Archive of SID

مجله علمی – پژوهشی
مهندسی عمران مدرس
دوره نوزدهم، شماره ۱، سال ۱۳۹۸

تحلیل عوامل ترافیکی مؤثر بر وقوع تصادفات در نواحی ورودی تونل-های شهری (مطالعه موردی: تونل رسالت)

حسین حسن‌پور[۱]، بهروز شیرگیر[۲*]

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش راه و ترابری، دانشگاه خوارزمی
۲- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، گرایش راه و ترابری دانشگاه خوارزمی

* **Shirgir@khu.ac.ir**

تاریخ دریافت: [۹۷/۱/۱] تاریخ پذیرش: [۹۷/۱۲/۲۲]

چکیده

هدف از این پژوهش، استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته (GAM) به‌عنوان رویکردی ناپارامتری برای شناسایی عوامل ترافیکی مؤثر بر فراوانی تصادفات در نواحی دسترسی و ورودی تونل‌های شهری و مقایسه‌ی نتایج حاصل از آن با مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM) به‌عنوان رویکردی پارامتری است. سامانه ترددشماری به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات و پارامترهای ترافیکی از سطح معبر ورودی تونل از قبیل: حجم سرعت و درصد اشغال و سیستم نظارت تصویری نیز به‌منظور مدیریت جریان ترافیک و ثبت وقایع از جمله تصادفات رخ‌داده در داخل تونل مورد استفاده قرارگرفته است. پس از پردازش اطلاعات، از میان اطلاعات در دسترس تعداد ۱۰۴۷ تصادف در نواحی دسترسی و ورودی تونل به‌عنوان متغیر وابسته و سه متغیر لگاریتم حجم ترافیک، فراوانی وسایل‌نقلیه سنگین (درصد) و اختلاف سرعت از محدودیت سرعت بزرگراه به‌عنوان متغیرهای مستقل نهایی برای فرآیند مدل‌سازی انتخاب شدند. بر اساس نتایج مدل خطی تعمیم‌یافته، اثر خطی متغیرهای لگاریتم حجم روزانه، فراوانی وسایل‌نقلیه سنگین و اختلاف میانگین سرعت روزانه وسایل‌نقلیه عبوری از تونل نسبت به محدودیت سرعت بزرگراه در فراوانی تصادفات نواحی دسترسی و ورودی تونل معنی‌دار بدست آمد. ضریب خوبی برازش بالاتر (۰/۰۹۹) و معیار اطلاعاتی آکائیک پایین‌تر (۳۸۲۳) مدل جمعی تعمیم‌یافته برتری این مدل را در مقایسه با مدل خطی تعمیم‌یافته نشان داد. نوسانات سرعت ایجادشده هنگام ورود به تونل‌ها برای هماهنگی با شرایط محیطی تونل مانند شرایط روشنایی، می‌تواند یکی از عواملی باشد که تأثیر مخربی بر ایمنی ترافیک عبوری از تونل دارد.

واژگان کلیدی: تونل‌های شهری، فراوانی تصادفات، مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM)، مدل جمعی تعمیم‌یافته (GAM).

۱- مقدمه

شبکه حمل‌ونقل در زندگی کنونی بشر وظیفه جابه‌جایی مسافر، کالا و یا اطلاعات را به‌صورت ایمن، سریع، اقتصادی و مطابق با الگوی زیست‌محیطی بر عهده دارد [1]. یکی از چالش‌های بزرگ جهان امروز بحث ثبات و پایداری شهری[1] است، به‌طوری‌که توسعه کلان‌شهرها و رشد آن‌ها را به علت فضای زمینی کم با مشکل روبه‌رو نموده است [2]. رشد روزافزون جمعیت شهرنشین، برقراری ارتباط مناسب در سطح شهرها را

1 Urban Sustainability

www.SID.ir

Archive of SID

دشوار ساخته است[3]. امروزه مزایای فراوان استفاده از فضاهای زیرزمینی به‌عنوان بخش جدایی‌ناپذیر از زیرساخت-های مدرن شهری بر جوامع پیشرفته پوشیده نیست[4].

با توجه به توسعه دانش و فن‌آوری تونل‌سازی در ایران، ساخت انواع تونل‌ها (راه، آب و ...) در چند سال اخیر به‌عنوان راهکاری مناسب در کاهش مسافت، صرفه‌جویی انرژی، افزایش ایمنی و حفظ محیط‌زیست رشد قابل‌توجهی پیدا کرده است [5]. از این‌رو در کنار رشد و گسترش تونل‌های شهری در کشورهای درحال‌توسعه از جمله ایران، ارتقای سطح ایمنی ترافیک عبوری و کاهش تصادفات و خسارات ناشی از آن، با مطالعات گسترده‌تر و پژوهش‌های بنیادی‌تر در این بخش ممکن خواهد بود.

به‌طورکلی تصادفات رانندگی یکی از مهم‌ترین عوامل تلفات انسانی در کشورها محسوب می‌شود و آثار سنگین اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی ناشی از آن جوامع بشری را به-شدت مورد تهدید قرار داده است. به همین منظور کاهش تصادفات رانندگی در سال‌های گذشته از سوی مجامع بین-المللی برای کشورهای جهان در دستور کار قرارگرفته است. بان‌کی‌مون دبیر کل سابق سازمان ملل متحد، سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ را دهه اقدام برای ایمنی جاده‌ها به‌منظور نجات جان پنج میلیون نفر در جهان عنوان کرده است که در طول سال بر اثر تصادفات و حوادث رانندگی کشته می‌شوند. بر این اساس کشورهای مختلف جهان موظف هستند با بررسی دقیق علت تصادفات جاده‌ای و بررسی میزان تأثیرگذاری راننده، جاده، وسیله‌نقلیه و محیط، شرایط را به‌دقت بررسی کنند و با افزایش استانداردهای موجود، زمینه افزایش سلامت ساکنان زمین را فراهم آورند[6].

۲- مرور ادبیات

توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقلی مانند تونل‌های شهری به‌منظور کاهش آلودگی محیط‌زیست، کاهش ترافیک و فراهم نمودن راحتی بیشتر کاربران، امری حیاتی است [7]. از این‌رو عملکرد ایمنی تونل‌ها مسئله‌ی بسیار مهمی است [8]. تصادفات در تونل‌های شهری ممکن است منجر به عواقب بسیار شدیدی برای کاربران، زیرساخت‌ها و محیط‌زیست شود [9].

مطالعه روی ایمنی تونل‌های جاده‌ای توسط کمیته پیارک در سال ۱۹۹۵ آغاز شد [10]. نشریه پیارک در سال ۲۰۰۸ اذعان داشت که تونل‌های دوطرفه باعث تصادفات بیش‌تری نسبت به تونل‌های یک‌طرفه می‌شوند [11]. همچنین در گزارش دیگری، رانندگی در تونل‌ها را به‌طورکلی مستلزم توجه بیش‌تر و حجم کار ذهنی بالاتر عنوان کرد [12]. اگرچه فراوانی تصادفات در تونل‌ها نسبت به مسیرهای باز اعم از بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها کمتر است، اما پژوهش‌های صورت گرفته حاکی از شدیدتر بودن تصادفات در محل تونل‌ها است [2 و 13]. بنابراین به‌کارگیری اقدامات لازم در شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات در محل تونل-های شهری می‌تواند در کاهش خسارات ناشی از تصادفات بر جامعه مؤثر باشد. تصادفات در تونل‌ها به دلیل ساختار محصور آن می‌تواند عواقب فاجعه‌باری را به‌همراه داشته باشند [14].

به‌طورکلی خطر تصادف در تونل‌ها در مقایسه با جاده-های باز کمتر است. این در حالی است که به علت امکان برخورد وسیله‌نقلیه با دیوار تونل در مقایسه با موانع ایمنی در جاده‌های باز و قابلیت دسترسی محدود دستگاه‌های امدادونجات، شدت تصادفات در تونل‌ها بالاتر است [15]. تصادفات جلو به عقب[1] (R-E)، ٪۷۰ از تمام تصادفاتی را که بر اساس اطلاعات تونل سنگاپور در طول سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۶ گزارش‌شده [16]، ٪۷۵ تصادفات مبتنی بر بزرگراه شانگیو- سانمن در چین [17] و ٪۸۰ از تصادفات برآورد شده توسط لیو و همکاران را شامل می‌شود [18]. بر این اساس، از یک‌سو، تصادفات جلو به عقب حدود ٪۷۰ از تمام تصادفات را تشکیل می‌دهند و از سوی دیگر، علت

1 Rear-End Crashes

www.SID.ir

Archive of SID

عمده آتش‌سوزی در تونل‌های جاده‌ای به‌شمار می‌روند.

از میان بخش‌های مختلف، نواحی گذار[1] در تونل‌ها، مناطق خطرناکی به‌حساب می‌آیند. رانندگانی که با سرعت بالا به تونل نزدیک می‌شوند در معرض خطر تصادف بسیار بالاتری قرار دارند. به‌طور معمول هنگامی‌که یک وسیله‌نقلیه به ورودی تونل نزدیک می‌شود، راننده سرعت خود را به‌منظور هماهنگی با شرایط نور کم (سیاه‌چاله[2])، به سرعتی کمتر از جاده باز کاهش می‌دهد. این نوسانات بزرگ در تغییر سرعت تأثیر مخربی بر ایمنی ترافیک دارد [19]. لمکه یکی از دلایل اصلی بالاتر بودن نرخ تصادف در نزدیکی دروازه تونل نسبت به داخل تونل را به دلیل همین تغییر ناگهانی در محیط بصری تونل عنوان کرد [15].

افزایش حجم ترافیک در شرایط خلوتی می‌تواند منجر به تصادفات بیشتر نسبت به روند رشد خطی شود [20]. به‌طورکلی با افزایش ترافیک و درصد کامیون‌ها اغلب تصادف بیشتری انتظار می‌رود. خطر تصادف در تونل‌ها با افزایش AADT و حضور کامیون‌ها بیشتر می‌شود [21]. با افزایش نسبت وسایل نقلیه سنگین، توزیع سرعت گسسته‌تر می‌شود و انحراف استاندارد سرعت افزایش می‌یابد، که می‌توان آن را به‌عنوان معیاری از کاهش ایمنی تفسیر نمود [22].

پژوهش‌گران در طول سال‌های گذشته از روش‌های مختلفی برای تحلیل داده‌های تصادفات در تونل استفاده کرده‌اند. در سال ۲۰۱۳ تحقیقی با عنوان ارائه مدل پیش‌بینی تصادفات در تونل‌ها، توسط کالیندو و همکاران انجام شد. این پژوهش به‌منظور ارزیابی تأثیر متغیرهای ترافیکی و مشخصات هندسی تونل‌ها انجام گرفت. در این راستا تعداد تصادفات شدید و غیر شدید در دو مدل مجزا ارائه و از توزیع دومتغیره دوجمله‌ای منفی[3] برای مدل‌سازی تغییرات تصادفی تعداد تصادفات استفاده شد [21].در مطالعه‌ای دیگر کالیندو و همکاران به تحلیل تصادفات شدید (تصادفات جرحی و فوتی) در ۲۶۰ تونل جاده‌ای ایتالیا بر اساس مدل‌های رگرسیونی با پارامترهای تصادفی پرداختند. عوامل مؤثر بر فراوانی تصادفات در طی یک دوره نظارت چهار ساله با استفاده از یک مدل دوجمله‌ای منفی تصادفی (RPNB) مورد بررسی قرار گرفت. به‌طور خاص، یک مدل دوجمله‌ای منفی که در آن عرض از مبدأ و پارامتر رگرسیون هر دو امکان تغییرات تصادفی دارند (RPINB) توسعه داده شد. [23]. هو و همکاران اثر عوامل مختلف بر ایمنی تونل را با استفاده از یک دوره‌ی نظارت چهارساله مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور از سه مدل شامل: مدل دوجمله‌ای منفی با آثار تصادفی[4] (RENB)؛ مدل دوجمله‌ای منفی با پارامترهای تصادفی غیر همبسته[5] (URPNB) و مدل دوجمله‌ای منفی با پارامترهای تصادفی همبسته[6] (CRPNB) استفاده شد. نتایج این سه مدل نشان داد که مدل CRPNB با ارائه‌ی برازش بهتر نه‌تنها قادر به تخصیص بخشی از ناهمگنی مشاهده نشده با پارامترهای مدل تنها بود، بلکه توانست آثار متقابل بین این پارامترها را نیز ارزیابی کند [20].

۳- روش تحقیق

مروری بیشتر بر ادبیات تحقیق نشان می‌دهد که متغیرهای متفاوتی در وقوع تصادفات تأثیرگذارند و برای پیش‌بینی تعداد تصادفات از مدل‌های مختلفی با توجه به داده‌های مورد مطالعه استفاده می‌شود. هنگامی که روابط بین متغیرهای مستقل و پاسخ به‌صورت خطی باشد، رگرسیون خطی ساده‌ترین روش برای مدل‌سازی است. در رگرسیون خطی فرض می‌شود که مجموع خطاها برابر صفر بوده و خطای موجود در یک مشاهده مستقل از خطاهای دیگر است. اما تکیه بر رابطه‌ی خطی در بسیاری از مطالعات،

1 Transition zones
2 Black Hole
3 Bivariate Negative Binomial Distribution

4 Random Effects Negative Binomial Model
5 uncorrelated Random Parameters Negative Binomial Model
6 Correlated Random Parameters Negative Binomial Model

www.SID.ir

Archive of SID

فرضی محدودکننده است. به این معنا که در بسیاری از پدیده‌ها روابط به‌صورت خطی، قابل تعریف نیستند. استفاده از مدل رگرسیون خطی در پیش‌بینی متغیرهای شمارشی نیز دارای محدودیت‌هایی است. در این مدل فرض شده است که متغیر وابسته از توزیع نرمال پیروی می‌کند، درحالی‌که فراوانی متغیر وابسته می‌تواند از این ویژگی برخوردار نباشد. همچنین با توجه به بازه پیش‌بینی رگرسیون خطی از منفی بی‌نهایت تا مثبت بی‌نهایت، ممکن است مقادیر منفی را برای فراوانی متغیر وابسته تخمین بزند.

پیشرفت‌های آماری سال‌های اخیر در زمینه مدل‌سازی تصادفات شامل تحلیل‌های رگرسیونی به کمک مدل‌های خطی تعمیم‌یافته[1] و مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته[2]، مسیر جدیدی را برای شناسایی روابط پیچیده‌تر بین متغیرهای مستقل و وابسته آشکار نموده است.

۳-۱- مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM)

از آنجا که داده‌های فراوانی تصادفات دارای ماهیت تصادفی[3]، گسسته[4] و نامنفی[5] هستند، از این‌رو اغلب از مدل‌های خطی تعمیم‌یافته برای بررسی ارتباط بین فراوانی تصادفات و عوامل مؤثر بر وقوع آن استفاده می‌شود [24].

مدل خطی تعمیم‌یافته بسط مدل خطی کلاسیک را به‌صورت رابطه (۱) ارائه می‌دهد:

$$g(\mu) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{m} \beta_i x_i + \varepsilon_i \qquad (۱)$$

که در آن β_iها ضرایب برآورد شده‌ی مدل رگرسیون و x_iها متغیرهای توضیحی هستند. این مدل از سه جزء اصلی تشکیل‌یافته است:

- توزیعی برای متغیر پاسخ y، که معمولاً از خانواده نمایی (پواسون، دوجمله‌ای منفی و ...) است.
- پیشگوکننده‌های خطی $\boldsymbol{X}$ بر اساس متغیرهای مستقل که به‌صورت رابطه‌ی (۲) است:

$$\mu = \boldsymbol{X}\beta \qquad (۲)$$

- تابع پیوند g که اکیداً یکنواست و دو مؤلفه‌ی بالا را مطابق رابطه‌ی (۳) به هم ارتباط می‌دهد:

$$\mu = g([Y]) = \boldsymbol{X}\beta \qquad (۳)$$

داده‌های تصادفات به دلیل واریانس‌های نامشخص مرتبط با متغیرهای مشاهده‌شده یا غیرقابل مشاهده، به‌طور معمول پراکندگی بیش از حد را نشان می‌دهند [25].

توزیع دوجمله‌ای منفی، توزیع گسسته‌ای است که برای داده‌های با پراکندگی زیاد مانند داده‌های شمارشی بسیار پرکاربرد است. در صورت عدم تساوی بین میانگین و واریانس متغیر وابسته در مجموعه داده‌های مورد مطالعه، استفاده از مدل شمارشی رگرسیون پواسون مناسب نیست. مدل دوجمله‌ای منفی به‌عنوان یک حالت خاص از مدل مختلط پواسون-گاما، نوعی از مدل پواسون است که برای مقابله با داده‌های بیش از حد پراکنده طراحی شده است. مدل دوجمله‌ای منفی، نسبت به محدودیت برابری میانگین و واریانس در مدل پواسون، منعطف است. در مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی، y_i مشاهده iام متغیر وابسته، دارای توزیع احتمال مطابق رابطه‌ی (٤) است:

$$p(y_i) = \frac{\Gamma(y_i + r)}{y_i!\,\Gamma(r)}\left[\frac{\mu_i}{\mu_i + r}\right]^{y_i}\left[\frac{r}{\mu_i + r}\right]^{r} \qquad (٤)$$

در این مدل فرض می‌شود که پارامتر پواسون، λ_i، از توزیع احتمال گاما پیروی می‌کند. متداول‌ترین شکل تابع پیوند به‌صورت لگاریتم خطی مطابق رابطه‌ی (۵) است:

$$\log(\lambda_i) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_m x_m + \varepsilon_i \qquad (۵)$$

که در آن $\mathrm{EXP}(\varepsilon_i)$ بخش خطای دارای توزیع گاما است و سایر متغیرها مطابق قبل تعریف می‌شوند. اضافه کردن این بخش اجازه می‌دهد که میانگین نمونه متفاوت از واریانس نمونه باشد. میانگین و واریانس شرطی توزیع دوجمله‌ای منفی به ترتیب با روابط (٦ - ۷) بیان می‌شوند:

$$E(y_i|x_i) = \mu_i = e^{x_i\beta} \qquad (٦)$$

$$Var(y_i|x_i) = \mu_i + \frac{{\mu_i}^2}{r} \qquad (۷)$$

بنابراین واریانس توزیع دوجمله‌ای منفی همواره بزرگتر از میانگین آن است. از این‌رو برای داده‌های با واریانس بزرگتر از میانگین (بیش پراکنده)، توزیعی مناسب است. در

1 Generalized Linear Models (GLMs)
2 Generalized Additive Models (GLMs)
3 Random
4 Discrete
5 Non-Negative

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل رگرسیون دوجمله‌ای منفی علاوه‌بر ضرایب رگرسیون، باید پارامتر پراکندگی ($\alpha = \frac{1}{r}$) را نیز برآورد کرد. برای برآورد ضرایب رگرسیون در مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی نیز از روش درستنمایی بیشینه استفاده می‌شود [26].

۳-۲- مدل جمعی تعمیم‌یافته (GAM)

مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته توسط Hastie و Tibshirani در سال ۱۹۹۰ میلادی توسعه یافتند. به‌طورکلی مدل جمعی تعمیم‌یافته، نتایج حاصل از مدل‌های خطی تعمیم‌یافته را نیز پوشش می‌دهد. مدل جمعی تعمیم‌یافته علاوه‌بر شناسایی روابط خطی، توانایی کشف روابط غیرخطی بین متغیرها را نیز دارد. به‌عبارت‌دیگر مدل جمعی تعمیم‌یافته برای کشف روابط موجود، قادر به ضعیف کردن فرضیات مدل به‌وسیله جایگزینی هموارسازهای ناپارامتری است. به این معنا که این مدل با اطلاعات بیشتری از روابط بین داده‌ها، کیفیت پیش‌بینی پاسخ را به حداکثر می‌رساند. علاوه‌بر آن مدل جمعی تعمیم‌یافته نسبت به مدل خطی تعمیم‌یافته، پاسخ‌ها را با دقت بالاتری پیش‌بینی می‌کند [27].

در مدل جمعی تعمیم‌یافته از آنجا که اثر هر متغیر به‌صورت جداگانه بیان می‌شود، بنابراین هر تابع می‌تواند برای آزمون نقش متغیرها در پیشگویی متغیر پاسخ به‌صورت جداگانه رسم شود. همچنین منحنی پاسخ توسط شکل‌های موجود در کلاس پارامتری محدود نمی‌شود، بلکه مدل اجازه می‌دهد تا داده‌ها شکل منحنی پاسخ را تعیین کنند. در واقع تفاوت اساسی مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته با مدل‌های خطی تعمیم‌یافته، توابع هموارساز نامعلومی است که قابلیت جمع‌پذیری داشته و جایگزین شکل خطی $\sum_{i=1}^{m}\beta_i x_i$ در مدل‌های خطی تعمیم‌یافته شده است [28]. مدل جمعی تعمیم‌یافته فرم پارامتری متغیرهای توضیحی را در مدل خطی به فرم ناپارامتری بسط می‌دهد. رابطه (۸) بسط کلی مدل جمعی تعمیم‌یافته را نشان می‌دهد:

$$g(\mu) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{m} f_i(x_i) + \varepsilon_i \qquad (۸)$$

که در آن g، تابع پیوند از خانواده نمایی، f_iها توابع هموارساز نامعلوم به ازای هر متغیر توضیحی x_i و ε ترم خطای مستقل از متغیرهای توضیحی با میانگین صفر و واریانس σ^2 است. توابع ناپارامتری $f_i(x_i)$ با استفاده از رویکردهای انعطاف‌پذیر مانند هموارساز اسپلاین درجه سه[1]، طی یک روش تکراری که الگوریتم برگشت‌پذیری[2] نام دارد، تخمین زده می‌شوند. اگر هموارسازهای ناپارامتری f_i, به ازای $i = 1, \dots, p$ هموارسازهای اسپلاین باشند، f_i می‌تواند به وسیله روش حداقل مربعات جریمه‌شده[3] برآوردشود [27].

۳-۲-۱ هموارسازی

هموارسازی[4] یکی از اهداف اصلی رگرسیون‌های ناپارامتری برای توصیف روند متغیر وابسته y به عنوان تابعی از متغیرهای مستقل $x_1, x_2, \dots, x_m$ است. مهم‌ترین ویژگی هموارسازی ماهیت ناپارامتری آن است. به همین دلیل توابع هموار به‌عنوان توابع ناپارامتری نیز شناخته می‌شوند. بنابراین فرآیند تخمین نه فقط با یک تابع ناشناخته‌ی تنها، بلکه با استفاده از مجموع توابع هموار (برای هر متغیر ورودی یک تابع) صورت می‌گیرد که مبنای الگوریتم مدل خطی تعمیم‌یافته است [27].

۳-۲-۲ هموارساز اسپلاین درجه سه

اسپلاین‌های رگرسیون، اسپلاین‌هایی هستند که بر طبق یک مدل رگرسیون محاسبه می‌شوند. در این روش دامنه‌ی متغیر پیشگو به بازه‌های مناسب تقسیم‌شده و برازش روی هر بازه صورت می‌پذیرد. در واقع اسپلاین‌ها قطعات چندجمله‌ای از درجه‌ی k هستند که نقاط مشترک این قطعه‌ها، گره[5] نام دارد.

فرض کنید مقادیر داده‌ها دارای یک بازه‌ی متناهی بین [۰,۱] باشد، در این صورت اسپلاین برازش شده جواب مسئله‌ی بهینه‌ی رابطه‌ی (۹) است:

1 Cubic Spline Smoother
2 Back Fitting Algorithm
3 Penalized Least-Squares
4 Smoothing
5 Knots

www.SID.ir

Archive of SID

$$S(f)=\sum_{i=1}^{n}[y_i-f(x_i)]^2+\lambda\int_a^b[f''(x)]^2dx \qquad (۹)$$

که در آن λ یک مقدار ثابت و نامنفی به نام پارامتر هموارساز و $a\le x_1\le\cdots\le x_n\le b$ است. اسپلاین درجه سه، شکلی از برازش چندجمله‌ای قطعه قطعه[1] با درجه‌ی سه است، به‌طوری‌که در بیشتر مطالعات $k=3$ مقدار مناسبی عنوان‌شده است. تابع f که مینیمم کننده $S(f)$ است، تابع اسپلاین نامیده می‌شود. قسمت دوم یک عبارت جریمه‌شده برای فقدان هموار بودن است که بر اساس خاصیت مشتق دوم توجیه‌پذیر است. همچنین λ پارامتری مثبت مقدار بوده که میزان هموارسازی را کنترل می‌کند. بنابراین اگر λ خیلی بزرگ باشد، ناهمواری سهم کمتری را در مقدار $S(f)$ داشته و در نتیجه منحنی، انحنای کمتری خواهد داشت. اگر مقدار λ به بی‌نهایت میل کند در آن صورت عبارت $\int_a^b[f^n(x)]^2dx$ به صفر میل می‌کند و تابع f خط رگرسیون خواهد بود (هموارترین حالت). در مقابل اگر λ خیلی کوچک باشد، مجموع مربعات خطا (قسمت اول عبارت) سهم اصلی را در $S(f)$ دارد و برآورد منحنی f تا حد زیادی بر اساس روند داده‌ها مشخص می‌شود [27].

۳-۲-۲ پارامتر هموارساز

پارامتر هموارساز λ، بین برازش خوب داده‌ها در مقابل انعطاف‌پذیری تابع، تعادل ایجاد می‌کند. مقادیر بزرگتر λ، منحنی‌های هموارتری را ارائه می‌دهد درحالی‌که مقادیر کوچکتر آن منحنی‌های ناهموارتری تولید می‌کند. به‌منظور حداقل نمودن هموارساز اسپلاین نیاز به انتخاب پارامتر هموارسازی است، که یکی از روش‌های متداول آن روش اعتبارسنجی متقابل تعمیم‌یافته[2] (GCV) است [۲۷]. در این روش تابع هموارساز به‌صورت خطی و به فرم $\hat{f}=Sy$ در نظرگرفته می‌شود که در آن S یک ماتریس مربعی از بعد پیش‌بین‌ها بوده و ماتریس هموارگر نام دارد. بنابراین برای حالتی که تابع اسپلاین بر حسب λ تعریف گردد مطابق رابطه‌ی (۱۰) داریم:

$$\hat{f}_\lambda=S_\lambda y \qquad (۱۰)$$

اگر S_{ii} را با میانگین تمام مؤلفه‌های قطری جایگزین کنیم، معیار اعتبارسنجی متقابل تعمیم‌یافته مطابق رابطه (۱۱) به‌دست می‌آید:

$$GCV(\lambda)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{y_i-\hat{f}_\lambda(x_i)}{1-\frac{trS}{n}}\right]^2 \qquad (۱۱)$$

که n حجم نمونه و trS ترانهاده ماتریس مؤلفه‌های هموارساز است.

٤- داده‌ها و روش پژوهش

در این بخش به معرفی تونل رسالت، چگونگی گردآوری داده‌ها و فرآیند مدل‌سازی می‌پردازیم

۴-۱- معرفی مطالعه موردی

تونل رسالت تهران اولین تونل شهری ایران است که در سال ۱۳۸۵ به بهره‌برداری رسید. تونل‌های بلند به طول حدود ۸۵۰ متر، ارتفاع ۹ متر، عرض دهنه ۱۳ متر، برای ۳ خط حرکتی مجزا و تونل‌های کوتاه به طول حدود ۱۶۰ متر، ارتفاع ۹ متر، عرض دهنه ۱۳ متر، برای ۳ خط حرکتی مجزا طراحی شده‌اند. این تونل‌ها شامل چهار مجرای شرقی-غربی هستند. مسیرهای حرکت وسایل نقلیه در باند شمالی مجزا از باند جنوبی و در مجراهای جداگانه صورت می‌پذیرد. محدودیت سرعت در بزرگراه‌های ورودی به تونل ۸۰ کیلومتر در ساعت و در داخل تونل ۶۰ کیلومتر در ساعت است. فضای بین تونل‌های شرقی و غربی در دره نظامی گنجوی حدود ۲۰۰ متر طول دارد.

سامانه‌های ترافیکی تونل شامل سامانه های ترددشماری و نظارت تصویری است. سامانه ترددشماری به‌منظور جمع آوری اطلاعات و پارامترهای ترافیکی از سطح معبر ورودی تونل از قبیل: حجم سرعت و درصد اشغال و سیستم نظارت تصویری نیز به‌منظور مدیریت جریان ترافیک و ثبت وقایع از جمله تصادفات رخ داده در داخل تونل مورد استفاده قرارگرفته است. پلان کلی تونل‌های کوتاه و بلند در شکل(۱) نشان داده‌شده است.

1 Piecewise Polynomial Fit
2 Generalized Cross Validation

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱. محدوده تونل رسالت

Fig 1. Resalat Tunnel study length

۴-۲- جمع‌آوری و پردازش اطلاعات

داده‌های ترافیکی و تصادفات در این مطالعه از مرکز کنترل و ترافیک شهرداری تهران دریافت شد. این داده‌ها شامل حجم، سرعت، درصد وسایل نقلیه سنگین، مدت اشغال بودن تونل، تعداد تصادفات خسارتی و جرحی به همراه محل وقوع تصادف در طول سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ است. این داده‌ها به تفکیک روز بوده و در طول روز میانگین‌گیری و پالایش شده‌اند. پس از حذف داده‌های گمشده و پرت مربوط به متغیرهای مختلف، داده‌های ترافیکی ۲۱۷۰ روز به همراه تعداد ۱۰۴۷ تصادف مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از انجام آزمون همبستگی در نهایت از میان متغیرهای اندازه-گیری شده؛ لگاریتم حجم ترافیک روزانه، فراوانی وسایل نقلیه سنگین و اختلاف میانگین سرعت روزانه‌ی وسایل‌نقلیه عبوری از تونل نسبت به محدودیت سرعت بزرگراه به‌عنوان متغیرهای مستقل و تعداد تصادفات در روز به‌عنوان متغیر وابسته مورد تحلیل قرار گرفتند.

جدول ۱. آمار توصیفی متغیرهای مستقل و متغیر وابسته

Variable	Min	Max	Mean	Var
Crash	0	6	0.48	0.79
LogDT	20	63.66	0.97	0.04
HV	0.38	4.54	1.53	0.71
DFHS	20	63.66	41.43	98.98

Table 1. Descriptive statistics of independent and dependent variables

برای شناخت اولیه در خصوص متغیرهای مستقل و متغیر وابسته، آمار توصیفی متغیرها در جدول (۱) ارائه‌شده است. بیشتر بودن واریانس تعداد تصادفات نسبت به میانگین آن، احتمال پیش‌پراکندگی داده‌ها را نشان می‌دهد. به همین دلیل برای تحلیل فراوانی تصادفات از توزیع دوجمله‌ای منفی استفاده شد.

۴-۳- مدل‌سازی

برای مدل‌سازی داده‌های تصادفات در نواحی دسترسی و ورودی تونل، ابتدا مدل دوجمله‌ای منفی خطی تعمیم‌یافته برازش داده شد. نتایج برازش مدل خطی تعمیم‌یافته در جدول (۲) ارائه‌شده است.

جدول ۲. نتایج پرداخت مدل دوجمله‌ای منفی

	Estimate	Std.Error	z-score	p-value
Const	-4.846	0.746	-6.5	0.000
LogDT	1.986	0.768	2.585	0.009
HV	0.389	0.045	8.672	0.000
DFHS	0.034	0.005	7.270	0.000

Table 2. Negative binomial model calibrartion results

بر اساس نتایج به‌دست آمده اثر متغیرهای LogDT، HV و DFHS بر فراوانی تصادفات در تونل‌ها معنی‌دار شناخته شد ($p<۰/۰۵$). مقدار ضریب بیش‌پراکنش مدل نیز ۱/۰۸۳ به‌دست آمد که پس از مقایسه مقدار آزمون نسبت درست‌نمایی (۲۲۵/۳۹) با مقدار آماره‌ی توزیع خی دو (۱۳۸/۳۹) ، معناداری ضریب بیش‌پراکنش تأیید شد.

در ادامه مدل دوجمله‌ای منفی جمعی تعمیم‌یافته بر روی داده‌های موجود برازش داده شد. برای این منظور پس از بارگیری بسته‌ی mgcv و mass در نرم‌افزار R، از تابع gam به‌عنوان مدل منتخب و تابع s به‌عنوان هموارسازی استفاده شد. با وجود یک پیش‌فرض اولیه، می‌توان در داخل تابع gam نیز نوع هموارساز را مشخص نمود. برای این منظور از مخفف CR[1] که بیانگر رگرسیون هموارساز درجه سه است، استفاده شد.

نتایج برازش مدل جمعی تعمیم‌یافته و مؤلفه‌های

1 Cubic Regression Splines

www.SID.ir

Archive of SID

هموارساز اسپلاین در جدول (۳ – ٤) در قالب دو بخش پارامتریک و ناپارامتریک ارائه‌شده است.

جدول ۳ .نتایج پرداخت بخش پارامتریک مدل جمعی تعمیم‌یافته

	Estimate	Std.Error	z-score	p-value
Const.	-0.919	0.000	-21.63	0.000

Table 3. Calibrartion results of the parametric generalized additive model

جدول ٤. نتایج پرداخت بخش پارامتریک مدل جمعی تعمیم‌یافته

	p-value	Chi.sq	Edf
LogDT	0.105	2.635	1.00
HV	0.000	81.608	3.118
DFHS	0.000	54.497	1.00

Table 4. Calibrartion results of the parametric generalized additive model

مطابق جدول (٤) بعد از تخصیص مناسب درجه آزادی به متغیرهای توضیحی توسط نرم‌افزار، مشاهده می‌شود که متغیر لگاریتم حجم روزانه معنی‌دار نشده است (p>۰/۰۵). اما متغیرهای فراوانی وسایل نقلیه سنگین و اختلاف میانگین سرعت روزانه وسایل‌نقلیه عبوری از تونل نسبت به محدودیت سرعت بزرگراه معنی‌دار شناخته شدند (p<۰/۰۵).

درجه‌ی آزادی یک در جدول (٤) بیانگر آن است که عبارت هموارسازی به‌صورت خطی آزمون می‌شود. بنابراین با توجه به درجه‌ی آزادی یک و مقدار احتمال متغیر لگاریتم حجم روزانه (p>۰/۰۵) روند خطی این متغیر با متغیر پاسخ رد می‌شود. همچنین مقدار احتمال متغیر اختلاف میانگین سرعت روزانه وسایل‌نقلیه عبوری از تونل نسبت به محدودیت سرعت بزرگراه (p<۰/۰۵)، روند خطی این متغیر با متغیر پاسخ را تأیید می‌کند. درجه‌ی آزادی غیر یک در جدول نیز گرایش غیرخطی متغیر مورد بررسی با متغیر پاسخ را نشان می‌دهد. با توجه به مقدار احتمال (p<۰/۰۵)، می‌توان گرایش غیرخطی از درجه سه برای متغیر فراوانی وسایل نقلیه سنگین با متغیر پاسخ را پذیرفت.

شکل (۲) توابع هموارساز و بازه‌ی اطمینان ۹۵٪ را برای متغیرهای فراوانی وسایل‌نقلیه سنگین و اختلاف میانگین سرعت روزانه وسایل‌نقلیه عبوری از تونل نسبت به محدودیت سرعت بزرگراه را نشان می‌دهد.

شکل ۲. توابع هموارساز برآوردشده برای متغیرهای HV و DFHS برای پیش‌بینی فراوانی تصادفات

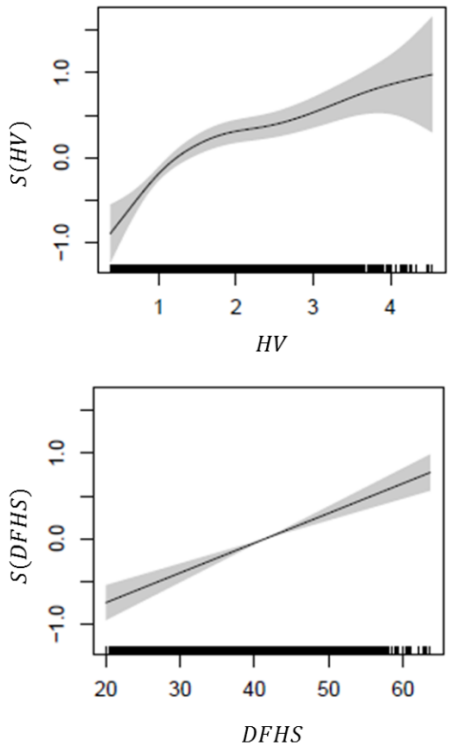

Fig. 2. Estimated smoother functions for HV and DFHS variables for predicting the frequency of accidents

با توجه به شکل (۲) گرایش خطی متغیر DFHS و گرایش غیرخطی از درجه سه متغیر HV با متغیر پاسخ قابل مشاهده است که مؤید نتایج جدول (٤) است. نتایج ارزیابی خوبی برازش مدل‌ها و مقایسه آن‌ها با یکدیگر در جدول (۵) ارائه‌شده است.

جدول ۵. ارزیابی معیارهای برازش مدل‌های خطی تعمیم‌یافته و جمعی تعمیم‌یافته

Models	AIC	ρ^2
GLM (Negative Binomial)	3830	0.056
GAM (Negative Binomial)	3823	0.099

Table. **5.** Evaluation of fitting criteria of generalized and additive generalized linear modeling models

بر این اساس مقادیر خوبی برازش اصلاح‌شده مدل جمعی تعمیم‌یافته بیشتر از مدل‌های خطی تعمیم‌یافته است.

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین مقایسه مقدار معیار اطلاعاتی آکائیک برای مدل‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که مدل جمعی تعمیم‌یافته دارای کمترین مقدار AIC بوده و مدل مناسب‌تری نسبت به مدل خطی تعمیم‌یافته برای تحلیلی فراوانی تصادفات است.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

ایجاد فضاهای زیرزمینی و استفاده از تونل‌های شهری بدون درنظرگرفتن ایمنی ترافیک عبوری از آن، نه‌تنها مفید و مؤثر واقع نمی‌شود، بلکه ممکن است بهره‌برداری از این منبع عظیم و گران‌قیمت را برای نسل‌های آتی با چالش بزرگ مواجه کند و خود عاملی در جهت رشد تصادفات ترافیکی و افزایش آثار سوء آن بر پیکره جامعه شود. محدودیت فضای داخلی تونل‌های شهری، عدم امکان مانور وسایل‌نقلیه، اختلال در جریان ترافیک در صورت بروز حادثه و شرایط خاص امدادرسانی به حادثه دیدگان از جمله مواردی است که ضرورت پرداختن به بحث ایمنی ترافیک در تونل‌های شهری و شیوه‌های صحیح مدیریت آن را آشکار می‌سازد.

مطابق مطالعات انجام‌گرفته در ادبیات تحقیق نواحی دسترسی و ورودی تونل‌ها به دلیل تغییرات محیطی و ترافیکی ایجادشده از اهمیت بیشتری نسبت به سایر نواحی برخوردارند [19 , 15].

به همین منظور در مطالعه حاضر به بررسی تصادفات رخ‌داده در نواحی دسترسی و ورودی تونل رسالت با استفاده از داده‌های ترافیکی دریافتی از مرکز کنترل و مدیریت تونل‌های شهری تهران در طول سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱پرداخته شد.

متغیرهای لگاریتم حجم ترافیک روزانه، فراوانی وسایل نقلیه سنگین و اختلاف میانگین سرعت روزانه‌ی وسایل‌نقلیه عبوری از تونل نسبت به محدودیت سرعت بزرگراه به‌عنوان متغیرهای مستقل و تعداد تصادفات در روز به‌عنوان متغیر وابسته مورد بررسی قرار گرفتند. اما از آنجا که هدف اصلی پژوهش شناسایی عوامل مؤثر بر فراوانی تصادفات با مقایسه‌ی دو مدل خطی تعمیم‌یافته و جمعی تعمیم‌یافته بود، در هر دو مدل از داده‌های پیوسته استفاده شد.

با برازش مدل خطی تعمیم‌یافته، ارتباط خطی هر سه متغیر ترافیکی لگاریتم حجم روزانه، فراوانی وسایل‌نقلیه سنگین (درصد) و اختلاف میانگین سرعت روزانه وسایل‌نقلیه عبوری از تونل نسبت به محدودیت سرعت بزرگراه با فراوانی تصادفات در نواحی دسترسی و ورودی تونل معنی‌دار شناخته شد. همچنین پس از برازش مدل جمعی تعمیم‌یافته، متغیر لگاریتم حجم معنی‌دار نشد درحالی‌که اثر متغیرهای فراوانی وسایل‌نقلیه سنگین (درصد) با تابعی درجه سه و اختلاف میانگین سرعت روزانه وسایل‌نقلیه عبوری از تونل نسبت به محدودیت سرعت بزرگراه با تابعی خطی روی فراوانی تصادفات معنی‌دار بود. این نتایج در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد:

۱- نتایج حاصل از مدل خطی تعمیم‌یافته نشان داد که متغیر لگاریتم حجم روزانه تأثیر معنی‌داری بر افزایش وقوع تصادفات در نواحی دسترسی و ورودی تونل دارد. این درحالی است که ضریب متغیر حجم روزانه در مدل جمعی تعمیم‌یافته معنادار نبود. نتایج متفاوتی از تأثیر حجم ترافیک بر تعداد تصادفات ارائه‌شده است. برخی پژوهشگران بیان داشتند که افزایش حجم ترافیک در شرایط خلوتی می‌تواند منجر به تصادفات بیشتر شود، درحالی‌که برخی دیگر رابطه‌ی منفی نرخ تصادفات با حجم را به اثبات رساندند [20]. بنابراین می‌توان این‌گونه بیان داشت که در شرایط جریان آزاد با افزایش ترافیک، رانندگان همچنان از آزادی زیادی برای تغییر خط و سبقت‌گیری برخوردارند، که ممکن است با افزایش خطر تصادف همراه باشد، درحالی‌که در شرایط تقریباً متراکم، هنگام افزایش ترافیک آزادی حرکتی رانندگان محدودتر می‌شود و در نتیجه ممکن است با کاهش خطر تصادف همراه باشد.

۲- نتایج حاصل از تحلیل مدل‌های خطی تعمیم‌یافته و مدل جمعی تعمیم‌یافته حاکی از اثر معنادار و مثبت این متغیر فراوانی وسایل نقلیه سنگین بر افزایش وقوع تصادفات در نواحی دسترسی و ورودی تونل داشت. با اشاره به تأثیر کامیون ها در جریان ترافیک، مطالعات محدودی نشان دادند که با افزایش درصد کامیون‌ها تعداد تصادفات کاهش می‌یابد، درحالی‌که اغلب مطالعات بیانگر افزایش تصادفات در اثر

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش درصد کامیون‌ها بودند [14، 20 , 22]

به‌طورکلی با افزایش ترافیک و درصد کامیون‌ها اغلب تصادف بیشتری انتظار می‌رود اما این امر همیشگی نیست و به شرایط ترافیکی جریان آزاد یا تقریباً اشباع بستگی دارد. با افزایش درصد کامیون‌ها در شرایط جریان آزاد، تناوب و تکرار حرکات تغییر خط و سبقت‌گیری به دلیل افزایش تعداد اتومبیل بیشتر می‌شود که می‌تواند یکی از دلایل افزایش تصادفات در مقایسه با شرایط ترافیکی تقریباً متراکم (اشباع) باشد.

۳- نتایج حاصل از تحلیل مدل‌های خطی تعمیم‌یافته و مدل جمعی تعمیم‌یافته حاکی از اثر معنی‌داری و مثبت این متغیر اختلاف میانگین سرعت روزانه وسایل‌نقلیه عبوری از تونل نسبت به محدودیت سرعت بزرگراه بر افزایش وقوع تصادفات در نواحی دسترسی و ورودی تونل رسالت است. اگرچه این متغیر تاکنون در پژوهش‌های اخیر مورد بررسی قرار نگرفته است اما مطالعات متعددی اثر مثبت سرعت بر تصادفات را به اثبات رسانده‌اند[13، 14 , 19].

به‌طورکلی رانندگانی که با سرعت بالا به تونل نزدیک می‌شوند در معرض خطر تصادف بسیار بالاتری قرار دارند. نوسانات سرعت ایجادشده هنگام ورود به تونل‌ها برای هماهنگی با شرایط محیطی تونل مانند شرایط روشنایی، می‌تواند یکی از عواملی باشد که تأثیر مخربی بر ایمنی ترافیک عبوری از تونل دارد.

در نهایت پس از مقایسه مدل خطی تعمیم‌یافته و جمعی تعمیم‌یافته با استفاده از معیار خوبی برازش و معیار آکائیک، مدل جمعی تعمیم‌یافته برازش بهتری را برای تخمین متغیر وابسته تعداد تصادفات ارائه نمود. بنابراین در هر پژوهشی که از مدل‌های خطی تعمیم‌یافته برای تعیین روابط بین متغیرها استفاده می‌شود، می‌توان مدل جمعی تعمیم‌یافته را نیز به‌کار برد. به این ترتیب کیفیت پیش‌بینی متغیر پاسخ را به حداکثر رسانده و روابط غیرخطی و غیریکنواخت بین متغیر پاسخ و مجموعه متغیرهای پیشگو را کشف نمود.

۷- مراجع References

[1] Sasaki, K., Nishii, K., “Measurement of intention to travel: Considering the effect of telecommunications on trips”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(1), 2010, 36–44.

[2] Jian Sheng Yeung, Yiik Diew Wong, Road traffic accidents in Singapore expressway tunnels, Tunneling and Underground Space Technology, 38, 2013, 534–541.

[3] UN Report, 2014 “World’s population incrisingly urban with more than half living in urban areas”, Revision of the World Urbanization Prospects, accessed November 2014 at: www.un.org/en/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html.

[4] Kaliampakos, D., Benardos, A.. Mavrikos, A., 2016. “A review on the economics of underground space utilization”, Tunnelling and Underground Space Technology, 55, pp. 236-244.

[5]) www.irta.ir(

[6]) www.who.org(

[7] Bassan , S., 2017. " Sight distance and horizontal curve aspects in the design of road tunnels vs. highways: Part II (trucks)", Tunnelling and Underground Space Technology, 70, PP. 422–434.

[8] Schlosser, F., Rázga, M., Danišovi, P., 2014. “Risk Analysis in Road Tunnels”, XXIII R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (23RSP) (TFoCE 2014), Procedia Engineering, 91, pp. 469 – 474.

[9] Kirytopoulos, K., Konstandinidou, M., Nivolianitou, Z., Kazaras, K., 2014, “Embedding the human factor in road tunnel risk analysis”, Process Safety and Environmental Protection, 92, pp. 329-337.

[10] PIARC (1995), *Road Safety in Tunnels 05.04.B*. Technical Committee C5..

[11] PIARC (2008), TM2008R02-WEB, *Risk Analysis for Road Tunnels*, Technical Committee C3.3 Road Tunnel Operation,

[12] PIARC (2008), ISBN 2-84060-218-0, *Human factors and road tunnel safety regarding users*, PIARC Technical Committee C3.3, Road Tunnel Operation.

[13] Huang, H., Peng, Y., Wang, J., Luo, Q., Li, X., 2018. “Interactive risk analysis on crash injury severity at a mountainous freeway with tunnel groups in China”, Accident Analysis and Prevention, 111, pp. 56–62.

[14] Xing, Y., Lu, J., Wang, C., 2015. “Single Vehicle Traffic Accidents in Shanghai River-crossing Tunnels”, Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC 2015).

[15] Lemke K, "Road safety in tunnel", *Transportation Research Record 1740*, 2000, 00-0155.

[16] Meng, Q., and Qu, X. "Estimation of rear-end vehicle crash frequencies in urban road tunnels", Accident Analysis and Prevention, 48, 2012, 254-263.

[17] Bassan, S., 2016. “Overview of traffic safety aspects and design in road tunnels”, IATSS Research, 40, pp. 35–46.

[18] Lu, L., Lu, J., Xing, Y., Wang, C., Pan, F., 2014. “Statistical analysis of traffic accidents in Shanghai River crossing tunnels and safety countermeasures”,

www.SID.ir

Archive of SID

[23] Caliendo, C., Gugliemo, M., Guida, M., 2015. "Comparison and analysis of road tunnel traffic accident frequencies and rates using random-parameter models", Journal of Transportation Safety & Security, 8, pp 177-195.
[24] Zhang, Y., Xie, Y., Li, L., 2012. "Crash frequency analysis of different types of urbanroadway segments using generalized additive model". Accident Analysis & Prevention. 43,pp. 107–114.
[25] Lord, D., Park, P.Y., 2008. "Investigating the effects of the fixed and varyingdispersion parameters of Poisson-gamma models on empirical Bayesestimates", *Accident Analysis & Prevention*, 40, pp. 1441–1457.
[26] Agresti, A., 2002. "Categorial Data Analysis: Case Study - Negative Binomial Regression", Wiley, Nascar Lead Changes 1975-1979.www.nascar.com.
[27] Hasti, T., Tibshirani R.,. "Generalized Additive Model", Chapman & Hall/CRC,First edition 1990.
[28] Guisan, A., CedwardsJr, T., Hastie, T., 2002. "Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene", Ecological Modelling, 157, pp. 89-100.
Discrete Dynamics in Nature and Society, Hindawi Publishing Corporation, pp. 1–7.
[19] Ma, Z-L., Chun-fu Shao, C-F., Sheng-rui Zhang, S-R., 2009. "Characteristics of traffic accidents in Chinese freeway tunnels", Tunnelling and Underground Space Technology. 24, pp. 350–355.
[20] Hou, Q., Tarko, A., Meng, X., 2018. "Analyzing crash frequency in freeway tunnels: A correlated random parameters approach", Accident Analysis and Prevention, 111, pp. 94-100.
[21] Caliendo C, De Guglielmo ML, Guida M "A crash-prediction model for road tunnels" Accident Analysis & Prevention, 55, 2013, 107–115.
[22] Jing, L., 2017. "Safety Analysis of Urban River-crossing Tunnels Based on VISSIM", Journal of Engineering Science and Technology Review, 10, pp. 31- 36.

www.SID.ir

Archive of SID

Analysis of Traffic Factors Affecting the Accidents in the Urban Tunnel Entry Areas (Case Study: Resalat Tunnel)

H.Hassanpour[1], B. Shirgir[2*]

1- M.Sc. Graduated, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran
2- Assist. Prof., Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran

*** Shirgir@khu.ac.ir**

Abstract

The development of underground spaces and its benefits encompass all sectors of society. Because of its enclosed space, the safety of traffic passing through urban tunnels is very important. Recent years of statistical progress in accident modeling, including regression analysis with generalized linear models and generalized additive models, considered a new approach to identifying more complex relationships between independent and dependent variables. Despite the high frequency of tunnel crashes, lower than open roads, such as highways and freeways, research has shown that tunnel crashes are more severe. The purpose of this study was to use the Generalized Model as a non - parametric approach to identify traffic factors affecting accident frequency in urban tunnel access and input areas and a parametric approach is to compare results with the generalized linear model. For this purpose, the accident data was received from the Tehran City Tunnel Control and Management Center during the three consecutive years (2010 to 2012) along with traffic data. There are teleservice systems and video surveillance in tunnel traffic systems. The traffic system is used to collect information and traffic parameters from tunnel entry level, such as: velocity and occupancy rate, and video surveillance system, to manage traffic flow and record events, including accidents occurring inside the tunnel. Data in this paper including records of 1047 accidents in the tunnel's access and entry areas. Traffic volume, heavy vehicle percentage and speed deviation from the speed limit of the highway as the independent variables were selected. Based on the results of the generalized linear model, the linear effect of daily traffic volume, percentage of heavy vehicles and daily average speed deviation from speed limit was reported Meaningful in crash model frequency. However, the three - degree and first - order relationship for the heavy vehicle percent and daily average speed deviation was confirmed by the frequency of accidents using the generalized model, in addition to the significance of the daily volume logarithm. The result of comparing generalized and generalized linear model using a good fit criterion and Akaic criterion shows that the generalized additive model is better suited to estimating the frequency of accidents dependent variable. A generalized additive model of superiority of this model was shown by the higher fitting coefficient (0.99) and lower Akaic information criterion (3823) compared to the generalized linear model. Drivers at high speed approaching the tunnel are at higher risk of collisions. The velocity fluctuations generated when entering tunnels to adapt to tunnel environmental conditions, such as lighting conditions, may be one of the factors that adversely affect traffic safety when passing through the tunnel. One accident is often expected with the increase in traffic volume and the percentage of trucks, but this proposition is not true for all situations. With the increase in the percentage of heavy vehicle in free flow conditions, the frequency and repetition of lane changing and overtaking increase, which could be one of the reasons for the increase in accidents compared with almost dense traffic conditions.

Keywords: Urban Tunnels, Accident Frequency, Generalized Linear Model, Generalized Additive Model.

www.SID.ir