی چندگانه محاسبه می‌شود. تصمیم‌گیری درباره اینکه چه متغیرهای با یکدیگر به شدت ارتباط دارد براساس بزرگی عامل تورم انجام می‌شود. قانون کلی این است که عامل واریانس تورم نباید از 5 بیشتر باشد [14]. در هر یک از مدل‌ها، برای بررسی وابستگی خطی بین متغیرهای مستقل عامل تورم واریانس محاسبه شد و مشاهده گردید که مقدار آن از 5 کمتر است و بنابراین ارتباط بین متغیرهای مستقل وارد شده در مدل از لحاظ آماری اهمیت ندارد.

4-1- مدل پیش‌بینی فراوانی کل تصادفات خسارتی

کل تصادفات خسارتی رخ داده در تقاطع‌ها، شامل تصادفات جلو به جلو، جلو به عقب، جلو به پهلو، عقب به پهلو و پهلو به پهلو می‌باشد. نتایج تخمین مدل دو جمله‌ای منفی برای فراوانی تصادفات

خسارتی در شاخه تقاطع بر حسب نوع تصادف در جدول 3 نشان داده شده است. این جدول شامل متغیرهای مربوطه، درجه آزادی، ضریب تخمین، خطای استاندارد، p-value، نسبت نرخ رویداد و پارامتر پراکندگی بیش از حد، a ، می باشد. همچنین آزمون های میزان برازش مدل در جدول 4 نشان داده شده است. در جدول 3 متغیرهایی که دارای علامت جبری مثبت می باشند باعث افزایش فراوانی تصادفات و متغیرهای دارای علامت جبری منفی باعث کاهش فراوانی تصادفات می باشد. همچنین نسبت نرخ رویداد برای هر متغیر مستقل محاسبه شده است. همان گونه که جدول 3 نشان می دهد در کل تصادفات خسارتی افزایش تعداد خطوط عبوری شاخه تقاطع، عرض میانه در شاخه تقاطع، تعداد فازها به ازای هر سیکل و حجم کل ترافیک عبوری در شاخه تقاطع سبب افزایش فراوانی تصادفات و افزایش زاویه بین شاخه فرعی با امتداد شاخه اصلی (اریب بودن تقاطع) و وجود دوربین نظارتی سبب کاهش فراوانی تصادفات می شود. مدل پیش بینی فراوانی کل تصادفات خسارتی به صورت زیر می باشد:

$$\ln(\hat{y}_{TDA}) = 0.1039x_{NL} + 0.1198x_{WM} - 0.0021x_A + 0.2654x_{NPH} - 0.2379x_{SC} + 0.0128x_{TIV} \quad (11)$$

پارامترهای مدل فوق در جدول 3 شرح داده شده است. بررسی ضرایب تخمینی در جدول 3 نشان می دهد با اضافه کردن هر خط مستقیم برای ترافیک عبوری مستقیم، وسایل نقلیه در حال گردش به چپ مسافت بیشتری در معرض با ترافیک عبوری مستقیم قرار می گیرد. علاوه بر این بیشتر بودن خطوط ترافیک عبوری مستقیم نشان دهنده بیشتر بودن حجم ترافیک عبوری مستقیم است که باعث کاهش فاصله بین وسایل نقلیه و افزایش زمان تأخیر در شاخه تقاطع می شود و این امر تصادفات بین وسایل نقلیه را افزایش می دهد. بنابراین ضریب مثبت نشان می دهد که بیشتر بودن تعداد خطوط ترافیک عبوری مستقیم باعث افزایش فراوانی تصادفات می شود. افزایش عرض میانه در شاخه تقاطع، باعث افزایش فراوانی کل تصادفات خسارتی می شود. میانه های عریض تر معمولاً موجب بزرگ تر شدن تقاطع می شود و تعداد نقاط برخورد بین وسایل نقلیه در حال حرکت مستقیم و گردش به چپ افزایش می یابد. در صورتی که زاویه بین شاخه فرعی با امتداد شاخه اصلی منفرجه باشد، وقوع تصادفات خسارتی تا حدود نسبتاً کمی کاهش می یابد. این وضعیت هندسی امکان گردش به راست وسایل نقلیه را از خیابان اصلی به فرعی و امکان گردش به چپ وسایل نقلیه از خیابان فرعی به اصلی تسهیل می کند.

در بین متغیرهای کنترل ترافیک، افزایش تعداد فازها به ازای هر سیکل ممکن است فراوانی کل تصادفات خسارتی را افزایش دهد. این مسأله شگفت آور نیست؛ به خاطر این که اکثر تصادفات در زمان تغییر دوره فاز رخ می دهد. معمولاً تعداد فازها در تقاطع های شلوغ زیاد است و هنگامی که تعداد فازها به ازای هر سیکل افزایش می یابد، رانندگان ممکن است عصبی شوند و سعی کنند تا سریعاً مانور خود را تکمیل کنند که این امر موجب تصادف می شود.

وجود دوربین نظارتی در تقاطع‌ها باعث می‌شود که فراوانی کل تصادفات خسارتی کاهش یابد. وجود دوربین در تقاطع‌ها باعث می‌شود رانندگان به علت این‌که دوربین می‌تواند تخلفات آنها را شناسایی کند، از چراغ قرمز عبور نکنند. از دوربین نظارتی به عنوان یک وسیله انتظامی ترافیک در تقاطع‌ها استفاده می‌شود. افزایش حجم کل ترافیک شاخه تقاطع باعث افزایش فراوانی کل تصادفات خسارتی می‌شود.

جدول 3: نتایج مدل دو جمله‌ای منفی برای فراوانی تصادفات خسارتی بر حسب نوع تصادف

| تصادفات خسارتی جلو به پهلو | | | | تصادفات خسارتی جلو به عقب | | | | کل تصادفات خسارتی | | | | نام متغیر | متغیر |
|----------------------------|---------|----------------|------------|---------------------------|---------|----------------|------------|-------------------|---------|----------------|------------|-----------|---|
| نسبت نرخ رویداد | P-value | خطای استاندارد | ضریب تخمین | نسبت نرخ رویداد | P-value | خطای استاندارد | ضریب تخمین | نسبت نرخ رویداد | P-value | خطای استاندارد | ضریب تخمین | | |
| - | <0/0004 | 0/1660 | 0/5832 | - | <0/0001 | 0/4029 | -2/031 | - | - | - | - | b | مقدار ثابت |
| - | - | - | - | 1/2359 | 0/003 | 0/0715 | 0/2118 | 1/1094 | 0/001 | 0/0334 | 0/1039 | x_{NL} | تعداد خطوط عبوری در شاخه تقاطع |
| 1/1710 | <0/0001 | 0/0276 | 0/1579 | 1/1098 | 0/0141 | 0/0398 | 0/1042 | 1/1272 | <0/0001 | 0/0216 | 0/1198 | x_{WM} | عرض میانه در شاخه تقاطع (برحسب متر) |
| - | - | - | - | - | - | - | - | 0/9979 | 0/0282 | 0/001 | -0/0021 | x_A | زاویه بین شاخه های فرعی با امتداد شاخه اصلی (برحسب درجه) |
| - | - | - | - | - | - | - | - | 1/3039 | 0/0013 | 0/0824 | 0/2654 | x_{NPH} | تعداد فازها به ازای هر سیکل |
| - | - | - | - | - | - | - | - | 0/7882 | 0/0563 | 0/1246 | -0/2379 | x_{SC} | دوربین نظارتی در تقاطع (اگر دوربین در تقاطع وجود داشته باشد مقدار 1 در غیر این صورت 0) |
| 1/0111 | 0/004 | 0/0039 | 0/0111 | 1/023 | <0/0001 | 0/0057 | 0/0228 | 1/0128 | <0/0001 | 0/0033 | 0/0128 | x_{TV} | کل حجم ترافیک در شاخه تقاطع (برحسب هزار وسیله نقلیه) |
| - | - | - | - | 2/2974 | 0/0088 | 0/3389 | 0/8318 | - | - | - | - | x_{PLT} | فاز گردش به چپ محافظت شده (اگر شاخه دارای فاز گردش به چپ محافظت شده باشد مقدار 1 و در غیر این صورت 0) |
| 0/4835 | 0/0034 | 0/2481 | -0/7267 | - | - | - | - | - | - | - | - | x_{DM} | جهت مسیر حرکت در شاخه تقاطع (اگر شاخه تقاطع یک طرفه باشد مقدار 1 و در غیر این صورت 0) |
| - | - | 0/0573 | 0/3081 | - | - | 0/1064 | 0/3879 | - | - | 0/0333 | 0/1753 | a | پارامتر پراکندگی بیش از حد |

جدول 4: آزمون‌های ارزیابی میزان برازش مدل دو جمله‌ای منفی برای فراوانی تصادفات خسارتی بر حسب نوع تصادف

| آیتم | کل تصادفات | جلو به عقب | جلو به پهلو |
|---------------------------------------|------------|------------|-------------|
| تعداد مشاهدات، (n) | 200 | 200 | 200 |
| تعداد متغیرهای شامل شده در مدل، (p) | 6 | 5 | 4 |
| درجه آزادی، $(n-p)$ | 194 | 195 | 196 |
| لگاریتم احتمال در همگرایی، $L(B)$ | 1839/7046 | -29/254 | 520/9855 |
| دویانس | 226/2248 | 212/3442 | 217/7553 |
| دویانس/درجه آزادی | 1/1661 | 1/0889 | 1/111 |
| کی-دو پیرسون | 203/8070 | 195/4691 | 208/8873 |
| کی-دو پیرسون/درجه آزادی | 1/0506 | 1/0024 | 1/0658 |
| R^2 پیرسون | 0/792 | 0/693 | 0/737 |

قرارگیری در معرض خطر تصادف، احتمالاً بستگی به حجم ترافیک خواهد داشت. با افزایش حجم ترافیک فاصله بین دو وسیله نقلیه برای انجام گردش به راست و تداخل ترافیک گردش به چپ کمتر خواهد شد و در اثر کم شدن فرصت‌های مناسب برای گردش کردن، رانندگان ممکن است در هنگام گردش، ریسک بیشتری انجام دهند.

نسبت نرخ رویداد در جدول 3 نشان می‌دهد در صورتی که به تعداد خطوط عبوری در یک شاخه تقاطع، یک خط افزوده شود و دیگر متغیرها ثابت در نظر گرفته شود، فراوانی تصادفات خسارتی، 10/9% افزایش خواهد یافت. اگر عرض میانه در شاخه تقاطع یک متر افزایش یابد با فرض ثابت بودن دیگر متغیرها، فراوانی تصادفات خسارتی 12/7% افزایش خواهد یافت. اگر زاویه بین شاخه فرعی با امتداد شاخه اصلی یک واحد تغییر کند، فراوانی تصادفات خسارتی 0/2% کاهش خواهد یافت. تأثیر این متغیر بر فراوانی کل تصادفات کم می‌باشد. با افزایش تعداد فازها به ازای یک واحد در هر سیکل و ثابت بودن دیگر متغیرها، فراوانی تصادفات خسارتی، 30/4% افزایش می‌یابد. افزایش حجم کل ترافیک در شاخه تقاطع به میزان یک واحد، سبب خواهد شد فراوانی تصادفات خسارتی تصادفات 1/3% افزایش یابد. در مورد دوربین نظارتی، چنانچه در دو تقاطع تمام شرایط یکسان باشد، در تقاطعی که دوربین نظارتی وجود دارد، فراوانی تصادفات خسارتی 21/2% کاهش خواهد یافت.

جدول 4 نشان می‌دهد نسبت دویانس/درجه آزادی و کی-دو پیرسون/درجه آزادی به ترتیب برابر با 1/1661 و 1/0506 می‌باشد که نشان دهنده پراکندگی در داده‌ها می‌باشد. پارامتر پراکندگی بیش از حد، a ، برابر 0/1753 می‌باشد که استفاده از مدل دو جمله‌ای منفی را تأیید می‌کند. R^2 پیرسون، برابر با 0/792 که نشان می‌دهد مدل به خوبی به داده‌ها برازش داده شده است و قابلیت پیش بینی مدل رضایت بخش است.

4-2- مدل پیش‌بینی تصادفات خسارتی برخورد از جلو به عقب

همان‌گونه که جدول 3 نشان می‌دهد، در تصادفات خسارتی برخورد از جلو به عقب، افزایش تعداد خطوط عبوری شاخه تقاطع، عرض میانه شاخه تقاطع، حجم کل ترافیک شاخه تقاطع و وجود فاز گردش به چپ محافظت شده باعث افزایش فراوانی تصادفات برخورد از جلو به عقب می‌شود. مدل پیش‌بینی فراوانی تصادفات خسارتی برخورد از جلو به عقب به صورت زیر می‌باشد:

$$\ln(\hat{y}_{RDA}) = -2.031 + 0.2118x_{NL} + 0.8318x_{PLT} + 0.1042x_{WM} + 0.0228x_{TV} \quad (12)$$

پارامترهای مدل فوق در جدول 3 شرح داده شده است. ضریب تخمین متغیر وجود فاز گردش به چپ محافظت شده، نشان می‌دهد که اگر شاخه دارای فاز گردش به چپ محافظت شده باشد، فراوانی تصادفات خسارتی برخورد از جلو به عقب افزایش می‌یابد. در توجیه این امر می‌توان گفت در شاخه‌هایی که در آن فاز گردش به چپ محافظت شده وجود دارد، معمولاً دارای یک خط ویژه می‌باشد و حجم ترافیک گردش به چپ زیاد می‌باشد. لذا برخی از رانندگان جهت انجام گردش به چپ، از خطوط عبوری مستقیم استفاده می‌کنند و در مواقعی که وسایل نقلیه برای مانور گردش به چپ متوقف هستند با وسایل نقلیه عبوری در حال حرکت مستقیم، تداخل ایجاد می‌شود و معمولاً در زمان تغییر فاز حرکت گردش به چپ و حرکت مستقیم، احتمال بروز تصادفات خسارتی برخورد از جلو به عقب افزایش می‌یابد. همان‌طور که مقدار نسبت نرخ رویداد در جدول 3 نشان می‌دهد، فاز گردش به چپ محافظت شده، تعداد خطوط عبوری در شاخه تقاطع، عرض میانه در شاخه تقاطع و حجم کل ترافیک در شاخه به ترتیب بیشترین تأثیر در فراوانی تصادفات خسارتی جلو به عقب دارند. نسبت دویانس/درجه آزادی و کی-دو پیرسون/درجه آزادی در جدول 4 به ترتیب برابر با 1/0889 و 1/0024 می‌باشد. پارامتر پراکندگی بیش از حد، a ، برابر با 0/3879 می‌باشد که استفاده از مدل دو جمله‌ای منفی را تأیید می‌کند. R^2 پیرسون برابر با 0/693 می‌باشد که نشان می‌دهد متغیرها قابلیت پیش‌بینی را دارد.

4-3- مدل پیش‌بینی تصادفات خسارتی برخورد از جلو به پهلو

همان‌گونه که جدول 3 نشان می‌دهد، در تصادفات خسارتی برخورد از جلو به پهلو یک طرفه بودن مسیر حرکت سبب کاهش فراوانی تصادفات و افزایش عرض میانه و کل حجم ترافیک در شاخه تقاطع باعث افزایش فراوانی تصادفات برخورد از جلو به پهلو می‌شود. مدل فراوانی تصادفات خسارتی برخورد از جلو به پهلو به صورت زیر می‌باشد:

$$\ln(\hat{y}_{SDA}) = 0.5832 + 0.1579x_{WM} - 0.7267x_{DM} + 0.0111x_{TV} \quad (13)$$

پارامترهای مدل فوق در جدول 3 شرح داده شده است. نسبت نرخ رویداد برای متغیر جهت مسیر حرکت (یک طرفه یا دو طرفه بودن مسیر در شاخه تقاطع) نشان می‌دهد که این متغیر بیشترین تأثیر را بر کاهش فراوانی تصادفات خسارتی برخورد از جلو به پهلو دارد. یک طرفه بودن مسیر حرکت در

شاخه تقاطع‌ها سبب می‌شود که نقاط برخورد بین وسایل نقلیه‌ای که قصد گردش کردن دارد با وسایل نقلیه عبوری مستقیم که از شاخه مقابل وارد تقاطع می‌شود، از بین برود و بنابراین فراوانی تصادفات خسارتی برخورد از جلو به پهلو با فرض ثابت بودن دیگر متغیرها 51/6% کاهش یابد. اگر عرض میانه یک متر افزایش یابد با فرض ثابت بودن دیگر متغیرها، فراوانی تصادفات خسارتی 17/1% افزایش خواهد یافت. افزایش حجم کل ترافیک در شاخه تقاطع به میزان یک واحد، سبب خواهد شد فراوانی تصادفات خسارتی جلو به پهلو 1/1% افزایش یابد.

جدول 4 نشان می‌دهد نسبت دویانس/درجه آزادی و نسبت کی-دو پیرسون/درجه آزادی به ترتیب برابر با 1/111 و 1/0658 می‌باشد که نشان دهنده پراکندگی بیش از حد داده‌ها می‌باشد. مقدار پارامتر پراکندگی بیش از حد، a ، برابر با 0/3081 می‌باشد که استفاده از مدل دو جمله‌ای منفی را تأیید می‌کند. R^2 پیرسون برابر با 0/761 می‌باشد که نشان می‌دهد مدل به خوبی به داده‌ها برازش داده شده است.

5- اعتبارسنجی مدل‌ها

اعتبارسنجی مدل یکی از مهم‌ترین گام‌های مدل‌سازی می‌باشد. برای بررسی اعتبارسنجی مدل‌ها از آزمون استیودنت حالت دو نمونه وابسته (زوج شده) استفاده شد. این آزمون میانگین تعداد تصادفات مشاهده شده در هر شاخه تقاطع را با میانگین تصادفات پیش‌بینی شده آن توسط مدل برازش داده شده، مقایسه می‌کند [15]. برای این منظور یک جامعه آماری از تقاطع‌ها که در مدل‌سازی وارد نشده‌اند (9 تقاطع چهار شاخه) در نظر گرفته و با استفاده از مدل‌های برازش داده شده، تعداد تصادفات رخ داده در تقاطع‌ها پیش‌بینی گردید. برای مقایسه تفاوت تعداد تصادفات پیش‌بینی شده با تعداد تصادفات مشاهده شده از آزمون استیودنت حالت دو نمونه وابسته (زوج شده) در نرم‌افزار SAS استفاده شد. آمار توصیفی تصادفات پیش‌بینی شده و مشاهده شده در جدول 5 آورده شده است. اگر مقدار P-value ذکر شده در جدول 5 از 5% بیشتر باشد، فرضیه H_0 را نمی‌توان رد کرد و بنابراین می‌توان گفت به‌طور متوسط، میانگین تعداد تصادفات پیش‌بینی شده و مشاهده شده تفاوتی ندارد.

جدول 5: نتایج آزمون $T-test$ برای مدل‌های برازش داده شده

| مدل تصادفات | تصادفات | تعداد مشاهدات | میانگین | انحراف معیار استاندارد | خطای میانگین استاندارد | آماره t | درجه آزادی، df | P-value |
|-------------|--------------|---------------|---------|------------------------|------------------------|---------|----------------|---------|
| کل | پیش‌بینی شده | 36 | 6/19 | 3/868 | 0/645 | -0/574 | 35 | 0/569 |
| | مشاهده شده | 36 | 5/94 | 5/534 | 0/922 | | | |
| جلو به عقب | پیش‌بینی شده | 36 | 0/69 | 0/951 | 0/158 | 1/624 | 35 | 0/113 |
| | مشاهده شده | 36 | 1/42 | 3/307 | 0/551 | | | |
| جلو به پهلو | پیش‌بینی شده | 36 | 3/33 | 2/042 | 0/34 | -1/499 | 35 | 0/143 |
| | مشاهده شده | 36 | 2/75 | 3/027 | 0/505 | | | |

6- نتایج و پیشنهادات

همان طور که پیشتر صحبت شد، یکی از دلایل مدل سازی انواع تصادفات خسارتی در تقاطع های چهار شاخه چراغدار، شناسایی متغیرهایی است که در هر یک از انواع خاص تصادفات دخالت دارد و مقایسه بین تفاوت اثرات ایمنی متغیرهای مهم بر انواع خاص تصادفات می باشد. نتایج تحقیق نشان داد متغیرهای اثرگذار بر انواع تصادفات خسارتی عبارتند از:

- 1- افزایش حجم کل ترافیک شاخه تقاطع باعث افزایش فراوانی کل تصادفات خسارتی، جلو به عقب و جلو به پهلو به میزان $1/3\%$ ، $2/3\%$ و $1/1\%$ می شود. حجم کل ترافیک به عنوان یک عامل کنترل کننده در وقوع تصادفات در نظر گرفته نمی شود و فقط به عنوان یک متغیر پیش بینی کننده تصادفات استفاده می شود. بدین دلیل معمولاً کنترل حجم کل ترافیک شاخه تقاطع به منظور کاهش تصادفات، مد نظر مهندسان و طراحان قرار نمی گیرد.
- 2- افزایش تعداد خطوط عبوری شاخه تقاطع باعث افزایش کل تصادفات خسارتی و تصادفات جلو به عقب به میزان $10/9\%$ و $23/6\%$ می شود.
- 2-3- افزایش عرض میانه شاخه تقاطع، باعث افزایش فراوانی کل تصادفات خسارتی، جلو به عقب و جلو به پهلو به میزان $12/7\%$ ، 11% و $17/1\%$ می شود.
- 4- افزایش زاویه بین شاخه فرعی با امتداد شاخه اصلی باعث کاهش کل تصادفات خسارتی به میزان 2% می شود.
- 5- یک طرفه بودن مسیر حرکت در شاخه تقاطع باعث کاهش تصادفات خسارتی جلو به پهلو به میزان $51/6\%$ خواهد شد.
- 6- افزایش تعداد فازها به ازای هر سیکل سبب افزایش کل تصادفات به میزان $30/4\%$ خواهد شد.
- 7- وجود فاز گردش به چپ محافظت شده باعث افزایش فراوانی تصادفات جلو به عقب به میزان 130% خواهد شد.
- 8- در بین متغیرهای کنترلی تقاطع، وجود دوربین نظارتی باعث کاهش فراوانی کل تصادفات خسارتی به میزان $21/2\%$ خواهد شد.

در صورتی که مجموعه داده های انواع تصادفات کامل تر باشد و برای چندین سال داده های تصادف جمع آوری گردد، می توان مدل هایی برای انواع دیگر تصادفات خسارتی در تقاطع ها مانند تصادفات خسارتی پهلو به پهلو و عقب به پهلو و تخمین زد. علاوه بر این در نظر گرفتن متغیرهای مستقل محیطی، بالخصوص متغیرهای مربوط به شرایط آب و هوایی (مانند تعداد روزهایی که سطح روسازی خیس و یا برفی است) کمک خواهد کرد که مدل هایی با قابلیت پیش بینی دقیق تری حاصل شود. اما متأسفانه این داده ها برای تقاطع های چراغدار شهر مشهد موجود نبود. در پایان پیشنهاد می گردد که

مدل سازی بر حسب نوع تصادف همراه با مدل سازی کل تصادفات و به عنوان مکمل آن انجام شود تا عوامل مختلف مؤثر بر انواع تصادفات خسارتی شناسایی و راهکارهای عملی کارآمدتر انتخاب شود.

7- مراجع

- [1] NHTSA, Traffic Safety Facts, 2003, National Highway Traffic Safety Administration, Department of Transportation, USA.
- [2] The role of perceptual and cognitive filters in observed behavior, In: Evans, L., Schwing, R.C. (Eds.), Human Behavior and Traffic Safety, 1985, Rumar, K., Plenum Press, New York, pp. 151–165.
- [3] Statistical Models of At-Grade Intersection Accidents—Addendum, 2000, Report No. FHWA-RD-99-094. Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- [4] Liu, P., and Young, H., A Neural network approach on studying the effect of urban signalized intersection characteristics on occurrence of traffic accidents, 2004, Presented at the 83th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [5] Accident Analysis and Prevention, 2003, Accident prediction models for urban roads, Vol. 35, No. 2, pp. 173–185.
- [6] The Prediction of Accidents on Digital Networks: Characteristics and Issues Related to the Application of Accident Prediction Models, 2000, Lord, D., Ph.D. thesis, Department of Civil Engineering, University of Toronto.
- [7] Statistical Models of At-Grade Intersection Accidents, 1996, Report No. FHWA-RD-96-125, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- [8] Transportation Engineering, 1996, Negative binomial analysis of intersection accident frequencies, Vol. 122, No.2, pp.105–113.
- [9] Accident Analysis and Prevention, 2003, Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections, Vol. 35, NO. 2, pp. 153–159.
- [10] Accident Analysis and Prevention, 2005, Poisson, poisson-gamma, and zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: Balancing statistical fit and theory, Vol. 37, pp. 35-46.
- [11] Transportation Engineering, 2006, Modeling crash types: new insights into the effects of covariates on crashes in intersection, Vol. 132, No. 4, pp. 282–292.
- [12] Transportation Research Record, 1998, Accident models for two-lane rural segments and intersections, NO. 1635, pp. 18–29.
- [13] Pernia, J., Lu, J.J., Xie, X., Weng, M., Snider, D., Development of models to quantify the impacts of signalization on intersection crashes, 2002, Presented at the 81th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [14] Regression Diagnostics, 1980, Belsley, D.A., Kuh, E., and Welsch, R.E., Wiley, New York, pp. 215-291.
- [15] Design and analysis of experiments, December 2004, Douglas, C., Montgomery, 6th Edition, Hardcover, 660 pages,

8- پانویس ها:

- 1- Poch, Mannering
- 2- Chin, Quddus
- 3- Random Effect Negative Binomial Model
- 4- Vogt
- 5- Extra – poisson
- 6- Incidence Rate Ratio
- 7- Backward regression
- 8- Variance inflation factor

