یادداشت پژوهشی

پیش‌بینی فراوانی تصادف‌های جرحی در تقاطع‌های چهارشاخه چراغ‌دار

اسماعیل آیتی*، استاد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
مسعود قاسمی نوقابی، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
Email: esmaeel@ayati.co.uk
تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۱ – تاریخ پذیرش: ۸۸/۶/۲

چکیده

تصادفات ترافیکي در تقاطع‌هاي شهري، منجر به هزینه‌هاي گزافي به شکل مرگ، جراحت، از دست رفتن کار و فعالیت و خسارات مالي در جامعه مي‌شود. تقاطع‌ها خصوصاً در مناطق درون‌شهري، یکي از نقاط بحراني ایمني ترافیك و از مراکز تصادفات به حساب مي‌آید؛ اما در ایران به‌نظر نمی‌رسد که تحقیقات گذشته عوامل مؤثر بر فراواني تصادفات در تقاطع‌ها را بررسي کرده باشند و بدین‌جهت پیش‌بیني تأثیر نسبي انواع بهسازي تقاطع‌ها به منظور کاهش فراواني تصادفات و تعیین اولویت سرمایه‌گذاري در پروژه‌هاي بهسازي تقاطع‌ها مشکل است.

هدف از این تحقیق، ایجاد مدل آماري با توزیع دوجمله‌اي منفي براي پیش‌بیني فراواني تصادفات جرحي و تشخیص عوامل اثرگذار بر فراواني تصادفات جرحي در تقاطع‌هاي چراغ‌دار شهرستان مشهد است. براي تعیین بهترین برازش توزیع به داده‌هاي تصادف از آزمون کي-دو استفاده شد و بررسي مناسب بودن برازش مدل از طریق دوبانس/ درجه آزادي و χ^2 پیرسون/درجه آزادي کنترل گردید. معتبرسازي مدل با استفاده از آزمون استیودنت زوج‌شده بررسي شد. با استفاده از فاکتور کاهش تصادفات تأثیر نسبي هر یك از متغیرها بر فراواني تصادفات جرحي مورد بررسي قرار گرفت. نتایج مدل آماري، رابطه مهم بین مشخصات هندسي، عامل کنترل و مشخصات ترافیکي تقاطع‌هاي چراغ‌دار را با فراواني تصادفات آشکار کرد. نتایج نشان داد که ۶ متغیر به میزان قابل ملاحظه‌اي بر ایمني تقاطع‌ها اثر مي‌گذارد. تعداد خطوط عبوري شاخه تقاطع، وجود میانه در شاخه تقاطع، تعداد فازها به ازاي هر سیکل، نوع سیستم کنترل تقاطع، دوربین نظارتي و حجم کل ترافیك شاخه تقاطع، متغیرهایي است که از لحاظ آماري، بر فراواني تصادفات جرحي در تقاطع‌هاي چراغ‌دار اثر مي‌گذارد.

واژه‌های کلیدی: تصادف جرحی، تقاطع‌های چراغدار، مدل دو جمله‌ای منفی

۱. مقدمه

یکی از نتایج نامطلوب و اجتناب‌ناپذیر سیستم حمل‌ونقلی، تصادفات ترافیکی است. تصادفات ترافیکی باعث از دست رفتن جان انسان‌ها، از دست رفتن توانایی کار و تولید در جامعه و سبب جراحات روانی، غم و غصه می‌شود. شدت این تصادفات در کشورهای در حال توسعه بیشتر بوده و تعداد و شدت تصادفات در کشورهای مزبور در مقایسه با کشورهای توسعه یافته چندین برابر است [۱]. به منظور بهبود ایمنی ترافیک، هر جزء سیستم حمل‌ونقلی باید در تحقیقات ایمنی ترافیک مورد توجه قرار گیرد. در این راستا گره‌های شبکه راه‌ها که شامل تقاطع‌هاست نسبت به دیگر اجزاء راه‌ها به این علت که در این نقاط امکان بیشتری برای وقوع تصادفات وجود دارد، در تحقیقات ایمنی، بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرد. یک تقاطع در اصل نقطه‌ای است که سبب تلاقی بین

* نویسنده مسئول

Archive of SID
www.SID.ir

وسایل نقلیه در سیستم راه‌ها و محل برخورد بالقوه آنان است. به علت وجود مانورهای حرکتی مختلف برای رانندگان و عابران پیاده، تقاطع‌ها یکی از پیچیده‌ترین وضعیت‌های ترافیکی است که رانندگان با آن مواجه می‌شوند [۲]. تقاطع‌های هم سطح از جمله مکان‌هایی است که دارای بیشترین فراوانی تصادفات است که بخشی از آن به علت روابط متقابل پیچیده بین کاربران راه با یکدیگر در حوزه تأثیر تقاطع است. هنگام رسیدن به یک تقاطع، کاربران راه مانورهای مختلفی می‌توانند انجام دهند. حرکات مختلف وسایل نقلیه در تقاطع‌ها سبب می‌شود که نقاط برخورد بالقوه زیادی ایجاد شود و در هریک از آن‌ها احتمال وقوع یک تصادف ترافیکی به وجود آید [۳]. تصادفات ناشی از گردش به چپ و عبور از چراغ قرمز، از جمله تصادفات معمول در تقاطع‌هاست. تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که در کشور آمریکا تقریباً ۵۰ درصد کل تصادفات ترافیکی در تقاطع‌ها روی می‌دهد و ۲۵٪ مرگ و میرهای ناشی از تصادفات ترافیکی مربوط به تقاطع‌هاست [۲]. تعداد تصادفات رخ داده در تقاطع‌های شهری نسبت به تقاطع‌های برون‌شهری بیشتر است. تقاطع‌ها، نقاط خطرناک و پیچیده‌ای برای تمام کاربران راه است. اکثر تصادفات رخ داده در نقاط حادثه خیز، در تقاطع‌ها روی می‌دهد [٤]. با توجه به اینکه بخش اعظمی از تصادفات در تقاطع‌ها رخ می‌دهد و نیز هزینه تصادفات ترافیکی ایران (برون شهری و درون‌شهری) که در سال ۱۳۸۳ بالغ بر ۷٦۰۰۰ میلیارد ریال است که حدود ۷٪ تولید ناخالص ملی در سال ۱۳۸۳ است، ضرر هنگفت اقتصادی ناشی از تصادفات وسایل نقلیه که به جامعه وارد می‌شود، مشخص می‌شود. رقم فوق شامل هزینه‌های قابل محاسبه تصادفات وسایل نقلیه موتوری مانند هزینه‌های ناشی از کار و فعالیت از دست‌رفته، هزینه‌های پزشکی، هزینه‌های اداری، خسارت وارده به وسایل نقلیه و هزینه‌های غیر مستقیم مانند ارزش "کیفیت زندگی"، غم و غصه، جراحات روانی و هزینه‌های اجتماعی-فرهنگی و بعضی اقلام دیگر است [۱].

ایمنی در تقاطع‌های چهار شاخه چراغ‌دار در شبکه شهری به‌خصوص در شهرهای بزرگ مسئله حائز اهمیتی است. با توجه به نرخ بالای تصادفات در شهرهای بزرگ کشور از جمله شهر مشهد و معضل ایمنی ترافیک در تقاطع‌های شهری، پیش‌بینی تعداد تصادفات در تقاطع‌های چهار شاخه چراغ‌دار بر اساس متغیرهای مؤثر آن می‌تواند کمک بسزایی در جهت بهبود ایمنی در شبکه معابر و جلوگیری از بروز تصادفات احتمالی باشد. تصادف‌ها در تقاطع‌ها می‌توانند ناشی از عوامل مختلف باشند که هریک از آن‌ها نیازمند ارایه راهکارهای مناسب است. شیوه معمول برای درک رابطه متقابل بین عوامل هندسی - ترافیکی و علل تصادف، ایجاد یک رابطه بین وقوع تصادفات و مشخصات تقاطع‌های چراغ‌دار است.

هدف از این تحقیق، ایجاد مدل آماری پیش‌بینی فراوانی تصادفات جرحی در تقاطع‌های چهار شاخه چراغ‌دار و شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات و چاره‌اندیشی‌های لازم برای کاهش تصادفات جرحی در تقاطع‌های چراغ‌دار است.

در این تحقیق از مدل دو جمله‌ای منفی برای پیش‌بینی فراوانی تصادفات جرحی در هر یک از شاخه‌های تقاطع استفاده شده است. برای مدل‌سازی، لازم است متغیرهای مستقل (پیش‌بینی‌کننده) نشان‌دهنده شرایط شاخه تقاطع باشد. وضعیت شاخه تقاطع با استفاده از متغیرهای هندسی و ترافیکی که می‌توان انتظار داشت بر فراوانی تصادفات اثر بگذارد، مشخص می‌شود. این متغیرها شامل تعداد خطوط عبوری، عرض خطوط عبوری در شاخه تقاطع، وجود خط گردش به چپ ویژه، تعداد، عرض و طول خط گردش به چپ ویژه، وجود فاز گردش به چپ محافظت شده، وجود خط گردش به راست ویژه، تعداد، عرض و طول خط گردش به راست ویژه، وجود میانه، فاصله ایستگاه اتوبوس تا تقاطع، یک طرفه یا دو طرفه بودن شاخه تقاطع، زاویه بین شاخه فرعی با امتداد شاخه اصلی، تعداد فازها به ازای هر سیکل، وجود دوربین نظارتی، نوع سیستم کنترل تقاطع، حجم ترافیک عبوری مستقیم، گردش به راست و چپ و حجم کل ترافیک عبوری در شاخه است. اکثر متغیرهای هندسی تقاطع از طریق نقشه‌های با مقیاس ۱/۲۰۰۰ تقاطع و برداشت میدانی حاصل شد و متغیرهای ترافیکی (حجم ترافیک) و نحوه کنترل تقاطع از سازمان ترافیک مشهد به دست آمد. از تعداد ۱۱۰ تقاطع چهار شاخه چراغ‌دار در شهرستان مشهد، ۵۰ تقاطع انتخاب شده و متغیرهای فوق و همچنین فراوانی تصادفات جرحی در سال ۱۳۸۵ برای آنها گردآوری شد. برای مدل‌سازی از نرم افزار SAS (نسخه نهم) و دستور Genmod استفاده شد و تصمیم‌گیری در مورد مناسب بودن مدل دو جمله‌ای منفی بر اساس آزمون دویانس و χ^2 پیرسون انجام شد. همچنین برای ارزیابی میزان برازش مدل از آزمون R^2 پیرسون استفاده شد.

Archive of SID

www.SID.ir

۲. مروری بر تحقیقات گذشته

در گذشته مدل‌های گوناگونی برای ایمنی و پیش‌بینی تعداد تصادفات در تقاطع‌ها ارایه شده است و نرخ بالای تصادفات در تقاطع‌های چراغ‌دار، جوامع علمی را بر آن داشته تا تحقیقات وسیع‌تری را در این زمینه متمرکز کنند. در این تحقیقات پارامترهای مختلف مؤثر بر وقوع تصادفات در تقاطع‌های چراغ‌دار مورد بررسی قرار گرفته‌است.

یکی از روش‌های افزایش ایمنی در تقاطع‌ها، کانالیزاسیون تقاطع است. هدف از کانالیزاسیون تقاطع، مجزا کردن جریان ترافیک از یکدیگر، کاهش سطح برخورد بین جریان‌های ترافیک متقاطع مختلف، فراهم کردن زوایای دید واضح، مشخص کردن الگوی رانندگی و تعیین حق تقدم‌ها در تقاطع هاست. کانالیزاسیون می‌تواند با استفاده از جزایر ترافیکی یا خط‌کشی معابر انجام شود. کانالیزاسیون می‌تواند در شاخه‌های فرعی تقاطع، خطوط گردش به چپ، خطوط گردش به راست، خطوط عبوری مستقیم و یا از طریق کانالیزاسیون کل تقاطع انجام شود [٤]. تأثیر روش‌های مختلف کانالیزاسیون تقاطع بر تصادفات، در برخی از تحقیقات بررسی شده است. در جدول ۱، نتایج تحقیقات تأثیر متوسط روش‌های مختلف کانالیزاسیون تقاطع بر تصادفات آورده شده است. با بررسی جدول ۱ به نظر می‌رسد روش‌های مختلف کانالیزاسیون، تأثیر مطلوب‌تری بر کاهش تصادفات در تقاطع‌های چهار شاخه نسبت به تقاطع‌های سه شاخه داشته باشد. برخی از روش‌های کانالیزاسیون ممکن است موجب وسیع‌تر شدن تقاطع و افزایش سطح برخورد شود [٤].

تقاطع‌هایی که در گذشته ساخته شده‌اند، ممکن است از نظر وضعیت هندسی اشکالاتی داشته باشند. کاهش زاویه بین مسیرهای متقاطع، سبب سهولت مانورهای گردشی می‌شود. اگر شاخه تقاطع دارای شیب طولی تند باشد، این موضوع سبب کاهش میدان دید و مشکل شدن توقف وسیله نقلیه و یا حرکت مجدد بعد از توقف می‌شود. هدف از طراحی مجدد تقاطع‌ها، بهبود شرایط دید در تقاطع‌ها، ساده کردن حرکات گردشی و فراهم کردن میدان دید بیشتر برای کاربران راه در هنگام ورود به تقاطع است [٤].

طراحی مجدد و اصلاح تقاطع، شامل تغییر زاویه بین شاخه‌های متقاطع، تغییر شیب طولی و روش‌های بهبود شرایط دید در تقاطع است. طراحی مجدد تقاطع، اغلب با کانالیزاسیون تقاطع یا به همراه دیگر روش‌ها انجام می‌شود. جدول ۲، تغییرات تعداد تصادفات را بعد از تغییر زاویه بین شاخه‌های تقاطع نشان می‌دهد. زاویه بین شاخه‌های تقاطع در شکل ۱ نشان داده شده است. تأثیر بهبود شرایط دید تقاطع بر فراوانی تصادفات در جدول ۳ آورده شده است. همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد بهبود شرایط دید در تقاطع‌ها، سبب کاهش قابل ملاحظه‌ای در تصادفات جرحی نمی‌شود و تعداد تصادفات خسارتی حدود ۱۵٪ کاهش می‌یابد. توجیه این مسأله که چرا بهبود شرایط دید در تقاطع‌ها منجر به کاهش زیادی در تعداد تصادفات نمی‌شود، این است که کاربران راه، در هنگام رسیدن به تقاطع رفتارشان را با شرایط دید تقاطع تنظیم می‌کنند و مخصوصاً هنگامی که وضعیت دید تقاطع بسیار کم است، دقت بیشتری می‌کنند.

به منظور کنترل ترافیک، تفکیک جریان‌های مختلف ترافیک و بهبود جریان ترافیک در تقاطع‌ها از چراغ‌های راهنمایی استفاده می‌شود. همچنین، استفاده از چراغ‌های راهنمایی در کنترل ترافیک تقاطع‌ها، سبب بهبود ایمنی ترافیک، کاهش زمان تأخیر، حق تقدم بخشیدن به ترافیک و عبور ایمن عابران پیاده از تقاطع می‌شود [٤]. در برخی از تحقیقات، تأثیر کنترل ترافیک تقاطع با استفاده از چراغ‌های راهنمایی بر فراوانی تصادفات، بررسی شده است [٤]. بر اساس تحقیقات گذشته تأثیر کنترل ترافیک از طریق چراغ‌های راهنمایی بر تعداد تصادفات را می‌توان از جدول ٤ تخمین زد. کنترل ترافیک تقاطع‌ها از طریق چراغ راهنمایی، سبب کاهش تصادفات در تقاطع‌های سه شاخه و چهار شاخه، به میزان ۱۵٪ و ۳۰٪ می‌شود. این تأثیر برای تصادفات خسارتی و جرحی مشابه است. تحقیقات دیگری نشان داد که کنترل ترافیک از طریق چراغ راهنمایی، تأثیر مختلفی بر انواع تصادفات دارد. استفاده از چراغ راهنمایی سبب کاهش تصادفات گردشی در تقاطع‌ها می‌شود؛ ولی تصادفات جلو به عقب افزایش می‌یابد. برای ارزیابی این‌که آیا یک تقاطع باید از طریق چراغ راهنمایی کنترل شود یا خیر، لازم است که در ابتدا الگوی تصادفات در تقاطع بررسی شود. اگر تصادفات جلو به عقب در تقاطع زیاد باشد، نمی‌توان انتظار داشت که از طریق چراغ راهنمایی، ایمنی در تقاطع بهبود یابد [٤].

اُه[1] و همکاران، برای ایجاد مدل‌های پیش‌بینی تصادفات هم برای تعداد کل تصادفات و هم برای تعداد تصادفات جرحی در تقاطع‌های چراغ‌دار سه شاخه و چهار شاخه از رگرسیون پواسونی و دو جمله‌ای منفی استفاده کردند. برای مدل‌های پیش‌بینی تعداد کل تصادفات در تقاطع‌های چراغ‌دار، افزایش حجم ترافیک هم در

Archive of SID
www.SID.ir

راه اصلی و هم در راه فرعی، سرعت حرکت اعلام شده روی راه اصلی و راه‌های نزدیک به تقاطع، سبب تصادفات بیشتر می‌شود. بیشتر بودن متوسط درجه انحناء تقاطع و روشنایی در محل تقاطع، باعث شد که تصادفهای کمتری رخ دهد [۵].

پرساد[۲] و همکاران، چندین مدل دو جمله‌ای منفی را برای پیش‌بینی تعداد تصادفات جرحی و خسارتی در انواع مختلف تقاطع‌ها ایجاد کردند. نتیجه‌گیری شد که حجم ترافیک راه‌هایی که یکدیگر را قطع می‌کنند، تنها عاملی است که در مدل‌های پیش‌بینی کننده تصادفات در تقاطع‌های سه و چهار شاخه چراغ‌دار مهم است [۶].

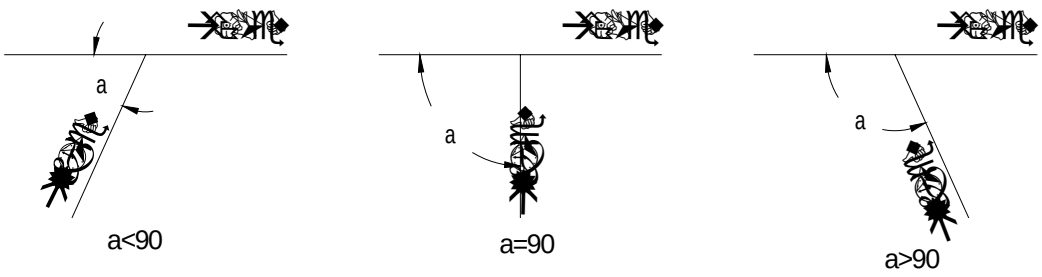
جدول۱. تأثیر کانالیزاسیون تقاطع بر تعداد تصادفات برحسب درصد تغییرات تعداد تصادفات [٤]

شدت تصادف	نوع کانالیزاسیون	درصد تغییرات تعداد تصادفات		
		نوع تصادف	بهترین تخمین	۹۵٪ بازه اطمینان
تصادفات جرحی	کانالیزاسیون شاخه فرعی تقاطع سه شاخه از طریق جزایر ترافیکی	کل تصادفات تقاطع	+۱۸	(+۳۱ ؛ +۵)
تصادفات جرحی	کانالیزاسیون شاخه فرعی تقاطع چهار شاخه با جزایر ترافیکی	کل تصادفات تقاطع	−۱۷	(+۱۷ ؛ −٤۱)
تصادفات خسارتی		کل تصادفات تقاطع	−۳٤	(+۱۲ ؛ −٦۱)
تصادفات جرحی	کانالیزاسیون خط گردش به چپ تقاطع سه شاخه با جزایر ترافیکی	کل تصادفات تقاطع	−۲۷	(+۳ ؛ −٤۸)
تصادفات خسارتی		کل تصادفات تقاطع	+۲۰	(+۷۵ ؛ −۱۸)
تصادفات جرحی	کانالیزاسیون خط گردش به چپ تقاطع سه شاخه با خط‌کشی	کل تصادفات تقاطع	−۲۲	(+۱۱ ؛ −٤۵)
تصادفات خسارتی		کل تصادفات تقاطع	−۲۰	(+۲٦ ؛ −٤۹)
تصادفات جرحی	کانالیزاسیون خط گردش به چپ تقاطع چهار شاخه با جزایر ترافیکی	کل تصادفات تقاطع	−٤	(+۲۲ ؛ −۲۵)
تصادفات خسارتی		کل تصادفات تقاطع	−۱٦	(+۳۸ ؛ −٤۹)
تصادفات جرحی	کانالیزاسیون خط گردش به چپ تقاطع چهار شاخه با خط‌کشی	کل تصادفات تقاطع	+۲۸	(+۹۲ ؛ −۱٤)
تصادفات خسارتی		کل تصادفات تقاطع	−۲٦	(+۲ ؛ −٤۷)
تصادفات جرحی	کانالیزاسیون خط گردش به راست تقاطع سه شاخه با جزایر ترافیکی	کل تصادفات تقاطع	−۲	(+۹۰ ؛ −۵۰)
تصادفات جرحی	کانالیزاسیون خط گردش به راست تقاطع چهار شاخه با جزایر ترافیکی	کل تصادفات تقاطع	−۱۳	(+۳٤۸ ؛ −۸۳)
تصادفات خسارتی		کل تصادفات تقاطع	−۱۹	(+۱۱٦ ؛ −۷۰)
تصادفات جرحی	کانالیزاسیون کل تقاطع سه شاخه با جزایر ترافیکی	کل تصادفات تقاطع	+۱٦	(+۳٦ ؛ −۰)
تصادفات جرحی	کانالیزاسیون کل تقاطع چهار شاخه با جزایر ترافیکی	کل تصادفات تقاطع	−۲۷	(−۱۵ ؛ −۳۷)
تصادفات خسارتی		کل تصادفات تقاطع	−۱۳	(+٤۲ ؛ −٤۷)
تصادفات جرحی	کانالیزاسیون کل تقاطع چهار شاخه با خط‌کشی	کل تصادفات تقاطع	−۵۷	(−٤۲ ؛ −٦۸)

جدول۲. تأثیر تغییر زاویه بین شاخه‌های تقاطع بر تعداد تصادفات برحسب درصد تغییرات تعداد تصادفات [٤]

شدت تصادف	تغییر زاویه	درصد تغییرات تعداد تصادفات		
		نوع تصادف	بهترین تخمین	۹۵٪ بازه اطمینان
تصادفات جرحی	تغییر زاویه شاخه تقاطع از کمتر از ۹۰ درجه به حدود ۹۰ درجه	کل تصادفات تقاطع	+۸۰	(+۱۷۰ ؛ +۲۰)
تصادفات جرحی	تغییر زاویه شاخه تقاطع از حدود ۹۰ درجه به بیشتر از ۹۰ درجه	کل تصادفات تقاطع	−۵۰	(−۲۰ ؛ −۷۰)
تصادفات خسارتی		کل تصادفات تقاطع	+٤۰	(+۷۰ ؛ +۱۵)

www.SID.ir



شکل ۱. زاویه بین شاخه‌های تقاطع

جدول ۳. تأثیر بهبود شرایط دید تقاطع بر فراوانی تصادفات تقاطع‌ها برحسب درصد تغییرات تعداد تصادفات [٤]

شدت تصادف	درصد تغییرات تعداد تصادفات		
	نوع تصادف	بهترین تخمین	٪۹۵ بازه اطمینان
تصادفات جرحی	کل تصادفات تقاطع	-۳	(+۱٤ ؛ -۱۸)
تصادفات خسارتی	کل تصادفات تقاطع	-۱۵	(-۵ ؛ -۲۵)

جدول٤. تأثیر کنترل ترافیک با چراغ راهنمایی بر تعداد تصادفات برحسب درصد تغییرات تعداد تصادفات [٤]

شدت تصادف	نوع تقاطع	درصد تغییرات تعداد تصادفات		
		نوع تصادف	بهترین تخمین	٪۹۵ بازه اطمینان
تصادفات جرحی	کنترل ترافیک با چراغ راهنمایی در تقاطع سه شاخه	کل تصادفات تقاطع	-۱۵	(-۵ ؛ -۲۵)
تصادفات خسارتی		کل تصادفات تقاطع	-۱۵	(+۱۵ ؛ -٤۰)
تصادفات جرحی	کنترل ترافیک با چراغ راهنمایی در تقاطع چهار شاخه	کل تصادفات تقاطع	-۳۰	(-۲۵ ؛ -۳۵)
تصادفات خسارتی		کل تصادفات تقاطع	-۳۵	(-۲۵ ؛ -٤۵)

لیون[۳] و همکاران برای اصلاح تقاطع‌های چراغ‌دار درون‌شهری یک تابع عملکرد ایمنی پیشنهاد کردند و اثرات احتمالی جریان ترافیک، تعداد خطوط عبوری در شاخه تقاطع و تعداد جریان‌های عابرین پیاده را بررسی کردند [۷].

کامارا[٤] و چین[۵]، از رگرسیون پواسونی در تحلیل عوامل دخیل در تصادفات رخداده در تقاطع‌های چراغ‌دار شهر سنگاپور استفاده کردند. آنها مشخصات هندسی، جریان ترافیک و کنترلی ۱۰٤ تقاطع را بررسی کردند و نتیجه گرفتند حجم کل جریان ترافیک، حجم جریان ترافیک گردش به چپ، تعداد فازهای چراغ راهنمایی، مسافت دید، کانالیزاسیون ترافیک گردش به راست، دوربین نظارتی، میانه‌های نرده‌ای و شیب طولی شاخه‌های تقاطع به میزان قابل توجهی بر تصادفات تقاطع‌ها اثر می‌گذارد [۸].

وانگ[۶] و همکاران به منظور ایجاد مدل پیش‌بینی تصادفات در تقاطع‌های چراغدار از داده‌های تصادف، جریان ترافیک، وضعیت هندسی، عوامل محیطی و کنترل ترافیک ۲٦۲ تقاطع چراغ‌دار شهر هنگ‌کنگ در طی سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ استفاده کردند. برای کمّی کردن اثرات احتمالی عوامل دخیل در بروز تصادفات فوتی- جرحی شدید و تصادفات جرحی خفیف، به ترتیب از رگرسیون پواسونی و رگرسیون دو جمله‌ای منفی استفاده شد. نتایج مدل تصادفات جرحی خفیف آشکار کرد که عوامل محیطی جاده، درجه قوس و وجود ایستگاه‌های تراموا عواملی هستند که تأثیر عمده در بروز تصادفات جرحی خفیف دارند، ولی در این مدل حجم ترافیک، اثر کاهشی در احتمال خطر تصادف دارد. وجود ایستگاه‌های تراموا، تعداد جریان‌های عبوری عابران پیاده، عوامل

Archive of SID
www.SID.ir

محیطی جاده، سهم وسایل نقلیه تجاری، عرض متوسط خط عبوری و درجه قوس احتمال خطر تصادفات فوتی و جرحی شدید را افزایش می‌دهد، اما تأثیر حجم ترافیک ناچیز است [۹].

نتایج تحقیق افندی‌زاده و همکاران برای مدل‌سازی تعداد تصادفات در تقاطع‌های چراغ‌دار نشان داد که متوسط حجم ترافیک روزانه، متوسط سرعت وسایل نقلیه، تعداد خطوط و تغییر زمان‌بندی چراغ راهنمایی از ثابت به هوشمند باعث افزایش تعداد تصادفات و وجود میانه، وجود مسیرهای گردش به راست مجزا و تغییر تعداد فاز چراغ راهنمایی از دو فاز به چند فاز باعث کاهش تعداد تصادفات می‌شود [۱۰].

مدل‌های گوناگونی برای ایجاد رابطه بین وقوع تصادفات و مشخصات تقاطع‌های چراغ‌دار استفاده شده است و این مدل‌ها شامل مدل رگرسیونی چندگانه خطی[۷]، مدل رگرسیونی پواسونی[۸] و مدل رگرسیونی دو جمله‌ای منفی[۹] است. رگرسیون چندگانه خطی در واقع تعمیم یافته رگرسیون خطی ساده است. در این مدل رگرسیونی، به جای یک متغیر مستقل (یا توضیحی) چندین متغیر مستقل وجود دارد. مدل‌های رگرسیونی چندگانه خطی در گذشته به طور وسیع در تحقیقات تصادفات ترافیکی استفاده می‌شد، ولی تعدادی از محققان، چندین محدودیت برای مدل‌های رگرسیونی چندگانه خطی بیان کردند که نمی‌تواند به قدر کافی تصادفی بودن، مجزا بودن، منفی نبودن و پراکندگی داده‌های تصادف را توصیف کند. این محدودیت‌ها شامل وجود خواص آماری نامطلوب، مانند احتمال منفی بودن تعداد تصادفات و عدم خواص توزیعی، مانند شرط توزیع شدن وقوع تصادفات به طور نرمال است. علاوه بر این، به علت ناتوانی در قضاوت‌های آماری مناسب درباره وقوع تصادفات، مدل‌های رگرسیونی چندگانه خطی ممکن است پیش‌بینی‌هایی ارایه کنند که چندان دقیق نباشند [۱۱].

به علت این‌که وقوع تصادفات، لزوماً غیر وابسته، اغلب پراکنده و رویدادهای تصادفی است، به نظر می‌رسد که مدل‌های رگرسیون پواسونی نسبت به مدل‌های رگرسیون چندگانه خطی مناسب‌تر باشند. برخی از تحقیقات در سالهای اخیر برای ایجاد رابطه آماری بین تصادفات ترافیکی و عوامل اثرگذار جاده‌ای، از مدل‌های رگرسیون پواسونی استفاده کردند. محدودیت مهم مدل پواسونی این است که توزیع در نظر گرفته شده ایجاب می‌کند که میانگین و واریانس داده‌ها برابر باشد که به ندرت در داده‌های تصادف اتفاق می‌افتد. اگر این فرضیه برقرار نباشد، خطاهای استاندارد که معمولاً توسط روش حداکثر احتمال تخمین زده می‌شود، منحرف خواهد شد و آمارهای منتج شده از مدل نادرست خواهد بود. هنگامی که واریانس بزرگ‌تر از میانگین باشد، گفته می‌شود که داده‌ها بیش از حد پراکنده است. در عمل پراکندگی بیش از حد به خاطر وجود عوامل اثرگذار متعدد بر تصادفات است که تمام آن‌ها در مدل به حساب آورده نمی‌شود. هنگامی که واریانس کوچک تر از میانگین باشد، گفته می‌شود که داده‌ها پراکندگی کمی دارند. برخی از محققین در سالهای اخیر نتیجه گرفتند که داده‌های تصادف به میزان قابل ملاحظه‌ای بیش از حد پراکنده است، یعنی واریانس داده‌ها خیلی بیشتر از میانگین داده‌هاست، که این امر موجب تخمین نادرست احتمال وقوع تصادفات خواهد شد [۱۱، ۱۲].

برای غلبه بر مشکل پراکندگی بیش از حد، در چندین تحقیق، از توزیع دو جمله‌ای منفی به جای توزیع پواسونی استفاده شد. با رفع شرط میانگین برابر با واریانس، مدل‌های رگرسیونی دو جمله‌ای منفی در توصیف وقایع مجزا، غیر وابسته و غیرمنفی مناسب‌تر است [۱۳، ۱٤، ۱۵].

۳. روش تحقیق

۳-۱ مدل‌های رگرسیون پواسونی و دوجمله‌ای منفی

مدل‌های پواسونی و دو جمله‌ای منفی از جمله روش‌هایی است که در حال حاضر برای فرآیند مدل‌سازی وقایع پراکنده و غیر وابسته مانند تصادفات جاده‌ای استفاده می‌شود. در این مدل‌ها فرض می‌شود که تصادفات رخ داده در یک جاده یا تقاطع، مستقل از یکدیگر است. تصادفات رخ داده در یک بازه زمانی در شاخه تقاطع معمولاً از توزیع پواسونی تبعیت می‌کند [۱۳]. تعداد متوسط تصادفات پیش بینی شده در شاخه تقاطع‌ها در طی یک دوره زمانی در نظر گرفته شده به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_i = \exp(\beta_0 + \sum_{j=1}^{n} x_{ij}\beta_j) \qquad (۱)$$

که در رابطه فوق μ_i = تعداد متوسط تصادفات پیش‌بینی شده در طی یک دوره زمانی در نظر گرفته شده برای شاخه تقاطع، $x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{in}$ = مقادیر متغیرهای مستقل شاخه تقاطع i در طی دوره زمانی مفروض، $\beta_0, \beta_1, ..., \beta_n$ = ضرایبی است که باید تخمین‌زده شود [۱۳].

در توزیع پواسونی، واریانس و میانگین تعداد تصادفات در شاخه تقاطع i با هم برابر است. در مدل پواسونی، احتمال وقوع یک

Archive of SID

www.SID.ir

تعداد مشخص از تصادفات در شاخه تقاطع i در دوره زمانی مفروض، y_i، برابر است با:

$$P(y_i)=\frac{e^{-\mu_i}\mu_i^{y_i}}{y_i!} \qquad (۲)$$

ضرایب β با استفاده از تابع حداکثر لگاریتم احتمال، $L(\beta)$، تخمین‌زده می‌شود.

$$L(\beta)=\sum_i(y_i\log\mu_i-\mu_i-\log y_i!) \qquad (۳)$$

که $\beta=\beta_0,\beta_1,...,\beta_n$ بردار ضرایب و y_i تعداد تصادفات مشاهده شده برای شاخه تقاطع i و μ_i تحت معادله (۱) است. به ازای هر مقدار β که معادله (۳) ماکزیمم شود، برابر ضریب تخمین‌زده شده بردار β است. μ_iای که ضریب β نتیجه می‌دهد با $\hat{y}_i$ نشان داده می‌شود و برابر تعداد متوسط تصادفات تخمین‌زده شده است [۱۳].

در توزیع دو جمله‌ای منفی، یک جمله درجه دوم به واریانس که معرف پراکندگی بیش از حد در داده‌های تصادف است، اضافه می‌شود. شکل کلی مدل دو جمله‌ای منفی به صورت زیر است:

$$P(y_i)=\frac{\Gamma(y_i+\frac{1}{\alpha})}{y_i!\Gamma(\frac{1}{\alpha})}(\frac{\alpha\mu_i}{1+\alpha\mu_i})^{y_i}(\frac{1}{1+\alpha\mu_i})^{\frac{1}{\alpha}} \qquad (٤)$$

α پارامتر پراکندگی بیش از حد و واریانس توزیع برابر $\mu_i+\alpha(\mu_i)^2$ است [۱۳].

همان‌طور که وگت[۱۰] اشاره کرده است، توزیع دو جمله‌ای منفی تغییرات برون‌پواسونی را به خاطر این‌که تمام پارامترها در مدل در نظر گرفته نشده است، به حساب می‌آورد [۱۲]. اگر α برابر با صفر باشد، توزیع دو جمله‌ای منفی به توزیع پواسونی تبدیل می‌شود. در توزیع دو جمله‌ای منفی، بردار ضرایب تخمینی با استفاده از حداکثر تابع احتمال $L(\beta,\alpha)$ به دست آورده می‌شود [۱۳].

$$L(\beta,\alpha)=\sum_i\left[\left(\sum_{j=0}^{y_i}\log(1+\alpha j)-\log(1+\alpha y_i)\right)\right]+ \qquad (۵)$$
$$\sum_i\left[y_i\log\mu_i-(y_i+\frac{1}{\alpha})\log(1+\alpha\mu_i)-\log(y_i!)\right]$$

۳-۲ ارزیابی مدل

۳-۲-۱ ارزیابی پراکندگی بیش از حد

تصمیم‌گیری درباره این‌که آیا مدل پواسونی مناسب است یا مدل دو جمله‌ای منفی، می‌تواند بر اساس یکی از آزمون‌های آماری دویانس یا نسبت χ^2 پیرسون انجام شود.

دویانس مدل برابر است با:

$$D^m=2(L^f-L^m) \qquad (٦)$$

که L^f برابر لگاریتم احتمال مدل تحت معادله (۳) است و تحت شرایطی که مدل به طور دقیق به داده‌ها برازش داده شده باشد (برای هر شاخه تقاطع i $\mu_i=y_i$) و $\alpha=0$ به‌دست آورده می‌شود و L^m لگاریتم احتمال تحت معادله (۳) یا (۵) است. 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 است. اگر مقدار دویانس به میزان قابل ملاحظه‌ای بیشتر از $n-p$ باشد، به این معناست که مدل به علت در نظر نگرفتن برخی از متغیرها و یا شکل غیرپواسونی، بیش از حد پراکنده است. بنابراین هنگامی که دویانس بر درجه آزادی تقسیم می‌شود به میزان قابل ملاحظه‌ای بزرگ‌تر از یک و نشان‌دهنده پراکندگی بیش از حد خواهد بود. برای رگرسیون پواسونی کمیت $\frac{D^m}{n-p}$ دقیقاً برابر با یک است. بازه قابل قبول برای کمیت $\frac{D^m}{n-p}$ بین ۰/۸ تا ۱/۲ است [۳].

علاوه براین، نسبت χ^2 پیرسون، تعریف شده تحت معادله (۷)، یک متغیر تصادفی با میانگین $n-p$ برای یک مدل پواسونی خواهد بود.

$$Pearson's\chi^2=\sum_{i=1}^{n}\frac{\left(y_i-\hat{y}_i\right)^2}{\hat{y}_i} \qquad (۷)$$

که y_i برابر تعداد تصادفات مشاهده شده در i امین تقاطع در طی یک دوره زمانی و $\hat{y}_i$ برابر تعداد تصادفات پیش‌بینی شده است. اگر $\frac{\chi^2}{n-p}$ به میزان قابل ملاحظه‌ای بزرگ‌تر از یک باشد پراکندگی بیش از حد داده‌ها و استفاده از مدل دو جمله‌ای منفی، تأیید می‌شود [۳].

۳-۲-۲ ارزیابی میزان برازش مدل

مشابه با R^2 در رگرسیون خطی، R^2 پیرسون می‌تواند برای هر مدل خطی تعمیم یافته به منظور میزان برازش مدل محاسبه شود [۳].

$$R_p^2=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}\frac{(y_i-\mu_i)^2}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^{n}\frac{(y_i-\bar{y})^2}{\bar{y}}} \qquad (۸)$$

Archive of SID
www.SID.ir

در فرمول فوق $R^2 = R_p^2$ پیرسون، y_i = تعداد تصادفات مشاهده شده در i امین تقاطع در طی یک دوره زمانی، μ_i = تعداد تصادفات پیش‌بینی شده در طی یک دوره زمانی، $\overline{y}$ = متوسط تصادفات مشاهده شده در تمام شاخه‌های تقاطع‌های تحت بررسی است.

۳-۳ فاکتور کاهش تصادفات[11]

یک روش برای برآورد تأثیر یک متغیر بر فراوانی تصادفات با فرض این‌که متغیرهای دیگر ثابت در نظر گرفته شود، محاسبه میزان تغییرات میانگین تصادفات به ازای افزایش یک واحد متغیر است. فاکتور کاهش تصادفات به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$ARF = -100\left(\frac{\exp(\beta_i(x_i+1)}{\exp(\beta_i x_i)}-1\right) = -100(\exp(\beta_i)-1) \qquad (۹)$$

فاکتور کاهش تصادفات مثبت است؛ اگر و تنها اگر ضریب β_i منفی باشد و با افزایش یک واحد تغییر متغیر، تصادفات کاهش می‌یابد[۱۲].

۳-٤ داده‌ها

برای بررسی رابطه بین فراوانی تصادفات، مشخصات هندسی، ترافیک و کنترل ترافیک تقاطع‌های چراغ‌دار با استفاده از مدل‌های آماری مناسب، مجموعاً از ۵۰ تقاطع چهارشاخه چراغ‌دار در شهرستان مشهد استفاده شد. تقاطع‌های در نظر گرفته شده ٤۵٪ کل تقاطع‌های چراغ‌دار چهار شاخه را پوشش می‌دهد. برای جمع‌آوری داده های تصادف از "فرم‌های کام" که توسط افسران پلیس در صحنه تصادف تکمیل می‌شود، استفاده شد. هر تقاطع به شاخه‌های جداگانه تقسیم گردید و تصادفاتی که در فواصل ۳۰ متری از ورودی تقاطع رخ داده بود انتخاب شدند. در صورتی که فاصله محل تصادف از خط توقف تقاطع ۳۰ 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 ۱۳۸۵، ۲۹۱ تصادف جرحی از فرم‌های تصادفات اداره راهنمایی و رانندگی مشهد برداشت شد. برای هر شاخه تقاطع، ۲۳ متغیر مستقل در نظر گرفته شد. در جدول ۵، شاخص‌های آماری متغیرهای مستقل نشان داده شده است. اکثر متغیرهای هندسی تقاطع از طریق نقشه‌های با مقیاس ۱/۲۰۰۰ تقاطع و برداشت میدانی جمع‌آوری شد و متغیرهای ترافیکی (حجم ترافیک و نحوه کنترل تقاطع) از سازمان ترافیک مشهد اخذ شد.

۳-۵ مدل پیش‌بینی فراوانی کل تصادفات جرحی

هدف از این تحقیق، ایجاد مدل‌های آماری برای فراوانی تصادفات جرحی سالانه در هر یک از شاخه‌های تقاطع است (به عنوان مثال، یک تقاطع چهار شاخه با جهت شمال- جنوب، شرق- غرب، دارای چهار شاخه سوی شمال، جنوب، شرق و غرب خواهد بود). در سال ۱۳۸۵ جمعاً ۲۹۱ تصادف جرحی گزارش شده است. مدل‌سازی داده‌ها در این تحقیق بر اساس نرم افزار SAS انجام شد. همراه با تخمین ضرایب رگرسیونی از طریق حداکثر احتمال (درست‌نمایی بیشینه[12])، این نرم افزار خطای استاندارد هر ضریب را تخمین می‌زند.

متغیر وابسته، فراوانی تصادفات جرحی سالانه است که عددی غیر منفی است. در جدول ٦ شاخص‌های آماری متغیر وابسته آورده شده است. همان‌طور که جدول ٦ نشان می‌دهد نسبت واریانس به میانگین داده‌های تصادف از یک بسیار بزرگ تر است که نشان دهنده پراکندگی در داده‌های تصادف است. به منظور بررسی اینکه آیا از توزیع پواسونی یا دوجمله‌ای منفی استفاده شود، نمودار توزیع فراوانی داده‌های تصادف جرحی رسم شد. نمودار ۱ نشان می‌دهد که در بسیاری از شاخه‌های تقاطع فراوانی تصادفات جرحی صفر است و یا اینکه تصادفات جرحی رخداده در آنها کم است. بنابراین به نظر می‌رسد که توزیع فراوانی تصادفات جرحی از توزیع پواسونی یا دوجمله‌ای منفی تبعیت می‌کند. برای انجام فرآیند برازش توزیع، میانگین و واریانس فراوانی تصادفات جرحی مشاهده شده، محاسبه شد که در جدول ٦ مقادیر آن‌ها آمده است. با استفاده از میانگین و واریانس تصادفات جرحی مشاهده شده، توزیع پواسونی و دو جمله‌ای منفی، به داده‌های تصادف جرحی برازش داده شد. جدول ۷ آزمون کی- دو را برای برازش توزیع پواسونی به متغیر در نظر گرفته شده نشان می‌دهد. بنابراین:

$$f(y) = \frac{e^{-\mu}\mu^y}{y!} = \frac{e^{-1.455}(1.455)^y}{y!},\ y=0,1,2,\ldots \qquad (۱۰)$$

که μ مقدار میانگین فراوانی تصادفات جرحی مشاهده شده در سال است. مقدار کی- دو برای برازش توزیع پواسونی به داده‌های تصادفات جرحی به صورت زیر محاسبه شد [۳].

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^{k}\frac{\left(f(p_i)-f(y)^2\right)}{f(y)} \qquad (۱۱)$$

Archive of SID

www.SID.ir

که $f(p_i)$ فراوانی نسبی تصادفات جرحی است. مقدار کی- دو تخمینی برابر با ۹/۸۴۳ است. این مقدار کمتر از $\chi^2_{\alpha,k-p-1}$ = ۱۵.۵۰۷ $(p=1,k=10,\alpha=0.05)$ است. نتیجه آزمون کی- دو نشان می‌دهد، فرضیه‌ای که بیان می‌کند توزیع فراوانی داده‌های تصادف جرحی، توزیع پواسونی است، رد نمی‌شود. جدول ۸ آزمون کی-دو را برای برازش توزیع دو جمله‌ای منفی به فراوانی داده‌های تصادف جرحی نشان می‌دهد. توزیع دو جمله‌ای منفی دارای دو پارامتر میانگین، $E(y)$، و واریانس، $V(y)$، است.

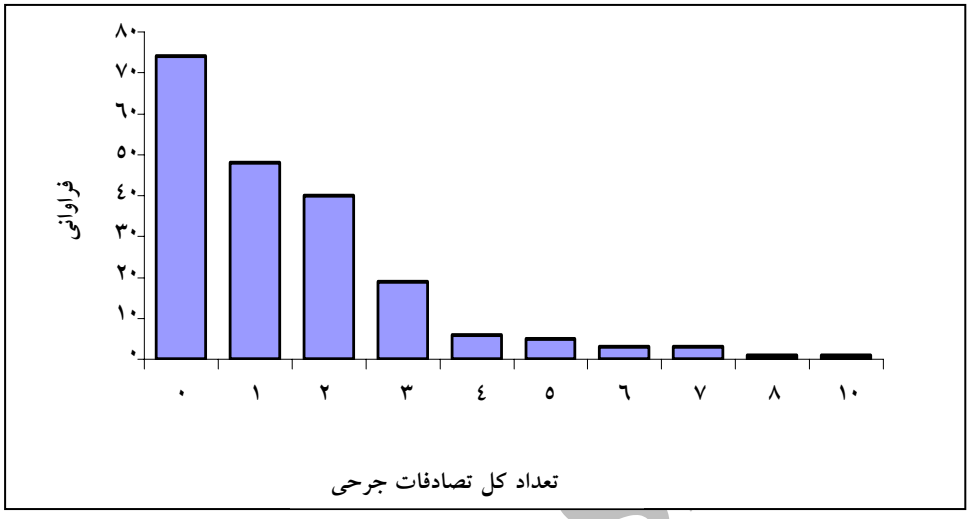
جدول ۵. شاخص‌های آماری متغیرهای مستقل شامل شده در این تحقیق

ردیف	نام متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
۱	تعداد خطوط عبوری در شاخه تقاطع	۲	۹	۵/۸۹	۱/۳
۲	عرض خطوط عبوری در شاخه تقاطع (برحسب متر)	۷/٦٤	۳٤/۵	۲۰/۸۷	٤/٦۲
۳	خط گردش به چپ ویژه (اگر شاخه دارای خط گردش به چپ ویژه باشد مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰)	۰	۱	۰/٤٦	۰/۵۰
٤	فاز گردش به چپ محافظت شده (اگر شاخه دارای فاز گردش به چپ محافظت شده باشد مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰)	۰	۱	۰/۰۳	۰/۱۷
۵	تعداد خطوط گردش به چپ ویژه	۰	۱	۰/٤٦	۰/۵۰
٦	عرض خط گردش به چپ ویژه (برحسب متر)	۰	٤	۱/۱٦	۱/۳۵
۷	طول خط گردش به چپ ویژه (برحسب متر)	۰	۷۲/۱۳	۱۲/۹	۱۵/٦۷
۸	خط گردش به راست ویژه (اگر شاخه دارای خط گردش به راست ویژه باشد مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰)	۰	۱	۰/٤٦	۰/۵۰
۹	تعداد خطوط گردش به راست ویژه	۰	۳	۰/۸۷	۰/۹٦
۱۰	عرض خطوط گردش به راست ویژه (برحسب متر)	۰	۱۲	۳/۱۲	۳/٤۳
۱۱	طول خط گردش به راست ویژه (برحسب متر)	۰	٦۰	۹/۸۱	۱۲/۵۸
۱۲	وجود میانه در محل تقاطع (اگر در محل تقاطع میانه وجود داشته باشد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰)	۰	۱	۰/۲٤	۰/٤۳
۱۳	فاصله ایستگاه اتوبوس در شاخه تقاطع قبل از ورود به تقاطع (اگر فاصله ایستگاه اتوبوس تا تقاطع بیشتر از ۵۰ متر باشد مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰)	۰	۱	۰/۸۱	۰/۳۹
۱٤	فاصله ایستگاه اتوبوس در شاخه تقاطع بعد از خروج از تقاطع (اگر فاصله ایستگاه اتوبوس تا تقاطع بیشتر از ۵۰ متر باشد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰)	۰	۱	۰/۷٦	۰/٤۲
۱۵	جهت مسیر حرکت در شاخه تقاطع (اگر شاخه تقاطع یک طرفه باشد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰)	۰	۱	۰/۱	۰/۳۱
۱٦	زاویه بین شاخه های فرعی با امتداد شاخه اصلی تقاطع برحسب درجه)	۰	۱۲٦/۲٦	٤٤/٦٤	٤۵/۸
۱۷	تعداد فازها به ازای هر سیکل	۰	٤	۲/۳۸	۰/۵٦
۱۸	دوربین نظارتی در تقاطع (اگر دوربین در تقاطع وجود داشته باشد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰)	۰	۱	۰/۱٤	۰/۳۵
۱۹	نوع سیستم کنترل تقاطع (اگر شاخه دارای چراغ راهنمایی هوشمند باشد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰)	۰	۱	۰/٤٤	۰/۵۰
۲۰	حجم ترافیک عبوری مستقیم (برحسب هزار وسیله نقلیه)	۸/٦۲	۷۵/۵۱	۳۲/۲۳	۱۳/۳۹
۲۱	حجم ترافیک عبوری راست (برحسب هزار وسیله نقلیه)	۰	۱۲/۸۷	۲/۷۳	۲/۲۱
۲۲	حجم ترافیک عبوری چپ (برحسب هزار وسیله نقلیه)	۰	۱۳/۱۰	۳/۲۲	۲/۷
۲۳	حجم کل ترافیک در شاخه تقاطع (برحسب هزار وسیله نقلیه)	۸/٦۲	۸٤/۲٤	۳۸/۱۸	۱٤/۲۷

www.SID.ir

جدول ٦. شاخص‌های آماری متغیر وابسته (تصادفات جرحی)

متغیر وابسته	نماد متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	واریانس
تصادفات جرحی سالانه	y_{TIA}	۰	۱۰	۱/٤٥	۱/۷۳	۲/۹۹



نمودار ۱. توزیع فراوانی تصادفات جرحی در شاخه‌های تقاطع‌های چهار شاخه چراغ‌دار

جدول ۷. آزمون کی- دو برای برازش توزیع پواسونی به داده‌های تصادف جرحی

متغیر وابسته (تعداد تصادفات جرحی)	فراوانی، $f(i)$	فراوانی نسبی، $f(p_i)$	احتمال $f(y)$ با توزیع پواسونی	$(f(p_i)-f(y))^2$	$\frac{(f(p_i)-f(y))^2}{f(y)}$
۰	۷٤	۰/۳۷	۰/۲۳۳٤۰۰	۰/۰۱۸٦٥۹	۰/۰۷۹۹٤٦
۱	٤۸	۰/۲٤	۰/۳۳۹٥۹۷	۰/۰۰۹۹۲	۰/۰۲۹۲۱
۲	٤۰	۰/۲	۰/۲٤۷۰٥۷	۰/۰۰۲۲۱٤	۰/۰۰۸۹٦۳
۳	۱۹	۰/۰۹٥	۰/۱۱۹۸۲۲	۰/۰۰۰٦۱٦	۰/۰۰٥۱٤۲
٤	٦	۰/۰۳	۰/۰٤۳٥۸٥	۰/۰۰۰۱۸٥	۰/۰۰٤۲۳٥
٥	٥	۰/۰۲٥	۰/۰۱۲٦۸۳	۰/۰۰۰۱٥۲	۰/۰۱۱۹٦
٦	۳	۰/۰۱٥	۰/۰۰۳۰۷٥	۰/۰۰۰۱٤۲	۰/۰٤٦۲۲۹
۷	۳	۰/۰۱٥	۰/۰۰۰٦۳۹	۰/۰۰۰۲۰٦	۰/۳۲۲٥۸۱
۸	۱	۰/۰۰٥	۰/۰۰۰۱۱٦	۲/۳۹E-۰٥	۰/۲۰٥۱۲٤
۱۰	۱	۰/۰۰٥	۲/۷۳٥E-۰٦	۲/٥E-۰٥	۹/۱۳۰٥۳
	۲۰۰	۱	-	-	$\chi_o^2=$ ۹/۸٤۳۹۲۸

تابع احتمال y با توزیع دوجمله‌ای منفی به صورت زیر تعریف می‌شود [۳]:

$$f(x)=\begin{bmatrix} y+r-1 \\ y \end{bmatrix} p^r.(1-p)^y,\ \text{y=0,1,2,...} \qquad (۱۲)$$

در این حالت، با استفاده از میانگین و واریانس فراوانی تصادفات مشاهده شده پارامتر p و r را می‌توان به صورت زیر به دست آورد [۲]:

$$E(y)=\frac{r}{p} \qquad (۱۳)$$

$$V(y)=\frac{r(1-p)}{p^2} \qquad (۱٤)$$

با توجه به روابط فوق، مقادیر p و r به‌ترتیب برابر ۰/۱٦۲۷٥ و ۱ است. بنابراین تابع احتمال y با توزیع دو جمله‌ای منفی برای فراوانی داده‌های تصادف جرحی برابر است با:

$$f(y)=\begin{bmatrix} y+1-1 \\ y \end{bmatrix}(0.163)^r.(1-0.163)^y,\text{y=0,1,2,...} \qquad (۱٥)$$

مقدار کی- دو با استفاده از برازش توزیع دو جمله‌ای منفی به داده‌های تصادفات جرحی تخمین زده شد و با استفاده از جدول ۸

Archive of SID
www.SID.ir

مقدار آن برابر با ۸/۸۲۵ به دست آمد. این مقدار کمتر از مقدار $\chi^2_{\alpha,k-p-1}$ = ۱٤.۰٦۷۱ $(p=2,k=10,\alpha=0.05)$ است. بنابراین فرضیه‌ای که بیان می‌کند توزیع فراوانی داده های تصادف جرحی، توزیع دو جمله‌ای منفی است، رد نمی‌شود. نهایتاً به علت اینکه فرض توزیع پواسونی و دوجمله‌ای منفی داده‌های تصادفات جرحی توسط آزمون کی- دو ($\chi^2_0 \prec \chi^2_{\alpha,k-p-1}$) رد نشد، توزیع با مقدار محاسبه شده کی- دو کمتر به عنوان برازش توزیع مناسب انتخاب شد. بنابراین با مقایسه مقادیر کی- دو برای توزیع پواسونی و دو جمله ای منفی، نتیجه می‌شود که توزیع دوجمله‌ای منفی برای فراوانی داده‌های تصادف جرحی مناسب‌تر است.

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. به کمک روش رگرسیون پسرو[13]، ضرایب تخمینی با استفاده از روش حداکثر احتمال استاندارد (درست‌نمایی بیشینه) و با دستور Genmod در نرم افزار SAS برآورد گردید. در مرحله دوم متغیرهای مستقلی که از نظر آماری مهم نبود، حذف شد. برای این منظور سطح معنی‌داری در نظر گرفته شده برای حذف متغیرهای مستقل، برابر با ۲۰٪ (P-value=٪۲۰) است که نشان دهنده حد متوسط در انتخاب متغیرهای مستقل در فرآیند مدل‌سازی است. انتخاب این مقدار برای سطح معنی‌داری بدین دلیل است که سطح معنی‌داری محدودتر سبب می‌شود که متغیرهای مستقل کمتری در مدل وجود داشته باشد و قابلیت پیش‌بینی کلی مدل کاهش داده خواهد شد. به این ترتیب سطح اطمینان ۸۰٪ برای در نظر گرفتن متغیرها در مدل ملاک عمل قرار گرفت و در هر گام متغیرهایی که P-value آن از ۲۰٪ بیشتر است از مدل حذف شد و مدل در گام بعدی با متغیر های باقیمانده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تخمین مدل دو جمله‌ای منفی برای فراوانی کل تصادفات جرحی در جدول ۹ نشان داده شده است. همچنین آزمون‌های میزان برازش مدل در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

همان‌گونه که جدول ۹ نشان می‌دهد افزایش تعداد خطوط عبوری در شاخه تقاطع، استفاده از چراغ راهنمایی هوشمند جهت کنترل تقاطع و حجم کل ترافیک تقاطع باعث افزایش فراوانی تصادفات جرحی و وجود میانه، افزایش تعداد فازها به ازای هر سیکل و وجود دوربین نظارتی سبب کاهش تصادفات جرحی در تقاطع‌های چهار شاخه چراغ‌دار می‌شود. مدل تصادفات جرحی در تقاطع‌های چهار شاخه چراغ‌دار به صورت زیر است:

$$Ln\left(\hat{y}_{TIA}\right) = -1.4624 + 0.31x_{NL} - 0.8664X_M \qquad (16)$$

$$-0.3265X_{NP} + 0.2738X_{ST} - 0.3045X_{SC} + 0.0179X_{TV}$$

پارامترهای مدل فوق در جدول ۹ تشریح شده است.

پارامتر پراکندگی بیش از حد، α، برای این مدل برابر با ۰/۲۱۰۲ است که استفاده از مدل دو جمله‌ای منفی را تأیید می‌کند. جدول ۱۰ نشان می‌دهد دویانس/درجه آزادی و نسبت χ^2 پیرسون/درجه آزادی از یک بزرگ‌تر است که نشان دهنده پراکندگی بیش از حد داده‌ها است و استفاده از مدل دو جمله‌ای منفی را تأیید می‌کند. R^2 پیرسون برابر با ۰/٤٥٥ است که نشان می‌دهد برازش مدل به داده‌ها، نسبتاً مناسب است.

جدول ۸ آزمون کی- دو برای برازش توزیع دوجمله‌ای منفی به داده‌های تصادف جرحی

متغیر وابسته (تعداد تصادفات جرحی)	فراوانی، $f(i)$	فراوانی نسبی، $f(p_i)$	احتمال $f(y)$ با توزیع دوجمله‌ای منفی	$(f(p_i)-f(y))^2$	$\frac{(f(p_i)-f(y))^2}{f(y)}$
۰	۷٤	۰/۳۷	۰/۰۲٦٤۸۷٥	۰/۱۱۸۰۰۱	٤/٤٥٤۹٥۱
۱	٤۸	۰/۲٤	۰/۰۲۲۱۷٦	۰/۰٤۷٤٤۷	۲/۱۳۹٤۹٦
۲	٤۰	۰/۲	۰/۰۱۸٥٦۷	۰/۰۳۲۹۱۸	۱/۷۷۲۸۷٥
۳	۱۹	۰/۰۹٥	۰/۰۱٥٥٤٥	۰/۰۰٦۳۱۳	۰/٤۰٦۰۹٦
٤	٦	۰/۰۳	۰/۰۱۳۰۱٥	۰/۰۰۰۲۸۸	۰/۰۲۲۱٦٤
٥	٥	۰/۰۲٥	۰/۰۱۰۸۹۷	۰/۰۰۰۱۹۹	۰/۰۱۸۲٥۱
٦	۳	۰/۰۱٥	۰/۰۰۹۱۲۳	۳/٤٥E-۰٥	۰/۰۰۳۷۸٥
۷	۳	۰/۰۱٥	۰/۰۰۷٦۳۸	٥/٤۲E-۰٥	۰/۰۰۷۰۹٤
۸	۱	۰/۰۰٥	۰/۰۰٦۳۹٥	۱/۹٥E-۰٦	۰/۰۰۰۳۰٥
۱۰	۱	۰/۰۰٥	۰/۰۰٤٤۸۳	۲/٦۷E-۰۷	۲/٥E-۰٥
	۲۰۰	۱	–	–	χ^2_o = ۸/۸۲٥۰۷٥

Archive of SID
www.SID.ir

۳-٦ معتبرسازی مدل

معتبرسازی مدل یکی از مهم‌ترین گام‌های مدل‌سازی است. برای بررسی معتبرسازی مدل‌ها از آزمون استیودنت حالت دو نمونه وابسته (زوج شده) استفاده شد. برای این منظور یک جامعه آماری از تقاطع‌ها که در مدل‌سازی وارد نشده‌اند (۹ تقاطع چهار شاخه) در نظر گرفته و با استفاده از مدل‌های برازش داده شده، تعداد تصادفات رخ داده در تقاطع‌ها پیش‌بینی می‌شود. حال برای مقایسه کردن تفاوت تعداد تصادفات پیش‌بینی شده با تعداد تصادفات مشاهده شده از آزمون استیودنت‌حالت دو نمونه وابسته (زوج شده) استفاده می‌شود. این آزمون تعداد تصادفات مشاهده شده در هر شاخه تقاطع را با تصادفات پیش‌بینی شده آن توسط مدل برازش داده شده، مقایسه می‌کند [١٦]. برای انجام آزمون استیودنت حالت دو نمونه وابسته (زوج شده) از نرم‌افزار SAS استفاده شده است. خلاصه نتایج آزمون استیودنت برای مدل در جدول ۱۲ آورده شده است. در صورتی که درصد خطای نوع اول برابر ۵٪ در نظر گرفته شود، اگر مقدار P-value از ۵٪ بیشتر باشد، فرضیه H_0 را نمی‌توان رد کرد و بنابراین به‌طور متوسط تعداد تصادفات پیش‌بینی شده و مشاهده شده تفاوتی ندارد.

جدول ۹. نتایج مدل دو جمله‌ای منفی برای فراوانی کل تصادفات جرحی

متغیر	نام متغیر	درجه آزادی	ضریب تخمین	خطای استاندارد	p-value	فاکتور کاهش تصادفات
ثابت	β_0	۱	-۱/٤٦٢٤	۰/٤۹۸۸	۰/۰۰۳٤	-
تعداد خطوط عبوری در شاخه تقاطع	x_{NL}	۱	۰/۳۱	۰/۰۷۲٦	<۰/۰۰۰۱	-۳٦/۳٤
وجود میانه در محل تقاطع (اگر در محل تقاطع میانه وجود داشته باشد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰)	x_M	۱	-۰/۸٦٦٤	۰/۲٥٥٤	۰/۰۰۰۷	٥۷/۹٥
تعداد فازها به ازای هر سیکل	x_{NP}	۱	-۰/۳۲٦٥	۰/۱٥۷۳	۰/۰۳۷۹	۲۷/۸٥
نوع سیستم کنترل تقاطع (اگر شاخه دارای چراغ راهنمایی هوشمند باشد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰)	x_{ST}	۱	۰/۲۷۳۸	۰/۱٤۱۹	۰/۰٥۳۷	-۳۱/٤۹
دوربین نظارتی در تقاطع (اگر دوربین در تقاطع وجود داشته باشد مقدار ۱ در غیر این صورت ۰)	x_{SC}	۱	-۰/۳۰٤٥	۰/۲٤۲٦	۰/۲۰۹٥	۲٦/۲٥
حجم کل ترافیک شاخه تقاطع (بر حسب هزار وسیله نقلیه)	x_{TV}	۱	۰/۰۱۷۹	۰/۰۰٥۳	۰/۰۰۰۸	-۱/۸
پارامتر پراکندگی بیشتر از حد	α	۱	۰/۲۱۰۲	۰/۰۹٥۳	-	-

جدول ۱۰. آزمون‌های ارزیابی میزان برازش مدل دو جمله‌ای منفی برای فراوانی تصادفات جرحی سالانه

آیتم	مقدار
تعداد مشاهدات، (n)،	۲۰۰
تعداد متغیرهای شامل شده در مدل ، (p)،	۷
درجه آزادی، $(n-p)$،	۱۹۳
لگاریتم احتمال در همگرایی، $L(B)$،	-۱۱۹/۰۰٤۳
دویانس	۲۱٦/۳۸۷۹
دویانس/ درجه آزادی	۱/۱۲۱۲
χ^2 پیرسون	۲۲۲/٥۳٤٥
χ^2 پیرسون/درجه آزادی	۱/۱٥۳
R^2 پیرسون	۰/٤٥٥

www.SID.ir

جدول ۱۱. خلاصه آماری تصادفات پیش‌بینی شده و مشاهده‌شده

–	تعداد مشاهدات	میانگین	انحراف معیار	خطای میانگین
تصادفات	۳٦	۰/۹۲	۱/۱٥٦	۰/۱۹۳
تصادفات	۳٦	۱/۰۳	۱/٥۲۱	۰/۲٥٤

جدول ۱۲. نتایج آزمون T-test

آماره t	درجه آزادی، *df*	P-value
۰/٤۲۲	۳٥	۰/٦۷٦

٤. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت پیش‌بینی تعداد تصادفات جرحی سالانه در تقاطع‌های چهار شاخه چراغ‌دار شهرستان مشهد از مدل خطی تعمیم‌یافته با توزیع دو جمله‌ای منفی استفاده شد و به منظور بررسی اینکه آیا توزیع پواسونی و یا دوجمله‌ای منفی مناسب‌تر است، آزمون کی-دو به کار برده شد. مدل‌سازی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و دستور Genmod انجام شد و آزمون‌های میزان برازش مدل محاسبه گردید.

مدل آماری ساخته شده در این تحقیق قادر است فراوانی تصادفات جرحی را بر اساس پارامترهای هندسی (تعداد خطوط عبوری و وجود میانه در شاخه تقاطع) کنترلی (نوع سیستم کنترل تقاطع، تعداد فازها به ازای هر سیکل و دوربین نظارتی) و ترافیکی تقاطع (حجم ترافیک در شاخه تقاطع) پیش‌بینی نماید.

با توجه به مدل آماری برازش داده شده نتایج ذیل قابل استنباط است:

۱- با افزایش تعداد خطوط عبوری در شاخه تقاطع، احتمال فراوانی تصادفات جرحی به شدت افزایش می‌یابد. هنگامی که تعداد خطوط شاخه تقاطع زیاد باشد، نقاط برخورد بین وسیله نقلیه به علت وجود مانورهای حرکتی مختلف افزایش یابد. ضریب تخمین این متغیر مثبت است که نشان می‌دهد اضافه کردن یک خط به تعداد خطوط شاخه تقاطع، با فرض این‌که متغیرهای دیگر ثابت باشد، ممکن است فراوانی تصادفات جرحی ۳٦/۳٤٪ افزایش یابد.

۲- وجود میانه در شاخه تقاطع، فراوانی تصادفات جرحی را به میزان ٥۷/۹٥٪ کاهش می‌دهد.

۳- افزایش تعداد فازها به ازای هر سیکل فراوانی تصادفات جرحی را در تقاطع‌های چهار شاخه چراغ‌دار به میزان ۲۷/۸٥٪ کاهش می‌دهد.

٤- تصادفات جرحی در تقاطعی که با چراغ راهنمایی هوشمند کنترل می‌شود، نسبت به تقاطعی که دارای چراغ راهنمایی با زمان‌بندی ثابت است، به میزان ۳۱/٤۹٪ بیشتر است.

٥- وجود دوربین نظارتی فراوانی تصادفات جرحی را کاهش می‌دهد. دوربین نظارتی تخلف عبور از چراغ قرمز را در تقاطع کاهش می‌دهد. معمولاً وجود دوربین نظارتی در تقاطع سبب می‌شود که رانندگان به دلیل این‌که دوربین می‌تواند تخلفات آنها را شناسایی کند، صبر و حوصله بیشتری از خود نشان دهند [۱۷]. ضریب تخمین این متغیر نشان می‌دهد که دوربین نظارتی یک وسیله مهم انتظامی ترافیک است به طوری که وجود آن در تقاطع می‌تواند ۲٦/۲٦٪ تصادفات جرحی را کاهش دهد. بنابراین در تقاطع‌های شلوغ که عمده تخلف آن عبور از چراغ قرمز است، نصب دوربین نظارتی می‌تواند سبب کاهش تصادفات جرحی شود.

٦- فراوانی تصادف جرحی با افزایش حجم کل ترافیک در شاخه تقاطع افزایش یابد. این مسأله ممکن است به خاطر افزایش قرارگیری در معرض خطر وسایل نقلیه و افزایش تعداد نقاط برخورد باشد. هنگامی که حجم ترافیک افزایش می‌یابد فاصله کمی بین وسایل نقلیه برای انجام مانور گردش به چپ و ادغام ترافیک گردش به راست وجود دارد. بالا بودن حجم ترافیک در شاخه‌های تقاطع، نشان دهنده شلوغ بودن تقاطع است و بنابراین سرعت وسایل نقلیه به طور کلی کم است و سبب می‌شود تعداد زیادی از تصادفات جرحی از نوع جرحی خفیف باشد.

٥. پانویس‌ها

1. Oh
2. Persaud
3. Lyon
4. Kumara
5. Chin
6. Wang
7. Multiple linear regression
8. Poisson model
9. Negative binomial model
10. Vogt
11. Accident Reduction Factors
12. Maximum likelihood
13. Backward regression

Archive of SID
www.SID.ir

٦. مراجع

١. آیتی، اسماعیل (١٣٨٥) "گزارش نهائی محاسبه هزینه تصادفات جاده‌ای ایران و تهیه نرم‌افزار مربوطه"، پژوهشکده حمل‌ونقل وزارت راه‌وترابری.

2. Traffic Safety Facts, National Highway Traffic Safety Administration, Department of Transportation USA, 2003.

3. Pernia, J., Lu, J.J., Xie, X., Weng, M. and Snider, D. (2002) "Development of models to quantify the impacts of signalization on intersection crashes", Department of Civil and Environmental Engineering, University of South Florida, Tampa, Florida, pp. 1-22.

4. Elvik, Rune and Vaa, Truls (2004) "The handbook of road safety measures", Elsevier, First Edition.

5. Oh, J., Washington, P. and Choi, K. (2004) "Development of accident prediction models for rural highway intersections", Transportation Research Record, an International Journal, No. 1897, pp. 18-27.

6. Persaud, B., Lord, D. and Palmisano, J. (2002) "Calibration & transferability of accident prediction models for urban intersections", Transportation Research Record, an International Journal, No. 1784. pp. 1-15

7. Lyon, C., Haq, A., Persaud, B. and Kodama, S.T. (2005) "Safety performance functions for signalized intersections in large urban areas—development and application to evaluation of left-turn priority treatment", Transport. Research Record, an International Journal, No. 1908, 165–171.

8. Kumara, S.S.P., Chin, H.C. and Weerakoon, W.M.S.B. (2003) "Identification of accident causal factors and prediction of hazardousness", Transportation Research Record, an International Journal, No. 1840, pp. 116–122.

9. Wong, S.C., Sze, N.N. and Li, Y.C., (2007) "Contributory factors to traffic crashes at signalized intersections in Hong Kong", Accident Analysis and Prevention, an International Journal,Vol.39, No. 6, pp. 1107-1113.

١٠. افندی‌زاده، شهریار، احمدی‌نژاد، محمود، عبدالمنافی، سیدابراهیم، (١٣٨٦)، "مقایسه نتایج مدل‌های آماری و شبکه عصبی در پیش‌بینی تعداد تصادفات در تقاطعات"، پژوهشنامه حمل‌ونقل، شماره ٤، زمستان ١٣٨٦، ص. ٣٢٩-٣٥٤.

11. Chin, H. and Quddus, M.A. (2003) "Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections", Accident Analysis and Prevention, An International Journal, Vol. 35, NO. 2, pp. 153–159.

12. Vogt, A. and Bared, J. (1998) "Accident models for two-lane rural segments and intersections", Transportation Research Record, An International Journal, NO. 1635, pp. 18–29.

13. Poch, M. and Mannering, F.L. (1996) "Negative binomial analysis of intersection accident frequencies", Transportation Engineering. An International Journal, Vol.122, No.2, pp.105–113.

14. Abdel-Aty, M. and Radwan E. (2000) "Modeling traffic accident occurrence and involvement", Accident Analysis and Prevention, An International Journal, Vol. 32, No. 5, pp. 633-642.

15. Kulmala, Risto (1995) "Safety at rural three- and four-arm junctions: Development and Application of Accident Prediction Models", VTT Publications: 233, Technical Research Center at Finland, Espoo.

١٦. مونت‌گمری، داگلاس، مترجم: غلامحسین شاهکار (١٣٨٠) "طرح و تحلیل آزمایش‌ها"، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی تهران

17. Retting, R.A., Williams, A.F., Farmer, C.M. and Feldman, A.F. (1999) "Evaluation of red light camera enforcement in Oxnard, California", Accident Analysis and Prevention, An International Journal, Vol.31, No. 3, pp. 169–174.

Archive of SID

www.SID.ir