

## مدلسازی شدت تصادف‌ها در بزرگراههای درون‌شهری

مسعود ابی‌ترابی، مربی، دانشکده فنی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

فرزاد رضائی مقدم، مربی، دانشکده فنی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

E-mail: [mabitorabi@uma.ac.ir](mailto:mabitorabi@uma.ac.ir)

### چکیده

با وجود پیشرفت‌های مهم در زمینه افزایش ایمنی در بزرگراهها، تصادف‌های قابل‌توجهی با شدت‌های زیاد کماکان در بزرگراهها رخ می‌دهند که انجام مدلسازی می‌تواند مهندسين را قادر به شناسایی میزان تأثیر عوامل مؤثر در تصادف‌ها سازد. در مطالعات انجام شده پیشین، مدلی که بتواند تأثیر توأم عوامل انسانی، جاده، وسیله‌نقلیه و نیز عوامل جوی و ویژگی‌های ترافیکی شامل حجم ترافیک و سرعت جریان ترافیک را بر روی شدت تصادف‌ها نشان دهد مشاهده نشده است. بنابراین در این مقاله به ارائه مدل‌هایی که بتوانند تأثیر توأم این متغیرها را بر شدت تصادف‌ها در بزرگراههای شهری نشان دهند، پرداخته شده است.

در این مقاله، بزرگراههای شهری شهر تهران به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است و اطلاعات مورد نیاز طی سالهای ۱۳۸۴-۱۳۸۱ از سازمانها و نهادهای مختلف گردآوری شده است. با توجه به کیفی بودن اطلاعات جمع‌آوری شده، بانک اطلاعاتی که به صورت ۰ و ۱ تعریف شده در محیط نرم‌افزار ACCESS تهیه شد. سپس برای انجام مدلسازی متغیرهای مستقل و وابسته مشخص و متغیر وابسته (شدت تصادف) در دو سطح تصادف‌های فوتی و جرحی و تصادف‌های منجر به خسارت مالی تعریف شدند.

مدل‌های ارائه شده در این مقاله با استفاده از مدل‌های لاجیت دوتایی ساخته شده‌اند. برای انجام این مدلسازی از نرم‌افزار SPSS استفاده شده و برای تعیین متغیرهای معنی‌دار در مدل، در این محیط نرم‌افزاری روش حذف رو به عقب بکار گرفته شده است.

نتایج حاصل از مدل‌های ارائه شده در این مقاله نشان می‌دهد که سن کم راننده (زیر ۲۵ سال)، جنسیت وی (مرد)، تاریکی هوا، عدم توانایی در کنترل وسیله‌نقلیه، انحراف به چپ، تخطی از سرعت مجاز (مطمئنانه)، حجم ترافیک کمتر از ۲۰۰۰ وسیله‌نقلیه در ساعت، حرکت با دنده عقب در بزرگراه، نقص فنی در وسیله‌نقلیه، تصادف‌های با موتورسیکلت و دوچرخه، تصادف‌های روی پل، تصادف‌های جلو به جلو، تصادف‌های جلو به پهلو و تصادف‌های چند وسیله، جزء متغیرهایی هستند که باعث افزایش شدت تصادف‌ها در بزرگراهها می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: شدت تصادف‌ها، عوامل انسانی، جاده، وسیله‌نقلیه، حجم ترافیک، سرعت، روش حذف رو به عقب

### ۱. مقدمه

وسيله، محیط «نظیر شرایط آب و هوایی»، و جاده «نظیر طرح هندسی» پیچیده‌اند [۱]. بنابراین در این مقاله مدل ریاضی که بتواند تأثیر توأم عوامل انسانی، جاده، وسیله‌نقلیه و نیز عوامل جوی و ویژگی‌های ترافیکی شامل حجم ترافیک و سرعت جریان ترافیک را بر روی شدت تصادف‌ها نشان دهد، ارائه می‌شود.

اگرچه تاکنون تلاش‌های زیادی برای بررسی شدت تصادف‌های ترافیکی انجام شده، ولی رابطه بین عوامل خطر و شدت تصادف هنوز به درستی شناسایی نشده‌اند. یکی از دلایل این امر آن است که عوامل منجر به سطوح شدت تصادف، به‌علت حضور عوامل زیادی شامل مشخصات فرد «نظیر جنس، سن»، وسیله‌نقلیه «نظیر نوع

در مدل‌های بیان‌کننده شدت تصادف‌ها با بررسی محل وقوع تصادف‌ها و اطلاعات و شرایط مربوط به آنها، رابطه‌ای بین عوامل مؤثر در بروز تصادف‌ها و میزان شدت تصادف‌ها «به عنوان مثال، منجر به فوت، جرح یا خسارات مالی» ارائه می‌شود. بنابراین از این طریق می‌توان به عوامل مهم در تشدید تصادف‌ها پی برده، اقدامات لازم را انجام داد. در این گونه مدل‌ها عموماً تنوعی از عوامل انسانی، محیطی، طرح هندسی، وسیله نقلیه و ترافیکی بکار برده می‌شود [۲].

اهمیت مدل‌های شدت تصادف در این است که عوامل مؤثر در تصادف‌ها، خصوصاً تصادف‌های منجر به خسارات جانی شناسایی شده و اقدامات مؤثر جهت پیشگیری از این تصادف‌ها در اولویت قرار می‌گیرد.

## ۲. پیشینه موضوع تحقیق

چن<sup>۱</sup> و جوانیس<sup>۲</sup> با بکار بردن مدل لگاریتم خطی، رابطه‌ای برای شدت تصادف‌ها و عوامل مربوط به دست آوردند. در این مطالعه، تعداد ۴۰۸ مشاهده مربوط به تصادف‌های اتوبوس برای یک آزاد راه در تایوان از سال ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۳ مورد استفاده قرار گرفت که به علت کم بودن تعداد تصادف‌های منجر به فوت، تصادف‌های منجر به فوت با تصادف‌های منجر به جرح ادغام شد. آنها در بررسی خود به اهمیت دسته‌بندی مناسب برخی داده‌ها نظیر ساعت تصادف تأکید کردند. تصادف‌های جلو به عقب، رانندگی در ساعت دیروقت شب یا صبح زود، خطای راننده و ... از عوامل مؤثر در افزایش شدت تصادف شناسایی شد [۳].

کوکیلمن<sup>۳</sup> مدل‌هایی برای تصادف‌ها شامل دو وسیله، تک وسیله و تمامی انواع تصادف را به طور جداگانه ارائه و بررسی کرد. به علت تفاوت ماهیت انواع تصادف‌ها و عوامل بروز آنها، جدا کردن آنها برای گرفتن نتایج بهتر در مدل توصیه شد. نهایتاً او تصادف‌های جلو به جلو، سرعت زیاد، واژگونی، مصرف الکل، سن زیاد، مانور سبقت، تصادف‌ها در شب و ... را تصادف‌های با شدت زیاد و تصادف‌های جلو به عقب یا پهلو به پهلو و تصادف در روز را تصادف‌های با شدت کمتر معرفی کرد [۴]. ساکومانو<sup>۴</sup> ضمن توضیح و ارائه اهمیت مدل‌های شدت تصادف، اعتبار این مدل‌ها را عموماً بر دقت اطلاعات فراهم شده از بانک اطلاعاتی تصادف دانست. او از مدل‌های لاجیت دوتایی<sup>۵</sup> در بررسی خود استفاده کرده و عواملی نظیر خطای راننده، شرایط بد راننده

(خستگی و مریضی)، نبود دید کافی، خیس بودن جاده، تصادف در شب، خرابی وسیله نقلیه، مصرف الکل و ... را افزایش‌دهنده و عواملی نظیر استفاده از کمربند ایمنی و ... را کاهش‌دهنده شدت تصادف‌ها دانست. او در ارائه مدل‌ها نشان داد که در صورتی که در یک دسته (مثلاً تصادف‌های منجر به فوت) تعداد مشاهدات نسبت به کل تصادف کم باشد، ادغام آن با تصادف‌های جرحی و گرفتن آنها به عنوان یک دسته، باعث معنی‌دار شدن متغیرهای بیشتر و نتایج بهتر در مدل‌ها می‌شود. وگت<sup>۶</sup> و بارد<sup>۷</sup> نیز با تقسیم‌بندی شدت تصادف‌ها به دو گروه فوتی یا جرحی، جرح کم یا مالی و بکارگیری مدل لاجیت دوتایی، رابطه‌ای برای شدت تصادف‌های جاده‌ای دوخطه برون‌شهری با عوامل مختلف ارائه کردند [۵]. کیم<sup>۸</sup> و نیتز<sup>۹</sup> با استفاده از مدل لگاریتم خطی، ارتباط بین نحوه تصادف و شدت را مورد بررسی قرار دادند. آنها از داده‌های تصادف‌های تکمیل شده توسط پلیس در محل تصادف در ایالت هاوایی استفاده کردند. آنها نهایتاً تصادف‌های جلو به جلو و واژگونی را دارای بیشترین شدت معرفی کردند [۶]. خطاک<sup>۱۰</sup> با استفاده از مدل پرابیت ترتیبی<sup>۱۱</sup>، علاوه بر تأکید بر تأثیر شرایط هوایی و نوع تصادف در شدت تصادف‌ها، عواملی نظیر عدم دقت در رانندگی، سرعت زیاد، مصرف الکل، سن کم (زیر ۲۵ سال) یا زیاد (بالای ۶۵) راننده، خیس بودن جاده، وجود پیچ در جاده، شیب راه و ... را افزایش‌دهنده و شرایط برفی، تصادف در روز، جاده صاف، حجم ترافیک بیشتر و ... را کاهش‌دهنده شدت تصادف معرفی کرد [۷].

به طور کلی، کاوش در متون، نتایج متفاوتی درباره شدت تأثیر عوامل مؤثر بر شدت تصادف‌ها بیان می‌کند. در واقع، در هر یک از این برنامه‌های پژوهشی، با توجه به نوع داده‌های در دسترس، به بیان عوامل افزایش‌دهنده و یا کاهش‌دهنده شدت تصادف‌ها پرداخته شده است.

## ۳. جمع‌آوری اطلاعات

برای ساخت مدل نیاز به یکسری آمار و اطلاعات است، برای همین منظور در این تحقیق بزرگراه‌های شهر تهران به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده و اطلاعات لازم طی مراحل زیر گردآوری شد:

۱. گردآوری اطلاعات مربوط به حجم ترافیک و سرعت در مقاطع مختلف بزرگراه‌های شهری،
۲. جمع‌آوری اطلاعات مربوط به مشخصات هندسی، از جمله عرض معبر، تعداد و عرض خط عبوری در مقاطع مختلف بزرگراه‌های شهری،

۳. انتخاب داده‌های مربوط به آمار تصادفها در بزرگراههای شهری، طی سالهای گذشته.

برای بررسی میزان تأثیر عوامل مختلف محیطی، ترافیکی، انسانی، طرح هندسی، وسیله نقلیه و ... بر روی شدت تصادفها در بزرگراهها، داده‌های مربوط به مشخصات ترافیکی از قبیل حجم ترافیک و سرعت جریان ترافیک و مشخصات هندسی بزرگراهها، به ترتیب از سازمان حمل و نقل ترافیک تهران و شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران جمع‌آوری شده است. اطلاعات مربوط به تصادفها نیز از بانک اطلاعاتی اداره راهنمایی و رانندگی شهر تهران که از طریق جمع‌آوری فرمهای تکمیل شده توسط پلیس در محل تصادفها تهیه شده (فرم کام ۱۱۳)، به دست آمده است. با توجه به کیفی بودن اطلاعات مندرج در این فرم، ابتدا می‌بایست این داده‌ها به صورت کمی تعریف می‌شد که مناسب ترین روش برای کمی کردن این داده‌ها، تعریف متغیرها به صورت ۰ و ۱ تشخیص داده شد و به منظور استفاده و تحلیل این داده‌ها، تمام اطلاعات به دست آمده وارد نرم‌افزار ACCESS شد. لازم به ذکر است، برای استفاده از این داده‌ها و اطلاعات در مدلسازی می‌بایست همه این اطلاعات در یک بانک اطلاعاتی واحدی جمع شود که با توجه به جمع‌آوری اطلاعات از ارگانها و شرکتهای جدا از هم، داده‌ها و اطلاعاتی که با یکدیگر همپوشانی لازم را نداشتند و همچنین داده‌هایی که احتمال خطا در آنها وجود داشت، شناسایی و از بانک اطلاعاتی در نرم‌افزار ACCESS خارج شده است. در نهایت، آمار جمع‌آوری شده تصادفها (با توجه به مشکلات عدیده تهیه این نوع اطلاعات از منابع ذیصلاح)، مشخصات ترافیکی و مشخصات هندسی برای دوره چهار ساله از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۴ (با توجه به محدودیت منابع اطلاعاتی) شامل ۵۲۴۴۷ مورد تصادف است که از این تعداد ۱۳۴ مورد تصادف فوتی، ۳۳۱۴ مورد تصادفها جرحی و ۴۸۹۹۹ مورد تصادفها منجر به خسارت مالی هستند. این آمار شامل تصادفهایی است که در بزرگراههای درون‌شهری تهران به وقوع پیوسته است.

اطلاعاتی دیگری که در آن داده‌های موجود به صورت متغیرهای اسمی است، تهیه شد که نشانگر وجود یا عدم وجود حالت مورد نظر است. متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده در این مدلسازیها شامل ۱۱ نوع متغیرند و در واقع وضعیت تصادف وسیله نقلیه را نشان می‌دهند.

متغیر وابسته در این مدلها شدت تصادف است که به دلیل تعداد کم تصادفهای فوتی، در این تحقیق شدت تصادفها در دو سطح تصادفهای فوتی و جرحی و تصادفهای منجر به خسارت مالی تقسیم‌بندی شده است. در این مدلها تصادفهای منجر به خسارت جانی با علامت اختصاری  $Z_1$  و تصادفهای منجر به خسارت مالی با علامت اختصاری  $Z_2$  نمایش داده شده‌اند. برای چنین متغیرهایی که ترتیبی بوده و پیوسته نیستند، مدل‌هایی نظیر مدل لاجیت، مدل پرابیت، مدل لگاریتم خطی و ... بکار برده شده و مناسب‌اند [۸، ۹].

جدول ۱. متغیرهای مربوط به شدت تصادف

متغیر و شرح آن	علامت اختصاری متغیر
فوتی و جرحی ۱، در غیر این صورت ۰	$Z_1$
خسارتی ۱، در غیر این صورت ۰	$Z_2$

#### ۵. معرفی مبانی نظری ساخت مدل

مدل‌های لاجیت برای شرایطی مناسبند که هدف از آنها پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع یک متغیر بر حسب یک متغیر مربوط به آن باشد. این مدل شبیه مدل‌های رگرسیون خطی بوده، ولی برای مواردی مناسب است که متغیرهای وابسته به صورت گسسته هستند. در این بررسی دو گروه شدت تصادفها منجر به خسارت مالی و تصادفها منجر به خسارت جانی بکار برده شده است. لذا مجموعه گزینه‌ها عبارتند از:

$$F = \{ \text{Khm} \text{ خسارت جانی و } \text{Khj} \text{ خسارت مالی} \} \quad (1)$$

بنابراین تابع احتمال لاجیت به صورت روابط ۲ و ۳ خواهد بود:

$$P_{Khm} = \frac{e^{U_{Khm}}}{e^{U_{Khm}} + e^{U_{Khj}}} \quad (2)$$

$$P_{Khj} = \frac{e^{U_{Khj}}}{e^{U_{Khm}} + e^{U_{Khj}}} \quad (3)$$

#### ۴. تعریف متغیرهای مستقل و وابسته برای انجام مدلسازی

به منظور بررسی و مدلسازی آمار تصادفها با تغییراتی که توسط برنامه ACCESS در ساختار بانک اطلاعاتی اعمال شد، بانک

رابطه ۳ را می توان به صورت رابطه ۴ بازسازی کرد:

(۴)

$$P_{Khj} = \frac{e^{U_{Khj}}}{e^{U_{Khj}} \left( 1 + \frac{e^{U_{Khm}}}{e^{U_{Khj}}} \right)} = \frac{1}{1 + e^{U_{Khm} - U_{Khj}}}$$

و از سوی دیگر:

$$P_{Khm} = 1 - P_{Khj} \quad (۵)$$

که در آن روابط:

$P_{Khm}$ : احتمال آن که تصادفها منجر به خسارت مالی شود.

$P_{Khj}$ : احتمال آن که تصادف منجر به خسارت جانی شود.

$U_{Khm}$ : تابع مطلوبیت برای وقوع تصادفها مالی.

$U_{Khj}$ : تابع مطلوبیت برای وقوع تصادفها جانی است.

تابع مطلوبیت برای وقوع تصادفهای جانی و یا مالی تابعی از عوامل مؤثر در تصادفها (محیطی، طرح هندسی، انسانی، وسیله نقلیه و ترافیکی) در نظر گرفته می شود و به صورت رابطه ۶ تعریف می شود [۱۰]:

$$U_i = a_i + a_{1i}X_{1i} + \dots + a_{ni}X_{ni} \quad (۶)$$

که در آن:

$U_i$ : مطلوبیت گزینه  $i$  ( $i = F$ )

$X_{ji}$ : مقدار عامل  $j$  در گزینه  $i$  (۰ یا ۱  $X_{ji} =$ ) در حالی که  $J = ۲, ۱, \dots, n$

$a_{ji}$ : ضریب تأثیر عامل  $j$  در گزینه  $i$  درحالی که  $J = ۲, ۱, \dots, n$  است.

## ۶. تعیین معیارهای انتخاب و ارزیابی مدل

فرآیند مدلسازی، یک فرآیند تکراری و طولانی است که با گرفتن بازخور<sup>۱۲</sup> از نتایج قبلی، مدل های بهتری ساخته می شود. جهت تعیین مدل مناسب باید ضوابطی را در نظر گرفته، براساس آنها مدل ها را ارزیابی کرد. از آن جا که مشاهدات متغیر وابسته در مدل، ناهمفزون بوده و پیوسته، برای تعیین میزان برازندگی مدل لاجیت نمی توان مشابه روش رگرسیون خطی، ضریب تعیین  $R^2$  را محاسبه کرد.

مدل های لاجیت از نوع توابع درستنمایی بیشینه است که به صورت رابطه ۷ تعریف می شود [۱۱]:

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^n p(i) \quad (۷)$$

که در آن:

$L(\beta)$ : تابع درستنمایی (احتمال) وقوع مشاهدات ۱ تا  $n$  به ازاء

ضرایب  $\beta$

$p(i)$ : احتمال وقوع مشاهده  $i$  هستند.

هدف در این روش، یافتن  $\beta$  هایی است که این تابع را بیشینه کند. برای این منظور از طرفین لگاریتم گرفته و تابع احتمال به صورت رابطه ۸ تعریف می شود [۱۰]:

$$LL(\beta) = \ln(L(\beta)) = \sum_{i=1}^n (\ln p(i)) \quad (۸)$$

این تابع در روش درستنمایی دارای نقش اساسی و محوری است، به گونه ای که هدف، بیشینه سازی آن بوده و ضوابط ارزیابی نیز بر مبنای همین تابع و مقادیر آن برای شرایط خاص تعریف می شوند.

ضریب خوبی برازش ( $\rho^2$ ) در این روش ملاکی است که تعیین کننده میزان خوبی برازش مدل بر داده ها و مشاهدات است. مقدار این ضریب بین صفر و یک تغییر می کند. ضریب خوبی برازش برابر یک به معنی برازش کامل داده ها بوده و در این حالت گفته می شود که مدل از قدرت توضیح دهندگی کاملی برخوردار است.

ضریب خوبی برازش برابر صفر حد پایین خوبی برازش است. در این حالت قدرت توضیح دهندگی مدل هیچ است و مدل اصلاً قادر به توضیح تغییرات متغیر وابسته نیست. شایان ذکر است که دو حالت حدی فوق در عمل اصولاً پیش نمی آیند. آن چه در عمل مشاهده می شود، مقدار بین صفر و یک است که هرچه نزدیک تر به مقدار یک باشد، به معنی قدرت بیشتر مدل از نظر توضیح دهندگی تغییرات متغیر وابسته است. ضریب خوبی برازش برای مدل هایی که به روش درستنمایی بیشینه پرداخت می شوند نظیر لاجیت به صورت روابط ۹ و ۱۰ تعریف می شود [۱۲]:

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)} \quad (۹)$$

$$\rho_c^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(c)} \quad (۱۰)$$

که در آنها:

$LL(0)$ : مقدار تابع لگاریتم احتمال به ازاء ضرایب صفر

$LL(c)$ : مقدار تابع لگاریتم احتمال به ازاء جملات ثابت

$LL(\beta)$ : مقدار تابع لگاریتم احتمال به ازاء ضرایب برآورده شده هستند.

باید دقت شود که  $\rho_c^2 \leq \rho^2$  زیرا:

وضعیت معبر در محل تصادف با داده‌های سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۸۱ انجام شد.

لازم به ذکر است، به منظور کنترل نحوه ورود متغیرها به معادله لاجیت یا خارج شدن آنها، SPSS روش‌های مختلفی ارائه می‌کند که در این مقاله از روش حذف رو به عقب استفاده شده است.

در این روش در ابتدا مدل تمام متغیرهای مستقل را شامل می‌شود. سپس در هر قدم متغیری از مدل خارج می‌شود که کمترین مقدار تغییر را در مقدار  $R^2$  ایجاد کند و این مقدار  $R^2$  باید به حدی باشد که نتوان این فرضیه را رد کرد که مقدار واقعی تغییر برابر با صفر است (این کار در یک سطح معنی‌دار از قبل مشخصی انجام می‌شود که مقدار پیش‌گزیده آن ۰/۱ یا بزرگتر است). خارج کردن متغیرها از مدل هنگامی متوقف می‌شود که خارج کردن هر کدام از متغیرهای باقیمانده از مدل تغییر معنی‌داری در  $R^2$  ایجاد کند. با توجه به این توضیحات و با انتخاب روش حذف رو به عقب، اولین مدل (مدل ۱) براساس ضوابط ارزیابی مدل یعنی  $LL(\beta)$  (قدرمطلق کمتر نسبت به  $LL(c)$ )، معنی‌داری متغیرها بجز متغیر  $E_1$  (با  $Sig=0/115$ ) با ۰/۹۵ اطمینان ( $Sig \leq 0/05$ ) و درصد صحیح بیشتر، به دست آمد. ضرایب به دست آمده ( $\beta$ ) مربوط به تابع احتمال خسارت جانی ( $P_{Khj}$ ) است که در آن متغیرهای با ضرایب منفی باعث افزایش شدت تصادف (احتمال خسارت جانی) و متغیرهای با ضرایب مثبت باعث کاهش آن می‌شوند. این مدل بعد از ۴ بار تکرار با ۲۳ متغیر کالیبره شده است. روابط ۱۵ و ۱۶ مدل ۱ را که براساس ضرایب به دست آمده شکل گرفته، نشان می‌دهد.

$$P_{Khj} = \frac{1}{1 + e^{\Delta U}} \quad (15)$$

$$(16)$$

$$\begin{aligned} \Delta U = & 3.913 - 0.419V_1 + 0.494S_3 + 0.303LW_3 \\ & + 0.634LW_4 - 0.532M - 0.484Age_1 \\ & - 0.897A_2 - 0.549B_1 - 0.266B_3 + 0.505Veh_2 \\ & + 0.313Veh_6 - 3.12Veh_8 - 0.145Light_2 \\ & + 0.808C_1 + 0.781C_2 - 1.719C_6 - 1.849C_7 \\ & - 0.722C_8 - 0.637C_{10} - 0.927C_{11} + 0.334E_1 \\ & - 0.683E_7 - 0.681E_8 \end{aligned}$$

که در آن:

$$0 \geq LL(\beta) \geq LL(c) \geq LL(0) \quad (11)$$

یعنی مقدار تابع لگاریتم احتمال اصولاً منفی است، چرا که میزان احتمال کوچک تر از ۱ است. به عبارت دیگر:

$$|LL(\beta)| \leq |LL(c)| \leq |LL(0)| \quad (12)$$

نکته بسیار مهم در ارتباط با  $\rho^2$  و  $\rho_c^2$  این است که مقادیر مطلق آنها اطلاعات زیادی به دست نمی‌دهند و آنچه مهم و قابل قیاس است، مقدار نسبی این مقادیر برای مدل‌های متفاوتی است که با داده‌های یکسان پرداخت می‌شود.

در این تحقیق از نرم‌افزار SPSS<sup>۱۳</sup> استفاده شد. این نرم‌افزار علاوه بر معیارهای فوق، یکسری معیارهایی را برای کالیبره کردن در نظر می‌گیرد. معیارهای خروجی برای مدلسازی لاجیت در این نرم‌افزار شامل موارد ذیل است [۱۳].

۱.  $\rho^2$  که هرچه مقدار آن نزدیک به ۱ باشد، نشان‌دهنده پردازش بهتر مدل است.

۲. Sig<sup>۴</sup>، که بیانگر سطح معنی‌دار بودن ضریب به دست آمده برای متغیرهای مدل است. در حقیقت این متغیر میزان اطمینان آن که ضریب متغیر مورد نظر صفر نباشد را نشان می‌دهد. عموماً متغیرهای با مقادیر Sig تا حدود ۰/۰۵ یعنی با فاصله اطمینان<sup>۵</sup> ۹۵٪ از لحاظ آماری معنی‌دار بوده و در مدل پذیرفته می‌شوند.

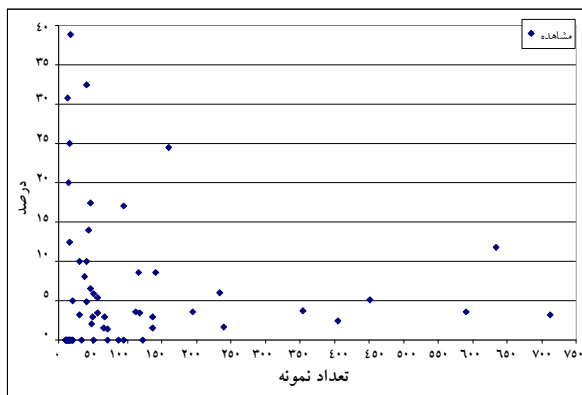
۳. درصد صحیح<sup>۱۱</sup>، که برای مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل با مشاهدات بکار می‌رود و بیانگر این مطلب است که مدل چه درصدی از مشاهدات را درست حدس زده است.

هدف اصلی از انتخاب بهترین مدل، بهینه‌سازی معیار با انتخاب بهترین تطابق با کمترین پیچیدگی است. در واقع به مفهوم تطابق بیشتر بین نتایج حاصل از مدل با مقادیر حاصل از مشاهدات است.

## ۷. آرایه مدل‌های تحقیق

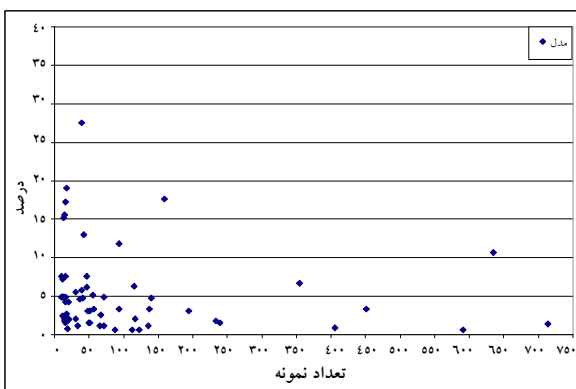
برای مدلسازی، ابتدا تحلیل همبستگی بین پارامترهای مدلسازی انجام شد تا متغیرهای مشابه در یک مدل به طور همزمان مورد استفاده قرار نگیرند. سپس فرایند مدلسازی با استفاده از متغیرهای حجم، سرعت، عرض معبر، جنسیت راننده مقصر، سن راننده مقصر، نوع برخورد، نحوه برخورد، نوع وسیله نقلیه مقصر در تصادف، روشنایی، علت تامه تصادف و متغیرهای مربوط به

اسم متغیر	Variable	اسم متغیر	Variable
تاریکی معبر	LIGHT2	حجم ترافیک کمتر از ۲۰۰۰ وسیله در ساعت	V1
عدم رعایت فاصله طولی	C1	سرعت ۶۰-۴۰ کیلومتر در ساعت	S3
عدم رعایت فاصله عرضی	C2	عرض معبر بین ۱۵-۱۸ متر	LW3
عدم توانایی در کنترل وسیله	C6	عرض معبر بین ۱۸-۲۲ متر	LW4
تخطی از سرعت مطمئنه	C7	راننده مرد	M
انحراف به چپ	C8	سن راننده زیر ۲۵ سال	AGE1
حرکت با دنده عقب	C10	نوع برخورد، چند وسیله	A2
نقص فنی در وسیله نقلیه	C11	نحوه تصادف، جلو به جلو	B1
وضعیت معبر در محل تصادف، شنی و خاکی	E1	نحوه تصادف، جلو به پهلو	B3
وجود پل در محل تصادف	E7	نوع وسیله نقلیه مقصر، سواری کرایه	VEH2
وجود میدان در محل تصادف	E8	نوع وسیله نقلیه مقصر، کامیون	VEH6
-	-	نوع وسیله نقلیه مقصر، موتورسیکلت و دوچرخه	VEH8



شکل ۱. پراکندگی احتمال تصادف‌های منجر به خسارت جانی برای

وضع موجود



شکل ۲. پراکندگی احتمال تصادف‌های منجر به خسارت جانی

حاصل از مدل

برای این مدل، درصد صحیح پیش‌بینی برابر با ۹۴/۵ و ضریب خوبی برازش مطابق جدول (۲) بوده است. این مدل علاوه بر معیارهای فوق با داده‌های سال ۱۳۸۴ مورد ارزیابی قرار گرفته که نتایج حاصل تأییدی بر مناسب بودن مدل است. در شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب پراکندگی احتمال تصادف‌های منجر به خسارت جانی برای هر طبقه از تصادف‌های دارای ویژگی‌های یکسان به طور مجزا در هر دو حالت داده‌های وضع موجود و داده‌های حاصل از مدل نشان داده شده است.

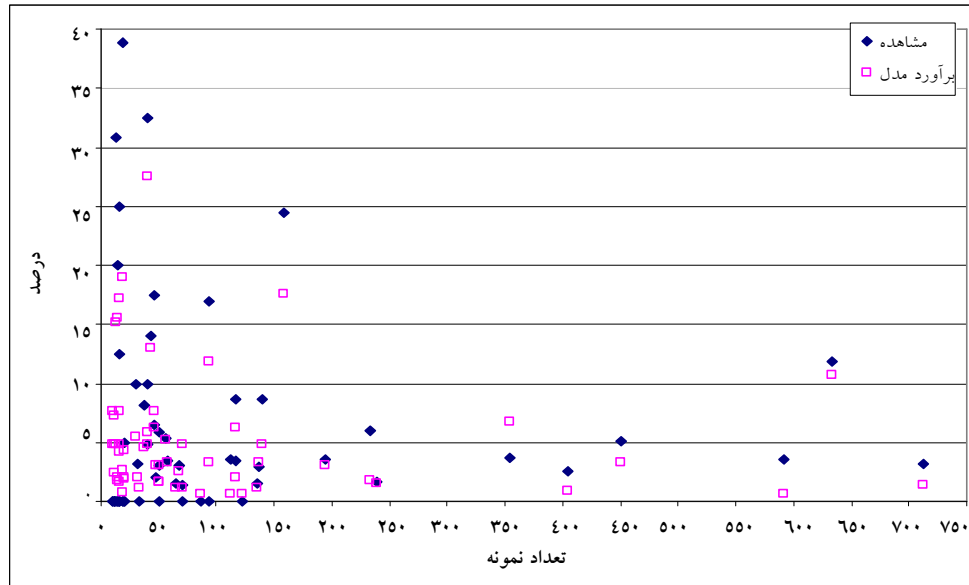
جدول ۲. نتایج برازش مدل نهایی ۱

$n = 38624$	تعداد مشاهدات
$LL(0) = -26772/116$	مقدار تابع لگاریتم احتمال به ازاء ضرایب صفر
$LL(B) = -2887/852$	مقدار تابع لگاریتم احتمال در همگرایی
$LL(c) = -8067/862$	مقدار تابع لگاریتم احتمال به ازاء جملات ثابت
$\rho^2 = 0/8922$	ضریب خوبی برازش
$\rho_c^2 = 0/6421$	ضریب خوبی برازش

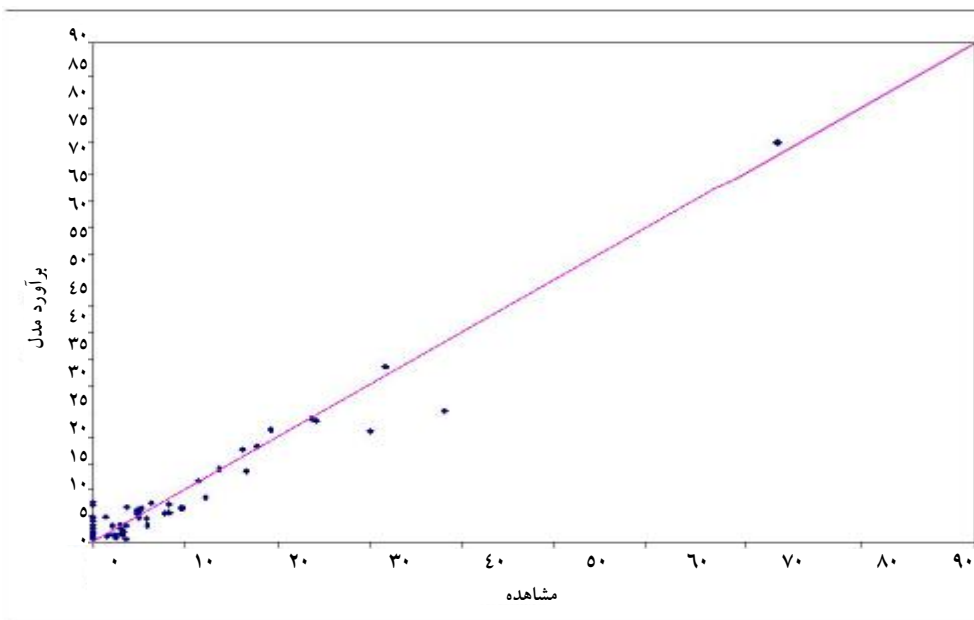
## مدلسازی شدت تصادفها در بزرگراههای درون شهری

تصادفها با ویژگیهای متفاوت و محور  $Y$  مربوط به احتمال تصادفها منجر به خسارت جانی به صورت درصد است. در شکل ۴، متغیر وابسته احتمال تصادفها منجر به خسارت جانی در دو حالت وضع موجود و مدل به صورت مقایسه‌ای نسبت به خط ۴۵ درجه نشان داده شده است. به طور کلی با توجه به این شکلها می‌توان نتیجه گرفت که مدل انطباق زیادی با واقعیت داشته و اختلاف بین آنها در حد قابل قبول است.

همان طور که در این شکلها نشان داده شده است اکثر طبقات تصادفها دارای فراوانی کمتر از ۲۰۰ نمونه بوده و احتمال این که این تصادفها منجر به خسارت جانی شوند کمتر از ۲۰ درصد است. حال به منظور نمایش بهتر پراکندگی احتمال تصادفها منجر به خسارت جانی حاصل از مدل نسبت به وضع موجود، شکل ۳ ارایه شده است. لازم به ذکر است در این شکل، محور  $X$  مربوط به گروه‌های



شکل ۳. پراکندگی احتمال تصادفها منجر به خسارت جانی حاصل از مدل و وضع موجود با بزرگنمایی



شکل ۴. شکل مقایسه‌ای احتمال تصادفهای منجر به خسارت جانی حاصل از مدل و وضع موجود

برای این مدل، درصد صحیح پیش‌بینی برابر با ۹۴/۹ و ضریب خوبی برازش مطابق جدول (۳) بوده است. این مدل علاوه بر معیارهای فوق با داده‌های سال ۱۳۸۴ مورد ارزیابی قرار گرفته که نتایج حاصل تأییدی بر مناسب بودن مدل است.

جدول ۳. نتایج برازش مدل نهایی ۲

n=۳۸۶۲۴	تعداد مشاهدات
LL(0)=-۲۶۷۷۲/۱۱۶	مقدار تابع لگاریتم احتمال به ازاء ضرایب صفر
LL(B)=-۲۵۰۸/۵۴۷	مقدار تابع لگاریتم احتمال در همگرایی
LL(c)=-۸۰۸۷/۶۸۳	مقدار تابع لگاریتم احتمال به ازاء جملات ثابت
$\rho^2 = ۰/۹۰۶۳$	ضریب خوبی برازش
$\rho_c^2 = ۰/۶۸۹۸$	ضریب خوبی برازش

در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب پراکندگی احتمال تصادف‌های منجر به خسارت جانی برای هر طبقه از تصادف‌ها دارای ویژگی‌های یکسان به طور مجزا در هر دو حالت داده‌های وضع موجود و داده‌های حاصل از مدل نشان داده شده است.

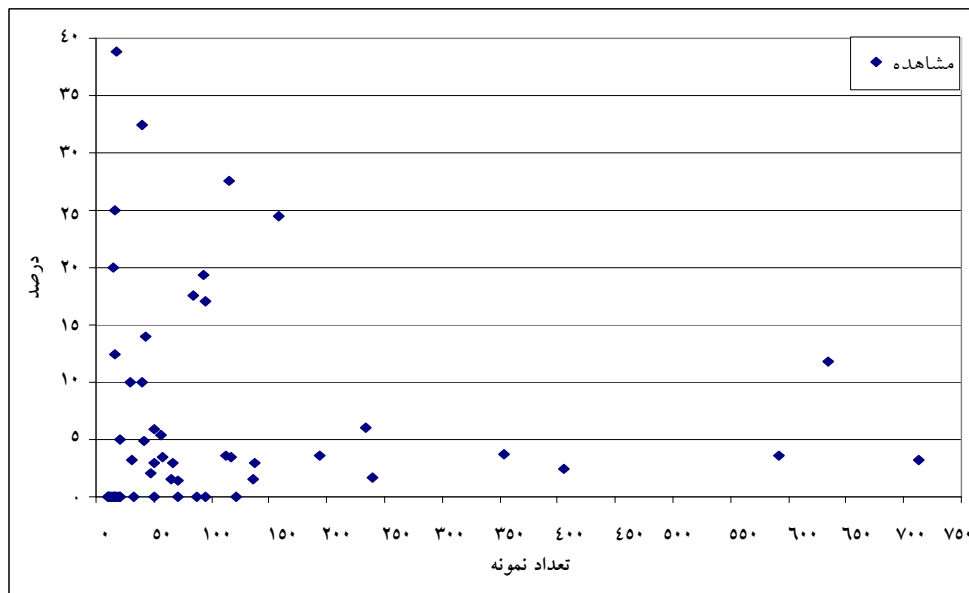
در مدل ۱، Sig مربوط به متغیر  $E_1$  از مقدار ذکر شده در بخش ارزیابی مدل بیشتر است ولی با این وجود مدل به دست آمده انطباق قابل قبولی با واقعیت دارد، در این قسمت به منظور کاهش درصد خطا در مدل ۱، دومین مدل (مدل ۲) با حذف پارامتر  $E_1$  به شرح ذیل ساخته شد.

با انتخاب روش حذف رو به عقب، (مدل ۲) براساس همان ضوابط ارزیابی مذکور در مدل ۱ ساخته شد. ضرایب به دست آمده  $(\beta)$  از مدل ۲، مربوط به تابع احتمال خسارت جانی  $(P_{Khj})$  است که در آن متغیرهای با ضرایب منفی باعث افزایش شدت تصادف (احتمال خسارت جانی) و متغیرهای با ضرایب مثبت باعث کاهش آن می‌شوند. این مدل بعد از ۴ بار تکرار با ۲۲ متغیر کالیبره شده است. روابط ۱۷ و ۱۸ را که براساس ضرایب به دست آمده شکل گرفته، نشان می‌دهد.

$$P_{Khj} = \frac{1}{1 + e^{\Delta U}} \quad (17)$$

$$(18)$$

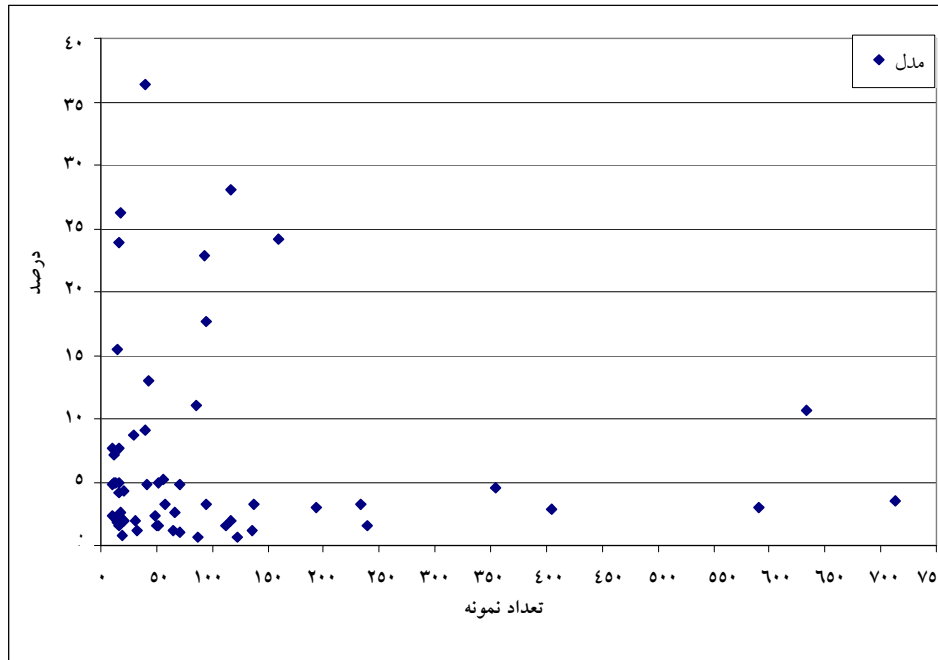
$$\begin{aligned} \Delta U = & 3.924 - 0.419V_1 + 0.495S_3 + 0.303LW_3 \\ & + 0.636LW_4 - 0.537M - 0.484Age_1 - 0.894A_2 \\ & - 0.549B_1 - 0.267B_3 + 0.503Veh_2 + 0.31Veh_6 \\ & - 3.125Veh_8 - 0.143Light_2 + 0.81C_1 + 0.78C_2 \\ & - 1.719C_6 - 1.845C_7 - 0.722C_8 - 0.637C_{10} \\ & - 0.931C_{11} - 0.69E_7 - 0.688E_8 \end{aligned}$$



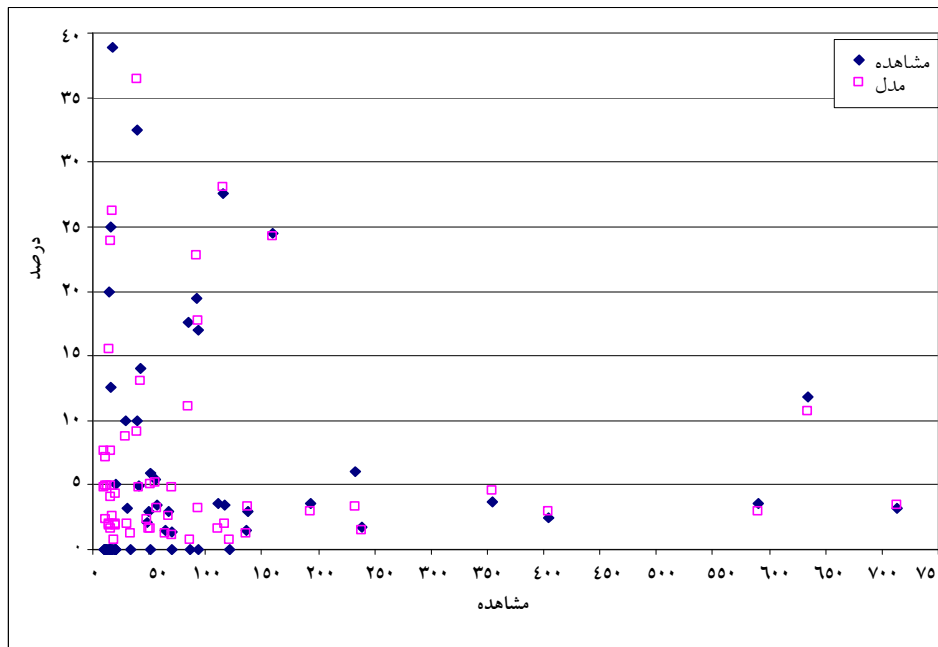
شکل ۵. پراکندگی احتمال تصادف‌ها منجر به خسارت جانی برای وضع موجود



مدلسازی شدت تصادفها در بزرگراههای درون شهری



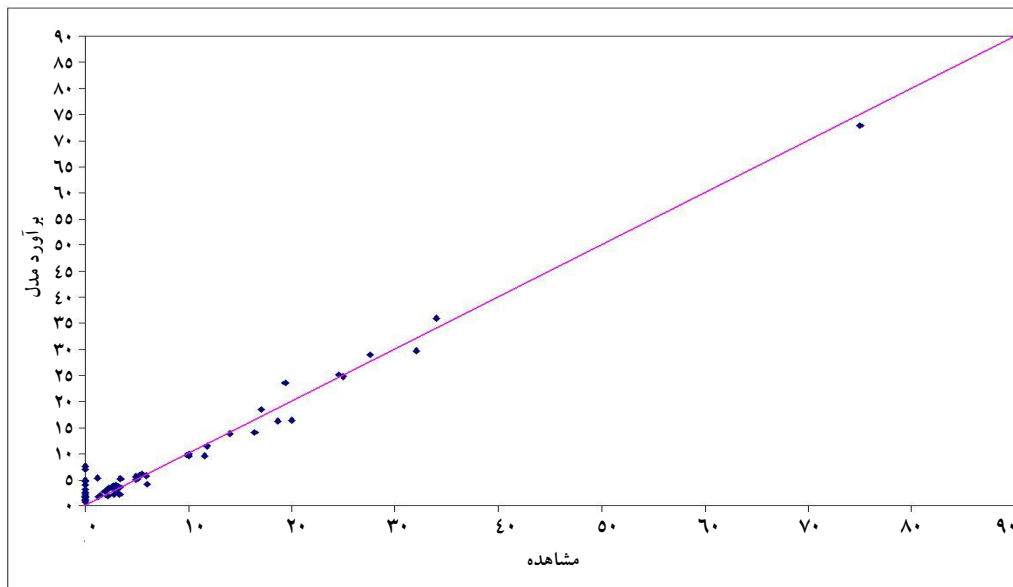
شکل ۶. پراکندگی احتمال تصادفها منجر به خسارت جانی حاصل از مدل



شکل ۷. پراکندگی احتمال تصادفها منجر به خسارت جانی حاصل از مدل و وضع موجود با بزرگنمایی

شکل ۷ ارایه شده است. لازم به ذکر است در این شکلها، محور Xها مربوط به طبقات تصادفها و محور Yها مربوط به احتمال تصادفها منجر به خسارت جانی به صورت درصد است.

همان طور که در این شکلها نشان داده شده است اکثر طبقات تصادفها دارای فراوانی کمتر از ۲۰۰ نمونه بوده و احتمال اینکه این تصادفها منجر به خسارت جانی شوند کمتر از ۲۰ درصد است. حال به منظور نمایش بهتر پراکندگی احتمال تصادفها منجر به خسارت جانی حاصل از مدل نسبت به وضع موجود،



شکل ۸. شکل مقایسه‌ای احتمال تصادفها منجر به خسارت جانی حاصل از مدل و وضع موجود

مقاله، مدل‌هایی برای پیش‌بینی شدت تصادفها در بزرگراههای شهری (شهر تهران) که تطابق قابل قبولی با واقعیت دارد، ارائه شده است و احتمال وقوع تصادفها منجر به خسارت جانی و مالی را در بزرگراههای شهری به صورت کمی بیان می‌کنند. همچنین این مدل‌ها نشان می‌دهند که تغییرات در شدت تصادفها، لزوماً توسط هریک از پارامترهای مستقل اتفاق نمی‌افتد بلکه این تغییرات نتیجه تأثیرات توأم این پارامترهای مستقل است. نکته حایز اهمیت در این مقاله، علامت ضرایب متغیرهای معنی‌دار شده در این مدل‌هاست. همان‌طور که در روابط (۱۶) و (۱۸) نشان داده شده است متغیرهای مشترک در هر ۲ مدل دارای علامت یکسان بوده و مقدار ضرایب آنها تا حدود زیادی نزدیک به هم و در واقع بیان‌کننده میزان تأثیر یکسان این متغیرها در شدت تصادفها در هر دو مدل هستند.

از سوی دیگر، می‌توان نتیجه گرفت که تعدادی از متغیرهای تعریف شده که در هر ۲ مدل معنی‌دار شده‌اند، دارای تأثیر به سزایی بر روی شدت تصادفها در بزرگراههای شهری هستند. بنابراین به منظور کاهش شدت تصادفها در این بزرگراهها می‌بایست ابتدا عوامل مرتبط با این متغیرها را کنترل کرد و سپس بر روی دیگر عوامل که تأثیر نسبی کمتری بر روی شدت تصادفها دارند، کار کرد.

نتایج حاصل از این تحقیق همچنین مشخص می‌کنند که متغیرهای سن راننده زیر ۲۵ سال، حرکت با دنده عقب، نقص فنی

در شکل ۸ متغیر وابسته احتمال تصادفها منجر به خسارت جانی در دو حالت وضع موجود و مدل به صورت مقایسه‌ای نسبت به خط ۴۵ درجه نشان داده شده است. به طور کلی با توجه به شکل‌های فوق می‌توان نتیجه گرفت که مدل انطباق زیادی با واقعیت داشته و اختلاف بین آنها در حد قابل قبول است. مقایسه دو مدل ۱ و ۲، نشان می‌دهد مدل ۲ نسبت به مدل ۱ نتایج بهتر و واقعی‌تری به ما می‌دهد و دلیل این امر می‌تواند حذف متغیر  $E_1$  با  $Sig = 0/115$  باشد. در واقع می‌توان گفت هرچه  $Sig$  متغیرها نزدیک صفر باشد، مدل ساخته شده نتایج دقیق‌تری خواهد داد.

### ۸. نتایج تحقیق

مدل‌های ارائه شده در این تحقیق نشان دهنده رابطه بین شدت تصادفها در بزرگراههای شهری و متغیرهای ترافیکی شامل حجم ترافیک و سرعت جریان ترافیک، مشخصات هندسی، عوامل انسانی، جاده، وسیله‌نقلیه و عوامل جوی هستند. با توجه به این که در مطالعات پیشین، مدلی که بتواند تأثیر تمام متغیرها را بر روی شدت تصادفهای بزرگراههای شهری نشان دهد وجود نداشت، مدل‌های ارائه شده در این تحقیق، این امکان را می‌دهد که تأثیر تمام متغیرها به صورت همزمان بر روی شدت تصادفها بررسی شود، بنابراین این مدل‌ها می‌توانند مدل‌های مناسبی برای شناسایی عوامل مؤثر در شدت تصادفها باشند. در واقع در این

در شدت تصادف‌ها کاهش داد. با توجه به این توضیحات می‌توان گفت یکی از مهم‌ترین عوامل در کاهش شدت و تعداد تصادف‌ها، کاهش تخلفات راهنمایی‌وراندگی است که این امر می‌تواند با نظارت مناسب و مؤثر پلیس، فرهنگ‌سازی و آموزش رانندگان و همچنین وضع قوانین و مقررات سختگیرانه در برخورد با تخلفات صورت گیرد.

متغیرهای سرعت حرکت بین ۶۰-۴۰ کیلومتر در ساعت، عرض معبر بین ۲۲-۱۸ متر و سواری مسافرکش جزء عواملی هستند که همواره شدت کمتری برای تصادف‌ها نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت سواری‌های مسافربر به دلیل آشنا بودن با مسیر و محل‌های احتمالی وقوع تصادف و تغییرات ناگهانی در مسیر از جمله تعمیر مقطعی از بزرگراه، بسته شدن یکی از خطوط عبوری و ... تأثیر چندانی در افزایش شدت تصادف‌ها ندارند. از سوی دیگر، برای استفاده از اثرات کاهش این عوامل در شدت تصادف‌ها می‌توان با طراحی عرض معبر بین ۲۲-۱۸ متر و تعریف سرعت مطمئنه برای رانندگان در بزرگراه‌ها اقدامات مؤثر در این زمینه انجام داد.

#### ۹. پانویس‌ها

- 1- Chen
- 2- Jovanis
- 3- Kockelman
- 4- Saccomanno
- 5- Binary Logit
- 6- Voget
- 7- Bared
- 8- Kim
- 9- Nitz
- 10- Khattak
- 11- Ordered Probit Model
- 12- Feed Back
- 13- Statistical Package For Social Science
- 14- Significance Level
- 15- Confidence Interval
- 16- Percentage Correct

در وسیله‌نقلیه، تصادف وسیله‌نقلیه با موتورسیکلت و دوچرخه، پل، تصادف‌های جلو به جلو، تصادف‌های جلو به پهلو و تصادف‌های چند وسیله در بزرگراه‌های درون‌شهری جزء عواملی هستند که همواره باعث افزایش شدت تصادف‌ها می‌شوند. همان‌طور که دیده می‌شود، تصادف‌های شدیدتر به خصوص در مورد نسل جوان جامعه مصداق بیشتری دارد. از آنجا که تصادف‌ها در اثر تخلف از مقررات راهنمایی‌وراندگی اتفاق می‌افتند، می‌توان گفت میزان تخلفات در این گروه بیش از سایر طبقات جامعه است که این خود بیانگر ناکارآمدی سازوکارهای انتقال فرهنگ زندگی جمعی و جامعه‌پذیر از سوی متولیان به شهروندان است، بنابراین با توجه به این موارد، به منظور کاهش شدت تصادف‌ها و کنترل آنها بایستی با فرهنگ‌سازی مناسب، وضع مقررات سختگیرانه‌تر در صدور گواهینامه و توقیف گواهینامه راننده متخلف، تا حدودی از وقوع تخلفات رانندگی که پیش درآمد تصادف‌ها است جلوگیری کرد. از دیگر عوامل مؤثر بر افزایش شدت تصادف‌ها، حرکت با دنده عقب در بزرگراه‌هاست که با بهبود تابلوهای هشدار دهنده، حضور بیشتر و مؤثرتر نیروهای پلیس و افزایش جریمه‌های نقدی در خصوص حرکت با دنده عقب در بزرگراه‌ها می‌توان آنرا کنترل کرد. با ایجاد مراکز معاینه فنی خودرو در سطح شهر و کنترل آن توسط پلیس می‌توان تا حدودی به کاهش شدت تصادف‌ها کمک کرد. با ایجاد خطوط ویژه برای موتورسیکلت و دوچرخه در بزرگراه‌های شهری و همچنین ایجاد ممنوعیت ورود دوچرخه و موتورسیکلت در بعضی از بزرگراه‌ها می‌توان تصادف‌ها وسایل‌نقلیه با دوچرخه و موتورسیکلت را کنترل کرد. لازم به ذکر است با وجود این که در اکثر بزرگراه‌ها، جریان ترافیک عبوری در دو جهت توسط حفاظ‌های میانی از هم جدا شده‌اند، ولی به دلیل عرض کم این حفاظ‌ها، نامناسب بودن حفاظ، عدم اجرای صحیح این حفاظ‌ها و ... وسایل‌نقلیه در اثر برخورد با این حفاظ‌ها، وارد رویکرد مقابل شده و باعث بروز تصادف‌های جلو به جلو که در شدت تصادف‌ها تأثیر به‌سزایی دارد، می‌شوند. بنابراین با انتخاب عرض مناسب رفوژها و اجرای صحیح آنها تا حدودی می‌توان در کنترل این نوع تصادف‌ها گام برداشت. از دیگر عوامل مؤثر در افزایش شدت تصادف‌ها، برخورد چند وسیله‌نقلیه با یکدیگر به دلیل رعایت نکردن فاصله طولی مجاز از یکدیگر است که با اطلاع‌رسانی و آموزش مناسب رانندگان می‌توان اثر این عامل را

- weather systems", *Transportation Research Record*, Issue 1621, pp. 15-19.
8. Ivan, John N., Per, E., Garder, Sylvia and Zajac, S. (2001) "Finding strategies to improve pedestrian safety in rural areas", University of Connecticut & University of Maine, UCNR pp. 12-7.
  9. Kweon, Y. J and Kochelman, K. M. (2005) "The safety effects of speed limit changes: Use of panel models, including speed, use and design variables", The 84<sup>th</sup> Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D. C.
  10. Ivan, John N., Paul J. Ossenbruggen, Paul J., Xiao Qin, Xiao and Pendarkar, Jyothi (2000) "Rural pedestrian crash rate: Alternative measures of exposure", University of Connecticut and University of New Hampshire, UCNR 11-10, Final Report.
  11. McMahon, Patrick J., Zegeer, Charles, V., Duncan, Chandler, Knoblauch, Richard L. Steward, Richard J. and Khattak, Asad J. (1999) "An analysis of factors contributing to walking along roadway crashes", *Transportation Research Board*, 78<sup>th</sup> Annual Meeting.
  12. Oh, J., Washington, S. and Nam, D. (2005) "Accident prediction model for railway-highway interface", The 84<sup>th</sup> Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D. C.
  13. Sawalha, Z. and Sayed, T. (2003) "Statistical issues in traffic accident modeling", TRB 2003 Annual Meeting.
  1. Chang, L. and Mannering F. (1998) "Analysis of vehicle occupancy and the severity of truck- and non-truck-involved accidents", Washington: University of Washington, Department of Civil Engineering, July 17.
  2. Saccomanno, F. F., Nassar, S. A. and Shortreed, J. H. (1996) "Reliability of statistical road accident injury severity models", *Transportation Research Record*, Issue 1542, pp. 14-23.
  3. Chen, W. and Jovanis, P. P. (2000) "Method for identifying factors contributing to driver-injury severity in traffic crashes", *Transportation Research Record*, Issue 1717, pp.1-9.
  4. Koekelman, K. M. and Kweon, Y. (2002) "Driver injury severity and application of ordered probit Models", Paper submitted to Accident Analysis and Prevention, 34(3), pp. 313-21.
  5. Voget, A. and Bared, J. (1999) "Accident models for two lane rural segments and intersection", *Transportation Research Record*, Issue 1635, pp. 18-29.
  6. Kim, K., Nitz, L., Richardson J. and Li, L. (1994) "Analyzing the relationship between crash type and injuries in motor vehicle collisions in Hawaii", *Transportation Research Record*, Issue 1467, pp. 9-13.
  7. Khattak, A. J., Kantor, P. and Council, F. M. (1999) "Role of adverse weather in key crash type on limited: Access roadways implications for advanced