مطالعات پژوهشی راهور
۵۵
فصلنامه علمی - پژوهشی
سال هفتم - شماره ۲۵
تابستان ۱۳۹۷

مروری بر مدل‌های شاخص خطر به‌منظور شناسایی و اولویت‌بندی نقاط پرحادثه

یوسف ساجد[۱]، غلامعلی شفابخش[۲]، مرتضی باقری[۳]

از صفحه ۵۵ تا ۹۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱/۲۲

چکیده

زمینه و هدف: مدل‌های «شاخص خطر» برای شناسایی و رتبه‌بندی اجزای خطرزای شبکه به کار می‌روند. در این پژوهش، مدل‌های ارائه‌شده جهت شناسایی و اولویت‌بندی نقاط پرحادثه در داخل و خارج کشور بررسی و به نقاط قوت و ضعف آن‌ها پرداخته شده است. هدف از بررسی این مدل‌ها، رسیدن به روش‌های جامع برای شناسایی و اولویت‌بندی نقاط پرحادثه جاده‌های برون‌شهری است.

روش: در این پژوهش، مدل‌های ارائه‌شده جهت شناسایی و اولویت‌بندی نقاط پرحادثه و مؤلفه‌ها و شرایط و روش مورداستفاده در هریک بررسی شده و به خلأهای موجود در این خصوص پرداخته شده است. در اصل، این یک پژوهش مروری – مقایسه‌ای مدل‌های به‌کاررفته از سال ۱۹۵۰ میلادی تاکنون است و روند تکاملی آن را نشان می‌دهد.

یافته‌ها: به‌عنوان یک یافتهٔ کلی، با استفاده از روش‌های آنالیز چندمتغیره (از لحاظ تعداد و شدت تصادفات) و مدل‌های بیزین تجربی و کامل و دخیل کردن بیشتر مؤلفه‌های ترافیکی و هندسی، انعطاف‌پذیری و قابلیت تعمیم مدل‌های جدید توسعه‌یافته با رویکرد استفاده از ابزار پتانسیل خطر به‌جای خطرات ثبت‌شده می‌توان به راهکارهای پیشگیرانه برای وقوع تصادفات دست یافت.

نتیجه‌گیری: بر اساس مرور مطالعات انجام‌شده و پیشرفت‌های حاصل‌شده در روش‌های برداشت و ثبت اطلاعات تصادفات و مسیرها می‌توان مدل‌های دقیق‌تری بر مبنای روش ریسک - مدل به‌منظور شناسایی و اولویت‌بندی نقاط پرحادثه ارائه نمود؛ و بهتر است از روش‌های آنالیز چندمتغیره که در آن، تعداد تصادفات بر اساس شدت تصادفات (فوتی، جرحی، خسارتی و...) دسته‌بندی می‌شوند، استفاده نمود و صرفاً به ضرایب شدت تصادفات و ردهٔ عملکردی راه اکتفا ننمود.

کلیدواژه‌ها: شاخص خطر، تعداد تصادفات، شدت تصادفات، نقاط پرحادثه، مدل‌های ریسک.

۱. دانشجوی دکتری، گروه راه و ترابری، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان، ایران، Yousefsajed@semnan.ac.ir
۲. استاد گروه راه و ترابری دانشکده عمران، دانشگاه سمنان، ایران، (نویسنده مسئول)، Ghshafabakhsh@semnan.ac.ir
۳. استادیار، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران، Morteza.bagheri@iust.ac.ir

www.SID.ir

مقدمه

هزینه‌های گزاف اجتماعی و اقتصادی تصادفات جاده‌ای و آثار کوبندهٔ فیزیکی و روانی آن روی افراد و جوامع، این روزها یکی از مهم‌ترین موضوعات پژوهش‌های علمی است. این اهمیت برای کشورهای درحال‌توسعه به‌مراتب بیشتر است؛ زیرا تعداد تصادفات جاده‌ای در کشورهای مزبور در حال افزایش بوده و هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم آن نیز در مقایسه با کشورهای توسعه‌یافته بیشتر است. آمار مربوط به مرگ‌ومیر نشان می‌دهد که تصادفات جاده‌ای حتی در کشورهای توسعه‌یافتهٔ صنعتی در صدر علل مرگ‌ومیر بوده و خصوصاً در ردهٔ سنی ۱۵ تا ۲۵ بیش از هر عامل دیگری باعث تلفات مردم می‌شود (آیتی، ۱۳۷۱).

طبق برآورد بانک جهانی، هرساله در کشورهای درحال‌توسعه ۳۵۰۰۰۰ نفر در تصادفات ترافیکی کشته می‌شوند. خسارت ناشی از تصادفات ترافیکی هرساله در کشورهای درحال‌توسعه، ۱/۴ تا ۲ میلیارد دلار برآورد می‌شود که معادل ۱ تا ۲ درصد از تولید ناخالص ملی[1] (GNP) این کشورها می‌باشد (ردریگر، ۲۰۰۸)؛ درحالی‌که طبق پژوهش‌های صورت‌گرفته در ایران، این هزینه بالغ بر ۳ درصد تولید ناخالص ملی است (آیتی، ۱۳۷۱). مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که تعداد کشته‌های حوادث رانندگی در ایران بسیار بالاتر از کشورهایی مانند آلمان، انگلستان و فرانسه است و این در حالی است که تعداد وسیلهٔ نقلیه و کیلومتر طی‌شده در آن کشورها بیش از ده برابر ایران است. به‌طورکلی، مطالعات تحلیلی تصادفات نشان می‌دهد که با رعایت مقررات رانندگی در جاده از سوی رانندگان، اصلاح محورهای حادثه‌خیز و بازسازی ناوگان فرسوده، می‌توان تا میزان قابل‌توجهی از حوادث ناگوار جلوگیری کرد (سالنامه آماری، دفتر آمار سازمان حمل‌ونقل و پایانه‌های کشور، ۱۳۸۹).

به‌منظور بررسی وضعیت ایمنی راه‌ها، در برخی مطالعات، مفهومی به نام شاخص

1.Gross National Product

www.SID.ir

خطر[1] و در برخی دیگر، مفهومی تحت عنوان شاخص ایمنی[2] مطرح شده است که معیارهایی در اولویت‌بندی رفع نقاط حادثه‌خیز و ابزاری جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی تصادفات به شمار می‌روند. حال سؤال اصلی اینجاست که آیا:

✓مدل‌های میکروسکوپیک ایمنی برای استفاده در سطح شبکه و در جهت اتخاذ تصمیم‌گیری‌های کلان، توانایی لازم را دارند؟

✓مدل‌های ماکروسکوپیک موجود می‌توانند وضعیت واقعی موجود در سطح شبکه را تحلیل کنند؟

باوجود پیشرفت‌های به‌دست‌آمده، لزوم مطالعهٔ بیشتر روی شاخص‌ها و مدل‌های موجود بیش‌ازپیش احساس می‌شود. همان‌طور که کیفیت مدل‌های موجود با مدل‌های گذشته قابل‌مقایسه نیست، می‌توان با مطالعهٔ دقیق‌تر این مدل‌ها به نقطهٔ ایدئال مطالعات ایمنی نزدیک‌تر شد. در ادامه، مطالعاتی که در زمینهٔ تخمین دو شاخص مذکور، شاخص تصادفات و مؤلفه‌های اثرگذار بر تصادفات جاده‌ای و ایمنی راه‌ها صورت گرفته، در دو بخشِ مطالعات داخل کشور و مطالعات سایر کشورها آورده شده است. با توجه به مطالب ذکرشده، به‌سادگی می‌توان به اهمیت مبحث ایمنی جاده‌ها و تأثیر قابل‌توجه آن بر روی مؤلفه‌های کلان زندگی فردی و اجتماعی پی برد. در واقع تصادفات می‌تواند به‌عنوان شاخص مهمی در ارزیابی و سنجش کیفیت زندگی در جوامع مختلف در نظر گرفته شود. در نتیجه از طریق بهبود وضعیت ایمنی در جاده‌ها از یک سو می‌توان سطح سلامت اجتماعی و جایگاه یک اجتماع خاص را در مقایسه با جامعهٔ بین‌المللی ترقی بخشید و از سویی دیگر با کاهش هزینه‌های تحمیلی که شامل هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم هستند، قدمی بزرگ در جهت توسعهٔ اقتصادی برداشت و جامعه را به‌سمت یک جامعهٔ توسعه‌یافتهٔ ایدئال سوق داد. برای نیل به این

1.Hazard Index
2.Safety Index

www.SID.ir

هدف، با توجه به نقش برجسته و غیرقابل‌انکار پژوهش‌ها، باید نگاه ویـژه‌ای بـه ایـن بخش وجود داشته باشد و این، حجم قابل‌توجه فعالیت‌های انجام‌شده در این زمینه را توجیه می‌کند.

نظر به اینکه در پژوهش‌های انجام‌شده، وابستگی بیش از حد به داده‌های سال‌هـای گذشته ملاحظه می‌شود و همهٔ عوامل و مؤلفه‌ها، خصوصاً مؤلفه‌های رفتاری که برای جوامع مختلف ازجمله ایران متفاوت با سایر جوامع بـوده و نقـش ارزنـده در بـروز خطرات بالقوه داشته و باوجود نقاط و یا مقاطع خطرزا (به‌عنوان علل تامه تصـادف)، در یک لحظهٔ آنی تبدیل به یک خطر بالفعل می‌شوند، منظور نشـده‌انـد؛ بنـابراین تـا رسیدن به نقطهٔ ایدئال در بحث ایمنی جاده‌ها، به‌خصوص در ایـران، فاصـلهٔ زیـادی وجود دارد. ازاین‌رو لزوم انجام مطالعات بیشتر و جامع‌تـر در جهـت برطـرف‌کـردن مشکلات پژوهش‌های قبلی و همچنین ارائهٔ راهکارهای جدید برای شناسایی و رفـع نقاط پرحادثه، بر اساس مؤلفه‌های ترافیکی و هندسی مسیر و محل وقوع تصـادفات، بیش‌ازپیش احساس می‌شود.

پیشینهٔ پژوهش

مدل‌های ایمنی راه به سه دستهٔ ماکروسکوپیک[1] (کلی)، میکروسـکوپیک[2] (جزئـی) و مازوسکوپیک[3] (جزئی و کلی) تقسیم می‌شوند که هرکدام از آن‌ها می‌تواند به‌صورت مدل‌های توضیحی یا پیش‌بینـی باشـند. در ادامـه، مطالعـاتِ موجـود در ایـن زمینـه جمع‌آوری شده‌اند. پژوهشگران داخلی در دانشگاه‌های معتبـر کشـور از سـال ۱۳۸۰ تاکنون مطالعات مختلفی داشته‌اند که در این بخش به اهم آن‌ها و نتایج به‌دست‌آمـدهٔ اشاره می‌گردد.

1.Macroscopic
2.Microscopic
3.Mesoscopic

www.SID.ir

آنالیز تصادفات از موضوعات مهم در مطالعات حمل‌ونقل می‌باشد. در پژوهشی، برای تعریف شاخص خطر راه به‌عنوان یک فاکتور مهم در مطالعات ایمنی راه‌ها، از تخلفات ترافیکی رانندگان جهت تعیین نقش عامل انسانی در شاخص خطر بالقوهٔ راه استفاده شده است. در پژوهش مذکور، ابتدا با بررسی آمار و علل سوانح جاده‌ای از بین تخلفات رانندگی ثبت‌شده در محورها، تخلفات مهم و حادثه‌ساز انتخاب‌شده‌اند؛ از طرف دیگر، با بررسی تصادفات در فاصلهٔ زمانی موردنظر، تصادفات بر اساس شدت (خسارتی، جرحی و فوتی) و بازهٔ زمانی یک‌ماهه استخراج و با استفاده از ضرایب معادل‌سازی مناسب، شاخص خطر راه بر اساس آن‌ها ساخته شده است. پس از آن با روش مدل‌سازی آماری اقدام به ساخت انواع مدل‌های خطی و غیرخطی گردیده و مدل بهینه از بین آن‌ها انتخاب شده و با استفاده از آزمون استیودنت، دو نمونهٔ وابسته (زوج شده) مورداعتبارسنجی قرار گرفته است. نتایج مطالعهٔ مذکور نشان داد که تخلفات عدم رعایت فاصلهٔ طولی، سبقت غیرمجاز و سرعت غیرمجاز به‌ترتیب بیشترین تأثیر را در افزایش شاخص خطر بالقوهٔ راه دارند (افندی‌زاده، ۱۳۹۳).

در مقاله‌ای نیز به بررسی تأثیرات شاخص‌های ایمنی راه‌های برون‌شهری و اولویت‌بندی آن‌ها بر اساس میزان تأثیر آن‌ها بر شدت و تعداد تصادفات پرداخته شده است. در این راستا، نویسنده، ابتدا شاخص‌های ایمنی راه‌های برون‌شهری ایران و تعدادی از کشورهای دیگر را بررسی کرده و با مدنظر قراردادن شرایط ایران، مهم‌ترین آن‌ها را انتخاب نموده است. در گام بعدی، برگه‌های نظرسنجی به‌صورت پرسش‌نامه‌ای جهت آگاهی‌یافتن از نظر کارشناسان در مقایسهٔ اولویت شاخص‌های انتخاب‌شده از دو زاویهٔ دید شدت و تعداد تصادفات تهیه شده و سپس برگه‌های نظرسنجی توسط خبرگان (کارشناسان مربوطه) جهت اولویت‌بندی این شاخص‌ها امتیازدهی شده است. در ادامه، با استفاده از نتایج استخراج‌شده از برگه‌های

www.SID.ir

نظرسنجی، به اولویت‌بندی شاخص‌های تأثیرگذار بر تصادفات رانندگی پرداخته شده که این امر بنا به شرایط مسئله، با استفاده از روش تاپسیس[1] انجام شده است. همان‌طور که ذکر شد، در این پژوهش سعی شده که شاخص‌های ایمنی راه‌های برون‌شهری برای راه‌های ایران به‌درستی شناسایی و به‌ترتیب تأثیر آن‌ها بر نرخ و شدت تصادفات اولویت‌بندی شوند. این امر سبب می‌شود که با بودجهٔ ثابت، بتوان گامی مؤثر در جهت نیل به راه‌هایی ایمن‌تر برداشت (ستوده‌نیا، ۱۳۹۱).

صفارزاده و همکارانش با بررسی متغیرهای مؤثر بر تصادف جاده‌ای، مدلی ریاضی برای سنجش ایمنی راه‌ها ارائه کرده‌اند. در این مقاله، با بررسی مؤلفه‌های مؤثر بر تصادفات جاده‌ای و جمع‌آوری اطلاعات و مطالعات میدانی در حدود ۵۸۰ کیلومتر از راه‌های اصلی کشور، مدل موردنظر ارائه شده است. روند مدل‌سازی با توجه به آمار و اطلاعات جمع‌آوری‌شده از مؤلفه‌های دخیل با استفاده از توابع مختلف انجام شده است. برازش منحنی به اطلاعات و مقایسهٔ ضرایب همبستگی مدل‌های متفاوت، مدل پواسون را مناسب نشان داد. با کالیبره‌کردن مدل و اعتبارسنجی داده‌های دورهٔ زمانی ۶ ساله، مدل نهایی ارائه شده است. متغیر وابسته در این مدل به‌عنوان شاخص تصادف[2] (AI)، مبیّن تعداد و شدت تصادف است. شاخص خطر به‌عنوان متغیر وابسته، بیانگر تصادف‌های روی‌داده در قطعه‌راه‌های موردمطالعه است. با توجه به اینکه تصادفات جاده‌ای به سه نوع خسارتی، جرحی و فوتی تقسیم می‌شوند؛ لذا شاخص تصادفات معادل خسارتی مطابق رابطهٔ (۱) به کار برده شده است. بدین ترتیب مطابق این رابطه، شاخصی به‌عنوان شاخص تصادف که هم مبیّن تعداد و هم مبیّن شدت تصادف است، تعیین شده است:

$$EDA = DA + 3ID + 12FA \qquad (۱)$$

1.TOPSIS
2.Accident Index

www.SID.ir

مؤلفه‌های به‌کاررفته در رابطهٔ (۱) عبارتند از: EDA (تصادف خسارتی معادل)، DA (تصادف خسارتی)، ID (تصادف جرحی) و FA (تصادف فوتی).

سپس متغیر AI به‌صورت رابطهٔ (۲) تعریف شده است:

$$AI = EDA / L \qquad (۲)$$

که در آن L، طول قطعهٔ راه برحسب کیلومتر است.

سایر مؤلفه‌های موردبررسی در مقالهٔ مذکور عبارتند از: حجم تردد ترافیک روزانه[۱] (ADT)، عرض روسازی سواره‌رو[۲] (RSW)، عرض شانهٔ راه[۳] (SW)، درصد وسایل نقلیهٔ سنگین[۴] (PCV)، میزان دسترسی‌ها در هر کیلومتر[۵] (APK)، شرایط محیط راه[۶] (TC)، خطر حاشیهٔ راه[۷] (RH)، نوع ناحیهٔ اطراف راه[۸] (ALT) و درجهٔ راه[۹] (FC).

یکی از معایب عمده در برخی از مدل‌های پیش‌بینی تصادفات، استفاده از متغیرهایی نظیر تعداد تصادفات رخ‌داده یا نرخ تصادف است و تمایزی در نوع تصادفات مشاهده نمی‌شود؛ لذا در مقالهٔ مذکور، این نقص برطرف شده و معادل‌سازی انواع تصادفات انجام شده است تا در مدل موردنظر، هم عوامل دخیل و هم شدت تصادفات لحاظ گردد. در پژوهش مذکور، برای تحلیل از آنالیز برازش خطی چندگانه[۱۰] با استفاده از نرم‌افزار SPSS[۱۱] استفاده شده است. بر اساس تحلیل صورت‌گرفته، به‌جز متغیر میزان دسترسی در هر کیلومتر (APK)، سایر متغیرها از اعتبار کافی برای دامنهٔ اطمینان ۹۰ درصد و بالاتر برخوردارند؛ لذا با حذف متغیر

1.Average Daily Traffic
2.Road Surface Width
3.Shoulder Width
4.Percentage of Commercial Vehicles
5.Access per Kilometer
6.Terrain Condition
7.Roadside Hazard
8.Area Location Type
9.Functional Class
10.Multiple Linear Regression
11.Statistical Package of Social Science

www.SID.ir

مذکور، مدل برازش در رابطهٔ (۳) نشان داده شده است.

(۳)

$$AI = 0.01144 \times (ADT)^{2.41} + e^{(0.45 \times RH + 0.047 \times COV + 3.41 \times ALT - 0.83 \times FC - 0.203 \times RSW - 0.735 \times SW)}$$

نتایج مطالعهٔ مذکور نشان داده است که میزان تصادفات جاده‌ای در ایران با افزایش حجم ترافیک به مقدار قابل‌توجهی زیاد می‌شود؛ به‌عنوان‌مثال، ۲۰ درصد افزایش ترافیک راه، خطر تصادف را ۵۵ درصد افزایش می‌دهد. شکل‌گیری کاربری‌های تجاری و مسکونی در حاشیهٔ راه، خطر تصادف جاده‌ای را به‌شدت بیشتر می‌کند. راه‌های کوهستانی نسبت به سایر راه‌ها به‌شدت ناامن‌تر هستند. افزایش ۱۰ درصدی وسایل نقلیهٔ سنگین، خطر تصادفات را ۶۰ درصد بیشتر می‌کنند. تغییر درجهٔ راه از راه‌های دوخطه به بزرگراه، ۶۰ درصد بهبود ایمنی راه‌ها را دربردارد. افزایش یک متر به عرض شانهٔ راه و افزایش یک خط عبور به عرض راه، به‌ترتیب ۵۰ و ۶۰ درصد ایمنی راه‌ها را بهبود می‌بخشد (صفارزاده، ۱۳۸۵: ۲۹).

نصیری و همکارانش در مقاله‌ای، روابط محاسبهٔ شاخص خطر برای راه‌های ایران را بررسی کرده‌اند. در این مقاله پس از بحث درمورد مفاهیم پایه، تاریخچه‌ای از تکامل روابط مربوط به آن ارائه شده است. سپس مراحل دستیابی به یک رابطهٔ جدید برای تعیین شاخص خطر تشریح شده است. ویژگی عمدهٔ عوامل و اوزان عددی به‌کاررفته در این رابطه، هماهنگی و سازگاری آن‌ها با شبکهٔ ترافیکی ایران است که بر اساس نظرخواهی از متخصصان ترافیکی و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به دست آمده‌اند. رابطهٔ حاصل در دو بخش و با توجه به دوازده عامل مؤثر در تصادفات تنظیم گشته که ترکیبی از عوامل متعدد مؤثر در تصادف و نیز آمارهای پایه‌ای تصادفات می‌باشد و از دو بخش مجزا تشکیل شده است. اهمیت عوامل تشکیل‌دهنده نیز از طریق ضرب اوزان عددی در عوامل رابطه منعکس می‌شود. شکل کلی آن در روابط (۴) و (۵) نشان داده شده است.

www.SID.ir

$$HI = [S.P_0] \times [D.P_0] \quad (۴)$$

$$HI = \left[\frac{N \times W_N + R \times W_R}{W_N + W_R}\right] \times \left[\frac{\sum f_i \times W_i}{\sum W_i}\right] \quad (۵)$$

که در آن، HI: شاخص خطر اجزای شبکه برحسب عددی بین صفر تا صد، $S.P_0$: بخش آماری رابطه (عددی بین صفر تا ده)، $D.P_0$: بخش شناسایی رابطه (عددی بین یک تا ده)، N: نشانگر تعداد تصادفات در مدت‌زمانی موردمطالعه به‌صورت عدد نرمالایزشده بین صفر تا ده، R: نشانگر نرخ تصادفات در مدت‌زمانی موردمطالعه به‌صورت عدد نرمالایزشده بین صفر تا ده، f: نشانگر عامل مؤثر در تصادفات، به‌صورت نرمالایزشده بین یک تا ده، W_i: نشانگر وزن عامل، W_N: نشانگر وزن تعداد تصادفات و W_R: نشانگر وزن نرخ تصادفات می‌باشد.

در بخش آماری رابطه مذکور سه عامل حضور دارند که عبارتند از تعداد تصادفات، نرخ تصادفات و شدت تصادفات. از بین این سه عامل، دو عامل اول به‌شکل مستقیم و با وزن‌های برابر وارد رابطه شده، ولی عامل شدت تصادفات به‌شکل غیرمستقیم و از طریق اعمال اثر بر تعداد خام تصادفات در رابطه منعکس گشته است. بر اساس مطالعهٔ هزینه‌های تصادفات در ایران، از رابطهٔ (۶) برای محاسبهٔ تعداد تصادفات معادل تصادفات خسارتی استفاده شده است:

$$PDE = 11.5F_a + 4.5HI_a + 1.9LI_a + PDQ_a \quad (۶)$$

که در آن، F_a: تعداد تصادفات فوتی، HI_a: تعداد تصادفات جرحی شدید، LI_a: تعداد تصادفات جرحی سبک و PDQ_a: تعداد تصادفات خسارتی است.

در مقالهٔ مذکور برای بخش شناسایی، به عوامل مؤثر در تصادف توجه شده است. به این منظور، نه عامل مؤثر در تصادفات که ارتباط مستقیم با فیزیک اجزای شبکه دارند، انتخاب شدند که عبارتند از:

- عامل اول: نواقص طرح هندسی؛

www.SID.ir

- عامل دوم: نبود مسافت دید مناسب؛
- عامل سوم: نواقص شبکهٔ چراغ‌های راهنمایی و علایم؛
- عامل چهارم: نواقص شبکهٔ روشنایی؛
- عامل پنجم: بالابودن حجم ترافیک نسبت به ظرفیت راه؛
- عامل ششم: موانع داخل حریم راه؛
- عامل هفتم: نواقص شبکهٔ زهکشی و لغزندگی سطح روسازی؛
- عامل هشتم: عرض کم خطوط عبور ترافیک؛ و
- عامل نهم: خرابی‌های روسازی.

نتایج نهایی اعمال روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در جدول ۱ نشان داده شده که با مشخص‌شدن نشانگرهای عوامل و اوزان آن‌ها در بخش شناسایی، رابطهٔ نهایی ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمدهٔ مقاله مذکور، نحوهٔ محاسبهٔ نشانگرها به‌عنوان نقاط ضعف رابطهٔ پیشنهادی به دست آمده است؛ زیرا در برخی موارد، آمار مورداستفاده برای تولید این نشانگرها توانایی انعکاس دقیق و مناسب مشکلات موجود را ندارند. مهم‌ترین نقاط قوت رابطه نیز جامعیت، هماهنگی با شرایط ایران، انعطاف‌پذیری و سادگی آن دانسته شده است (نصیری، ۱۳۸۵: ۱).

در یک پژوهش دیگر، شاخص‌های ایمنی راه‌های دوخطه بررسی و تعیین شده است. شاخص ایمنی راه‌ها به‌عنوان یک فاکتور مهم در مطالعات ایمنی راه‌ها، تصمیم‌گیری در اولویت‌بندی راه‌ها از نظر سرمایه‌گذاری، طرح اصلاح هندسی راه‌ها و تعمیر و نگهداری آن‌ها، مطالعهٔ تصادفات و راهکارهای کاهش آن‌ها، مطالعات پژوهشی و... در نظر گرفته می‌شود. این شاخص وابسته به ترکیبی از فاکتورهای بالفعل و بالقوهٔ مؤثر در تصادفات می‌باشد. فاکتورهای بالفعل مانند تعداد تصادفات، شدت تصادفات و... بوده و فاکتورهای بالقوه نظیر عوامل انسانی، شرایط ترافیکی، خصوصیات محیط و راه‌ها، خصوصیات وسایل نقلیه و... در نظر گرفته شدند. در

www.SID.ir

مرحلهٔ اول، به بررسی شاخص بالفعل که در حال حاضر به کار می‌رود، اقدام نموده و بر اساس تحلیل آماری هزینه‌ها، شاخص موجود اصلاح شد. فاکتورهـای بـالقوه بـر اساس تحلیل آماری تصادفات ترافیکی و علل عوامل بروز آن‌ها مشخص گردیـده و با وزن مناسب به‌صورت بالانس‌شـده در تعیـین شـاخص ایمنـی مورداسـتفاده قـرار می‌گیرد. به‌دلیل نبود داده‌های کافی از میان فاکتورهای بالقوه فقط تـأثیر عامـل حجـم ترافیک به‌صورت مجزا در میزان ایمنی و بروز تصـادفات در راه‌هـا بررسـی گردیـد. برای این منظور، آمار بیش از چهل محور از راه‌های کشور موردبررسی قرار گرفت و روند تغییرات تعداد و نرخ تصادفات نسـبت بـه حجـم ترافیـک تعیـین شـد. نتـایج به‌دست‌آمده از این مقاله به‌صورت زیر می‌باشد (حاجی حسینلو، ۱۳۸۴).

جدول ۱. رده‌بندی نهایی عوامل بر اساس مجموع شاخص‌های سه گروه (نصیری، ۱۳۸۵: ۷)

عامل مؤثر	شاخص نهایی	رتبه نهایی
بی‌توجهی و تخلفات رانندگان	۲۵۱/۱۴	۱
نواقص طرح هندسی	۴۲۲/۱۲	۲
نقص فنی وسایل نقلیه	۲۳۹/۱۲	۳
نبود مسافت دید مناسب	۰۳۰/۱۲	۴
تداخل ترافیک وسایل نقلیه و عابران پیاده	۶۸۵/۱۱	۵
نواقص شبکهٔ چراغ‌های راهنمایی و علایم	۲۰۳/۱۱	۶
نواقص شبکهٔ روشنایی	۸۴۸/۱۰	۷
موانع داخل حریم راه	۶۴۷/۱۰	۸
بالابودن نسبت حجم به ظرفیت راه	۵۳۲/۱۰	۹
نواقص شبکهٔ زهکشی و لغزندگی روسازی	۷۵۶/۹	۱۰
عرض کم خطوط عبوری ترافیک	۷۲۲/۹	۱۱
خرابی‌های روسازی	۳۵۹/۹	۱۲

• با توجه به بررسی‌های صورت‌گرفته بر اساس هزینهٔ مسـتقیم تصـادفات، ضـرایب به‌کاررفته در رابطهٔ شدت تصادفات به‌عنـوان شـاخص ایمنـی بالفعـل در کشـور بـا واقعیت‌های هزینه‌های تصادفات مختلف، متناسب نبوده و در مقالـهٔ مـذکور اصـلاح شده است که ضرایب به‌دست‌آمده در این پژوهش برای تصـادفات منجـر بـه مـرگ

www.SID.ir

برابر ۱۵ و برای تصادفات جرحی برابر ۲ است. البته نتایج به‌دست‌آمده برای استان تهران می‌باشد و ارائهٔ دقیق ضرایب برای کل کشور نیاز به مطالعات بیشتر و آمار کامل‌تری دارد.

• پژوهش صورت‌گرفته نشان می‌دهد که با افزایش حجم ترافیک در راه‌های دوخطه، تعداد و نرخ تصادفات افزایش می‌یابد.

همان‌طور که ذکر شد، شاخص خطر، یکی از ابزارهای مدیریت ایمنی شبکه است که روابط آن برای شناسایی و رتبه‌بندی اجزای خطرزای شبکه و در برخی موارد تعیین نواقص ایمنی راه‌ها به کار می‌رود.

ازاین‌رو، تمرکز اصلی روی مدل‌های ماکروسکوپیکی می‌باشد که از آن برای توسعهٔ معیارهای بین‌المللی ایمنی راه استفاده شده است (حکیم، ۱۹۹۱؛ هارکت، ۱۹۹۶؛ وان دن، ۲۰۰۱ و ترنر، ۲۰۰۶). با توجه به دخیل‌بودن عوامل گوناگون در تصادفات جاده‌ای، موضوع ایمنی راه، موضوعی بسیار پیچیده است. مطالعات زیادی، مشخصات فاکتورهای دخیل در تصادفات و ایمنی راه را مشخص کرده‌اند که ازآن‌جمله می‌توان به ماتریکس هادون اشاره کرد که هدف اصلی آن، معرفی المان‌های اصلی ایمنی راه شامل راننده، وسیلهٔ نقلیه، علایم راه، محیط و سایر عوامل مرتبط با آن‌ها می‌باشد (هادون، ۱۹۸۳).

اولین مطالعهٔ انجام‌شده در این زمینه، مطالعهٔ اسمید (۱۹۴۹) می‌باشد که با استفاده از داده‌های مربوط به ۲۰ کشور اروپایی مختلف صورت گرفته است. شیوهٔ آنالیز داده‌ها توسط مدل رگرسیون توسعه‌یافته (مدل لگاریتم – خطی) بوده و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، یک رابطهٔ معکوس یا منفی بین خطر آمدوشد (تلفات بر وسیله نقلیه) و دارندگان وسایل نقلیه (وسیله نقلیه بر ساکنان) وجود دارد. این رابطه نشان می‌دهد که با افزایش سالیانهٔ حجم ترافیک، تلفات وسیلهٔ نقلیه کاهش می‌یابد. معادلهٔ اسمید از سال ۱۹۴۹ میلادی به‌بعد، مبنای بسیاری از مطالعات بوده و پژوهشگران دیگر نیز با

www.SID.ir

استفاده از معادلهٔ اسمید و رگرسیون، مؤلفه‌های α, β را به دست آورده و آن را با مقادیر سایر کشورها مقایسه کرده‌اند. ازجملهٔ این مطالعات می‌توان به پژوهش‌های جیکوبز و هاجینسون (۱۹۷۳)، پرسوئد (۱۹۹۹)، هایت (۱۹۸۳) و مکی (۱۹۸۵) اشاره کرد. بر اساس مطالعات مذکور، معادلهٔ اسمید، تخمینی بسته از داده‌ها ارائه می‌دهد که از آن می‌توان برای کشورهای مختلف در بازه‌های گوناگون α, β استفاده نمود.

اسمید نشان داد که تلفات رانندگی[1] (F) هر کشور در یک سال با تعداد وسایل نقلیهٔ موجود (ثبت‌شده)[2] (V) و جمعیت[3] (P) هر کشور مرتبط است که در رابطهٔ (۷) نشان داده شده است.

$$F/V = \alpha\left(V/P\right)^{-\beta} \qquad (۷)$$

رابطهٔ (۷)، رابطه‌ای بسیار معروف و محبوب در بین پژوهشگران کشورهای مختلف می‌باشد که از آن به‌عنوان فرمول اسمید یا حتی قانون جداگانه نام‌برده می‌شود. در این رابطه، $\alpha = 0.003, \beta = 2/3$ تخمین زده شده است. در ادامه، به مطالعات اخیر در زمینهٔ مدل‌های مختلف شناسایی و اولویت‌بندی خطر در مطالعات مختلف خارج از کشور اشاره و نهایتاً به نقدهای موجود در مطالعات اسمید و سایر پژوهشگران پرداخته شده است.

روسولینو و همکارانش (۲۰۱۴)، پژوهشگران ایتالیایی، از توسعهٔ سیستم‌های ارتباطی که یکی از اهداف مهم فناوری اطلاعات است، برای تشخیص و اطلاع‌رسانی عوامل خطر به رانندگان و کاربران راه استفاده نموده‌اند که همین امر، سبب ایجاد سیستم حمل‌ونقل ایمن و راحت برای کاربران راه خواهد بود. فرضیهٔ مذکور، مبنای طرح پژوهشی «ارتباط برای جابه‌جایی»[4] (M۲M)، دانشگاه کالابریا[1] کشور ایتالیا

1.Fatalities
2.Registered Vehicles
3.Population
4.Mobile to Mobility

www.SID.ir

می‌باشد. پژوهش مذکور، اولین مجموعه از روش‌شناسی ویژگی‌های زیرساخت مربوط به خطر رانندگی شامل شاخص ایمنی عملکردی راه و شاخص خطر (RI) را ارائه می‌دهد. سالواتور کافیسیو و همکارانش (۲۰۰۶) برای ارزیابی ایمنی راه‌های دوخطهٔ برون‌شهری از مدل تجربی بایاس[۲] (EB) استفاده نموده‌اند. در پژوهش مذکور از روش تحلیلی مدل‌های علایم حاشیهٔ راه و بازرسی ایمنی استفاده شده است. چنانچه اطلاعات مربوط به خرابی راه در دسترس نباشد و یا اینکه غیرقابل‌اعتماد باشد، می‌توان از این روش استفاده کرد. بر اساس تعریف، شاخص ایمنی راه[۳] (SI)، یک کمیّت اندازه‌گیری مرتبط با ایمنی عملکردی بخشی از راه است که بر اساس فرمول‌های به‌دست‌آمده، ترکیبی از سه عامل زیر می‌باشد که در رابطهٔ (۸) نشان داده شده است.

- در معرض قرارگیری خطر راه توسط کاربران؛
- احتمال تصادف راننده؛
- وقایع پس از رخداد تصادف.

(۸)

$$SI = \text{Exposure factor} \times \text{Accident Frequency factor} \times \text{Accident Severity factor}$$

در پژوهش مذکور، مقادیر SI برای ۳۰ مسیر مختلف از راه‌های دوخطهٔ برون‌شهری ایتالیا با مقادیر به‌دست‌آمده از روش EB با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن[۴] مقایسه شده است. همان‌طور که ذکر شد، از مدل تجربی بایاس (EB)، برای پیش‌بینی تصادف از متغیرهای توضیحی که عبارتند از طول مسیر موردمطالعه و متوسط سالیانهٔ حجم ترافیک روزانه[۵] (AADT) و با فرض توزیع دوجمله‌ای منفی[۱]

1.Calabria
2.Empirical Bayes
3.Safety Index
4.Spearman's rank-correlation
5.Annual Average Daily Traffic

www.SID.ir

از مدل خطی عمومی[۲] (GLIM) برای برازش داده‌ها استفاده شده است. ازآنجایی‌که تصادف جاده‌ای یک رابطهٔ غیرخطی با حجم ترافیک و طول مسیر دارد؛ لذا بر اساس مطالعات انجام‌شده، مدل رگرسیون معمولی کارا نمی‌باشد. مدل به‌دست‌آمده با استفاده از روش GLIM در رابطهٔ (۹) نشان داده شده است.

$$\hat{E}(Y) = e^{a_0} \times L^{a_1} \times AADT^{a_2} \qquad (۹)$$

که در آن، Ê(Y): فراوانی تصادف پیش‌بینی‌شده (در بازهٔ زمانی ۵ ساله)، L: طول مسیر برحسب کیلومتر، AADT: متوسط سالیانهٔ حجم ترافیک روزانه (وسیله نقلیه بر روز) و a_0 ,a_1,a_2: ضرایب تجربی مدل هستند.

مؤلفه‌های مهم به‌دست‌آمده از نرم‌افزار برای مدل مذکور در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. مؤلفه‌های به‌دست‌آمده از مدل برای بهترین برازش (کافیسو، ۲۰۰۶)

Df	Parameter	Estimate	t-ratio	$t_{0.10,\,27}$	k	SD	*Pearson* χ^2	$\chi^2_{0.10,\,27}$	Log Likelihood
	a_0	-5.861	-2.48						
27	a_1	0.601	1.85	1.70	3.56	34.09	26.44	36.74	-18.84
	a_2	0.747	2.59						

معادلهٔ مربوط به مقیاس انحراف[۳] (SD) برای توزیع دوجمله‌ای منفی و شاخص آماری χ^2 پیرسون در روابط (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است.

$$SD = 2\sum_{i=1}^{n}\left[y_i \ln\left(\frac{y_i}{\hat{E}(y_i)}\right) - (y_i + k)\ln\left(\frac{y_i + k}{\hat{E}(y_i) + k}\right)\right] \qquad (۱۰)$$

که در آن، SD: مقیاس انحراف، y_i: تعداد تصادفات مشاهده‌شده در مسیر i، Ê(y_i): تعداد تصادفات پیش‌بینی‌شده در مسیر i و K: پارامتر توزیع دوجمله‌ای منفی است.

1.Negative Binomial Distribution
2.Generalized Linear Modeling
3.Scaled Deviance

www.SID.ir

$$Pearson\,\chi^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[y_i - \hat{E}(y_i)\right]^2}{Var(y_i)} \qquad (۱۱)$$

که در آن، $Var(y_i)$ واریانس تصادفات مشاهده‌شده می‌باشد. برای اصلاح مدل رگرسیون و نشان‌دادن پیش‌بینی بهتر فراوانی تصادفات موردانتظار از روش بایاس تجربی (EB) استفاده شده که این مدل در رابطهٔ (۱۲) نشان داده شده است.

$$EB = \left(\frac{\hat{E}(Y)}{k + \hat{E}(Y)}\right) \times (k + count) \qquad (۱۲)$$

که EB، روش بایاس تجربی برای تخمین فراوانی تصادف و Count، فراوانی تصادفات مشاهده‌شده است.

مقادیر به‌دست‌آمده از مدل تخمین ایمنی EB با مقادیر SI با یکدیگر مقایسه شده‌اند که نشان‌دهندهٔ همبستگی بالای مقادیر برای این دو روش می‌باشد. همان‌طور که گفته شد، تصادفات جاده‌ای از تعامل المان‌های راننده، راه، وسیلهٔ نقلیه و عوامل محیطی حادث می‌شود. بااین‌وجود، راه و مسیر عبور وسایل نقلیه، جزء مهمی می‌باشد که بهبود در شرایط آن باعث افزایش ایمنی کاربران راه خواهد شد. از سال ۲۰۰۸ الی ۲۰۱۰ میلادی، پروژهٔ بازرسی ایمنی راه‌ها توسعه داده شده که هدف آن، شناسایی و جمع‌آوری اطلاعات نقاط حادثه‌خیز در شبکهٔ راه‌های اسپانیا و جمع‌آوری یک پایگاه درمورد این نقاط است. لوئیس مارتین (۲۰۱۴)، پژوهشگر اسپانیایی با شناسایی نقاط حادثه‌خیز[1]، بهبود ایمنی راه‌های این کشور را موردبررسی قرار داده است. در مقالهٔ مذکور تلاش شده تا با تجزیه‌وتحلیل اطلاعات جمع‌آوری‌شده در پایگاه داده‌ها و با روش داده‌کاوی پیشرفته[2]، رابطهٔ بین عناصر حساس به بهبود[3] (ESM)، تعداد تصادفات و نقاط حادثه‌خیز بررسی شود. مقالهٔ مذکور ازلحاظ

1.Hazardous Points
2.Advanced Data Mining
3.Susceptible Elements of Improvement

www.SID.ir

اقتصادی، با توجه به محدودیت منابع مالی دولت نیز می‌تواند راهگشا و مقرون‌به‌صرفه باشد.

پایگاه داده در این مقاله شامل سه بخش اصلی زیر است:

- عناصر حساس برای بهبود (ESM)؛
- دادهٔ مربوط به راه‌ها؛
- دادهٔ تصادفات جاده‌ای.

زمانی که در نقطه‌ای از راه، انحراف از شرایط ایدئال ایمنی ایجاد می‌شود، عناصر حساس برای بهبود (ESM) وجود خواهد داشت؛ برای مثال، در نقاط دسترسی یک راه باید محل و نحوهٔ مانور راننده با استفاده از تابلوی راهنمایی به‌خوبی مشخص شده باشد. چنانچه تابلوی نصب‌شده با شرایط استاندارد و ایدئال آیین‌نامهٔ مربوطه فاصله داشته باشد، به‌عنوان ESM شناخته می‌شود. علایم راه، تابلوها، گاردریل، تقاطع، میدان، تونل و ورودی راه‌ها از عناصر ESM می‌باشند. برای پردازش مقالهٔ مذکور در مرحلهٔ اول، باید یک بانک اطلاعاتی از داده‌های مذکور (ESM، دادهٔ راه و آمار تصادفات) جمع‌آوری شده و در مرحلهٔ بعد هم نقاط یا بخش‌های حادثه‌خیز مشخص شود. بدین منظور داده‌های متوسط سالیانهٔ حجم ترافیک روزانه (AADT) و تعداد تصادفات راه ملزوم می‌باشد. در ادامه، داده‌های بی‌ربط که یک‌دستگی مجموعه را زیر سؤال می‌برند، حذف می‌شوند. تعاریف مختلفی برای نقاط حادثه‌خیز بیان شده است. در برخی از کشورها، این نقاط با مقایسهٔ سطح طبیعی امنیتی و با استفاده از داده‌های ثبت‌شده یا تخمینی مشخص می‌شوند. در پژوهش مذکور که مربوط به راه‌های اسپانیا است، از شیوهٔ منصوب به همین کشور استفاده می‌شود. در اسپانیا، مکان یا نقاط حادثه‌خیز راه، مناطقی هستند در هر یک کیلومتر که در آن‌ها هم تعداد مجروحان تصادف در یک بازهٔ زمانی پنج‌ساله و هم میانگین شاخص خطر[1] در آن

1 Hazardousness Index

www.SID.ir

نقاط از متوسط مقادیر مذکور برای مناطق مشابه بیشتر باشد؛ در انتها از روش داده‌کاوی[1] برای آشکارسازی روابط پنهان، بین کاراکترهای ESM، راه و تصادف استفاده شده است. روش داده‌کاوی، استخراج از اطلاعات ضمنی، ناشناخته و بالقوهٔ مفید است. هدف این روش، کشف و تجزیه‌وتحلیل تعداد زیادی از داده‌ها برای پیداکردن الگوی معنادار است. روش مذکور بر اساس نوع پردازش استخراج داده، به دو دستهٔ یادگیری نظارتی[2] و نظارت‌نشده[3] تقسیم می‌شود (مارتین، ۲۰۱۴).

نتایجی که از مقالهٔ مذکور به دست می‌آیند، عبارتند از:

- در بیشتر مطالعات، برای مدل‌سازی تصادفات از الگوهای آماری سنتی استفاده شده بود؛ اما در این مقاله، از روش جدید داده‌کاوی داده‌ها برای مدل‌سازی استفاده شده است. روش داده‌کاوی با شناسایی و استخراج الگوهای رفتاری حوادث و سوانح، کاربرد بیشتری برای کارشناسان خواهد داشت.
- ارتباط بین ESM و تصادفات جاده‌ای، عوامل خطرناک راه را آشکار می‌سازد و این امر به بهبود ارتقای ایمنی راه‌های خطرناک کمک خواهد کرد.

در مطالعهٔ انجام‌شده توسط ادیلیکه (۲۰۱۳) پژوهشگر کشور نیجریه، نرخ تصادفات در راه‌های این کشور موردبررسی قرار گرفته است. در این مطالعه با تحلیل و آنالیز داده‌های تصادف جاده‌ای کشور نیجریه، نقاط پرحادثهٔ[4] (HAL) این کشور شناسایی‌شده و با برآورد نرخ تصادفات و در صورت بالابودن این شاخص، تلاش برای بهبود ایمنی راه‌های کشور صورت می‌گیرد. مؤلفه‌های مورداستفاده در این مطالعه عبارتند از کیلومتر / مایل سفر از وسایل نقلیه، جمعیت، وسایل نقلیهٔ ثبت‌شده و کیلومتر / مایل راه‌های آسفالتی. شاخص نرخ تصادف محاسبه‌شده بر پایهٔ مؤلفه‌های

1.Data Mining
2.Supervised
3.Unsupervised
4.High Accident Locations

www.SID.ir

مذکور عبارتند از:

۱.شاخص تصادف مبتنی بر سفر[1]: نرخ تصادف در هر ۱۰۰ میلیون مایل، وسیلهٔ نقلیه یا کیلومتر، وسیلهٔ نقلیه (HMVM یا HMVK)؛

۲.شاخص تصادف مبتنی بر جمعیت[2]: نرخ تصادف در هر ۱۰۰۰۰۰ نفر (PAR)؛

۳.شاخص تصادف مبتنی بر وسیلهٔ نقلیه[3]: نرخ تصادف در هر ۱۰۰۰۰ وسیلهٔ نقلیه ثبت‌شده (VAR)؛ و

۴.شاخص تصادف مبتنی بر کیلومتراژ[4]: نرخ تصادف در هر ۱۶۱۰ کیلومتر از راه‌های آسفالت شده (KAR).

دیگر شاخص مورداستفاده در ایمنی راه‌ها، شاخص خطر تصادف[5] (AHI) می‌باشد. برای محاسبهٔ این مؤلفه از شاخص تصادف مبتنی بر جمعیت (PAI)، شاخص تصادف مبتنی بر وسیلهٔ نقلیه (VAI) و شاخص تصادف مبتنی بر کیلومتراژ (KAI) استفاده می‌شود که روش محاسبهٔ هرکدام در روابط (۱۳) الی (۱۵) نشان داده شده است (شین، ۱۹۸۶).

$$PAI_{iy} = \frac{X_{iy} / P_{iy}}{\sum X_{iy} / \sum P_{iy}} \qquad (۱۳)$$

$$VAI_{iy} = \frac{X_{iy} / V_{iy}}{\sum X_{iy} / \sum V_{iy}} \qquad (۱۴)$$

$$KAI_{iy} = \frac{X_{iy} / K_{iy}}{\sum X_{iy} / \sum K_{iy}} \qquad (۱۵)$$

که در آن، PAI_{iy}: شاخص نرخ تصادف مبتنی بر جمعیت در موقعیت i برای سال y

1.Travel-Based Accident Index.
2.Population Based Accident Index
3.Vehicle Based Accident Index
4.Kilometreage Based Accident Index
5.Accident Hazard Index

www.SID.ir

VAI_{iy}: شاخص نرخ تصادف مبتنی بر وسیله نقلیه در موقعیت i برای سال y، KAI_{iy}: شاخص نرخ تصادف مبتنی بر کیلومتراژ در موقعیت i برای سال y، X_{iy}: تعداد مجروحی و فوتی تصادفات در موقعیت i برای سال y، P_{iy}: جمعیت در موقعیت i برای سال y و K_{iy}: کیلومتراژ راه‌های آسفالتی موقعیت i برای سال y است.

در نهایت، مؤلفهٔ شاخص خطر تصادف (AHI) از میانگین سه مؤلفهٔ PAI، VAI و KAI که در رابطهٔ (۱۶) نشان داده شده، حاصل می‌شود.

$$AHI_{iy} = \frac{PAI_{iy} + VAI_{iy} + KAI_{iy}}{3} \qquad (۱۶)$$

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده توسط ادیلیکه (۲۰۱۳)، در سال‌های ۱۹۹۶ الی ۱۹۹۸ میلادی، شاخص خطر تصادف (AHI) در ۱۴ محل بیشتر از یک بوده است؛ درحالی‌که این عدد در سال‌های ۲۰۰۵ الی ۲۰۰۷ به ۱۸ محل رسیده که نشان‌دهندهٔ وضعیت وخیم نرخ تصادف در این کشور بوده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهندهٔ مشکلات ایمنی در نقاط حادثه‌خیز (HAL) بوده است؛ لذا این نقاط باید ازلحاظ ایمنی ارتقا و بهبود یابند.

کافیسو و همکارانش (۲۰۰۶) یک فرایند ارزیابی کمّی ایمنی برای شناسایی و رتبه‌بندی قطعات راه ارائه کرده‌اند. آن‌ها نشان دادند که باوجود ماهیت ذهنی و شخصی‌بودن بازرسی‌های ایمنی، بین رتبه‌بندی نقاط بر اساس شاخص خطر تعریف‌شده با رتبه‌بندی نقاط به روش بیزین تجربی از نظر آماری سطح معنی‌دار هماهنگی وجود دارد. در این روش، بازرسی‌ها با استفاده از چک‌لیست‌های مربوط به ویژگی‌های اصلی راه انجام می‌شود. چک‌لیست‌ها برای دو جهت راه و معمولاً در گام‌های ۲۰۰ متری پر می‌شوند.

www.SID.ir

شاخص خطر[1] (HI)، از سه مؤلفهٔ کلی خطر شامل درمعرض‌خطرقرارگرفتن کاربران راه، احتمال درگیرشدن در تصادف (شاخص فراوانی تصادف) و شرایط منتج از تصادف (شاخص شدت تصادف) تشکیل می‌شود (رابطهٔ ۱۷).

(۱۷)HI = شاخص میزان در معرض خطر قرارگیری × شاخص فراوانی تصادف × شاخص شدت تصادف

هرچه تعداد وسایل نقلیه و طول یک قطعهٔ راه بیشتر باشد، خطر تصادف برای کاربر راه و درنتیجه تعداد تصادفات محتمل در آن قطعه بیشتر می‌شود. شاخص میزان درمعرض‌خطرقرارگیری[2] با رابطهٔ (۱۸) تعیین می‌شود.

$$\text{شاخص میزان در معرض خطر قرارگیری} = \boldsymbol{L \times AADT} \qquad (۱۸)$$

که در آن، L: طول قطعهٔ راه (کیلومتر) و AADT: متوسط سالیانهٔ ترافیک روزانه (برحسب ۱۰۰۰ وسیله در روز) می‌باشد. شاخص فراوانی تصادف به ویژگی‌های قطعه بستگی دارد و به‌صورت رابطهٔ (۱۹) محاسبه می‌شود.

$$\text{شاخص فراوانی تصادف} = \boldsymbol{RSI\ AF \times GD\ AF} \qquad (۱۹)$$

که در آن RSI AF، فاکتور فراوانی تصادف ناشی از بازرسی ایمنی راه و GD AF فاکتور فراوانی تصادف ناشی از ارزیابی سازگاری طرح هندسی می‌باشد که به‌صورت روابط (۲۰) الی (۲۲) محاسبه می‌شوند.

$$RSI\ AF = \prod_{j=1}^{l} AF_j \qquad (۲۰)$$

$$AF_j = 1 + WS_j \times \Delta AF_j \times P_j \qquad (۲۱)$$

$$WS_j = \frac{1}{2 \times n \times m_j} \times \sum_{i=1}^{m_j} \sum_{k=1}^{2 \times n} S_{ik} \qquad (۲۲)$$

که در آن، S_{ik}: امتیاز زیربخش مشکل ایمنی i در واحد بازرسی k، n: تعداد واحدهای بازرسی که یک قطعه را تشکیل می‌دهند، m_j: تعداد زیربخش‌های مشکل ایمنی j، 2:

1.Hazard Index
2.Exposure

www.SID.ir

نشان‌دهندهٔ دو جهت بازرسی، WS_j : امتیاز وزن‌دار مشکل ایمنی j، AF_j: فاکتور فراوانی تصادف مربوط به مشکل ایمنی j، ΔAF_j : افزایش نسبی تخمین‌زده‌شده در خطر تصادف در اثر مشکل ایمنی j، P_j: سهم انواع تصادفات از کل تصادفات که توسط عامل j تحت تأثیر قرار می‌گیرند و I: تعداد مشکلات ایمنی (در این مدل برابر با ۸) است.

با توجه به شاخص‌های درگیر در مدل‌های معیارهای ایمنی راه، این مدل‌ها توسعه پیدا کرده و از مدل‌های ساده به مدل‌های پیچیده‌تری تبدیل شده‌اند. به‌طورکلی، در بین کشورهای مختلف برای تعیین معیار ایمنی بین‌المللی راه‌ها، از چهار معیار استفاده می‌شود (ال حاجی، ۲۰۰۲):

۱) معیار تولید: برای مقایسهٔ نرخ مرگ‌ومیر در تصادفات جاده‌ای؛

۲) معیار عملی: برای مقایسهٔ عملکردی انسان – راه[1] (استفاده از کمربند ایمنی، کلاه ایمنی، سطح راه و...)؛

۳) معیار استراتژیک: برای مقایسهٔ برنامهٔ ملی ایمنی راه‌ها (NRSP)، مدیریت، اجرا و چهارچوب سازمانی؛ و

۴) معیار یکپارچه: برای مقایسهٔ کشورها با یکدیگر در معیارهای قبلی.

رومر (۱۹۹۹) عوامل و مسائل مرتبط با ایمنی راه را تابعی از سه عامل مهمِ در معرض[2] و برخورد با خطر و عوامل پس از آن می‌داند. این فعالیت‌های پژوهش‌ها به تعداد زیادی از برنامه‌های کاربردی و تجزیه‌وتحلیل در سطوح خرد و کلان منجر شده است.

مطالعاتِ انجام‌شده در چند دههٔ اخیر نشان می‌دهد که عناصر طراحی، بر ایمنی راه مؤثرند. المان‌های طراحی شامل ویژگی‌های مقطع عرضی، مسیر افقی، مسیر عمودی،

1.Human-Vehicleroad
2.Exposure

www.SID.ir

شانه‌های راه، طراحی تقاطع (هم‌سطح و غیرهم‌سطح)، روشنایی، دسترسی‌ها و نحوهٔ کنترل آن‌ها و کیفیت روسازی است. در بسیاری از مطالعات انجام‌شده در این زمینه و مدل‌های ارائه‌شده برای کشف ارتباط بین نرخ تصادف و المان‌های طراحی از تحلیل برازش استفاده شده که در ادامه، چند مدل ارائه می‌شود.

بر اساس اطلاعات تصادف سال‌های ۱۹۸۵ الی ۱۹۹۰ در ایالات متحده آمریکا، در یک قطعه راه، تعداد تصادفات در مدت‌زمانی معیّن مطابق رابطهٔ (۲۳) بوده است (FHWA، ۱۹۹۷).

$$Y = a(DVMT)^{\alpha} \times e^{\sum \beta_i x_i} \qquad (۲۳)$$

که در آن، Y: تعداد تصادفات پیش‌بینی‌شدهٔ سالیانه، DVMT: تعداد وسایل نقلیه – مایل در هر روز، a,α,β : ضرایب ثابت و متغیرهای x_i عبارتند از متوسط درجه‌بندی خطرناکی کنار راه (از ۱ تا ۷ به ترتیب کم‌خطر و پرخطر)، کنترل دسترسی‌ها (کنترل ناقص=۰، بدون کنترل=۱)، تعداد دسترسی‌های محلی در هر مایل، تقاطع‌ها با خطوط گردشی در هر مایل، تقاطع‌ها بدون خطوط گردشی در هر مایل، ردهٔ عملکردی راه (شریان‌های اصلی بین‌شهری=۱، شریان‌های فرعی (جمع و پخش‌کننده)= ۰)، عرض شانه (فوت)، عرض میانه (فوت)، ناحیهٔ قرارگیری (گذرنده در شهرک‌ها و مناطق پرجمعیت=۱، غیره=۰)، عرض روسازی راه (فوت)، نوع میانه و درصد وسایل نقلیهٔ سنگین است.

در این رابطه، عرض روسازی راه، نوع میانه و درصد وسایل نقلیهٔ سنگین، متغیرهایی بودند که بررسی شده و تأثیر آن‌ها بر سهم تصادفات ناچیز بوده است و در رابطهٔ (۲۵) منظور نشده است.

در مقابل به‌طور هم‌زمان، بسیاری از مطالعات ازجمله (براتون، ۱۹۸۸؛ اندرسون، ۱۹۸۵ و آدامز، ۱۹۸۷) نیز از معادلهٔ اسمید انتقاد کرده‌اند. مشکل دیگر معادلهٔ اسمید، درنظرگرفتن مؤلفه‌های جمعیت و وسایل نقلیه به‌عنوان تنها ارزش‌های یک کشور که

www.SID.ir

بر آمار مرگ‌ومیر تصادفات جاده‌ای اثرگذار است، می‌باشد. این نیز به‌معنای عدم توجه به اقدامات ایمنی راه است؛ چراکه به‌سادگی می‌توان نرخ مرگ‌ومیر جاده‌ای را با شمارش تعداد وسایل نقلیه و جمعیت هر کشور و در هر سال محاسبه کرد. بر اساس مدل اسمید، افزایش تعداد وسایل نقلیه باعث کاهش خطر ترافیک می‌شود؛ اما اندرسن با اشاره به غیرخطی‌بودن این رابطه، آن را نقد کرده است. وی پیشنهاد داده که نرخ مرگ‌ومیر با V^{B_4} مرتبط است و مؤلفهٔ B_4، رابطهٔ زیادی با خصوصیات هر کشور دارد، حتی اگر کشورها ازلحاظ موتوریزه‌شدن در یک سطح باشند. علاوه‌براین، اسمید برای تجزیه‌وتحلیل از داده‌های مربوط به یک سال استفاده کرده؛ درحالی‌که برای آنالیز آن‌ها از سری‌های بدون زمان استفاده کرده است (آدامز، ۱۹۸۵). براتون (۱۹۸۸) نشان داده است که به‌طورکلی، معادلهٔ اسمید معتبر نمی‌باشد.

ناوین و همکارانش، معادلهٔ اسمید را به یک تابع سه‌بعدی گسترش داده‌اند که وابسته به سه مؤلفهٔ خطر ترافیک[1]، خطر شخصی[2] و موتوریزه‌شدن[3] است (رابطهٔ (۲۴)). معادلهٔ مذکور، داده‌های کشور کانادا (۱۹۹۰-۱۹۱۰)، ایالات متحده (۱۹۹۱-۱۹۰۶) و بریتانیا (۱۹۹۰-۱۹۰۵) را پشتیبانی کرده است (ناوین و همکاران، ۱۹۹۴).

$$T = T_f e^{\frac{-M}{M_0}} \qquad (۲۴)$$

که در آن: M_0: حجم موتوریزه‌شدن برای حداکثر خطر شخصی، T_f: محل برخورد منحنی نمایی با محور T، T: خطر ترافیک (مرگ‌ومیر بر تعداد وسیلهٔ نقلیه) و M: موتوریزه‌شدن (وسیلهٔ نقلیه بر جمعیت) است.

تاکنون مطالعات زیادی در ارتباط با شناسایی نقاط حادثه‌خیز جاده‌ها با استفاده از شاخص خطر انجام شده است. نوردن و همکارانش (۱۹۹۴) با استفاده از تقریب

1.Traffic Risk
2.Personal Risk
3.Motorisation

www.SID.ir

توزیع پواسون و درنظرگرفتن ۰/۵ درصد احتمال وقوع، رابطهٔ (۲۵) را برای شناسایی نرخ بحرانی شبکهٔ پیشنهاد نموده است.

$$UCL_R = \overline{R} + 2.576\sqrt{\overline{R}/DQ} + 0.829/(DQ) + 1/(2DQ) \qquad (۲۵)$$

که در آن، D: طول مقطع موردنظر، Q: تعداد وسایل نقلیهٔ عبورکننده از مقطع موردنظر در مدت‌زمان مشخص، R: نرخ تصادف مشاهده‌شده برحسب‌تصادف بر وسیلهٔ نقلیه – کیلومتر، $\overline{R}$: میانگین مقادیر R برای نقاط با خصوصیات مشابه و UCL_R: حدود کنترلی بالایی برای تعداد (X) و نرخ R تصادف مشاهده‌شده است.

نوردن و همکارانش، اساس رده‌بندی نقاط را بر اختلاف میان تعداد تصادفات مشاهده‌شده در هر نقطه و میزان موردانتظار تصادفات برای آن نقطه قرار دادند و پیشنهاد نمودند که برای تعیین تعداد تصادفات قابل‌انتظار ($E\{m\}$) از یک مدل چندمتغیره استفاده شود. دیکن و همکارانش با طرح بحث تفاوت میان نقاط و مقاطع حادثه‌خیز، وزن‌هایی عددی برای هر نوع تصادف پیشنهاد نمودند.

نومن و همکارانش، مدل پیش‌بینی تصادف را با استفاده از اجزای مقطع عرضی راه در قطعه‌راه‌های مستقیم مطابق رابطهٔ (۲۶) پیشنهاد داده‌اند (تیموتی، ۱۹۸۳).

$$A = a.(ADT)^{\alpha} \prod \beta_i.X_i \qquad (۲۶)$$

که در آن، A: تعداد تصادفات گریز از ترافیک، شاخ‌به‌شاخ، پهلوبه‌پهلو در جهت مخالف، پهلوبه‌پهلو در جهت موافق در هر مایل و در سال است (تصادف مرتبط)، ADT: حجم ترافیک روزانهٔ متوسط در دو جهت (وسیلهٔ نقلیه بر ساعت)، a,α,β: ضرایب ثابت و متغیرهای x_i عبارتند از: عرض خط (فوت)، عرض شانهٔ آسفالتی (فوت)، عرض شانهٔ غیرآسفالتی (شنی، خاکی و کلوخ) (فوت)، متوسط درجه‌بندی خطرناکی موانع کنار راه (از ۱ تا ۷ به ترتیب کم‌خطر و پرخطر)، شرایط محیطی راه، مقدار ۱ برای راه‌های کوهستانی و صفر برای راه‌های دیگر.

www.SID.ir

تیلور و تامپسون (۱۹۷۷)، از جمع وزنی چند عامل به‌عنوان شاخصی برای خطرزابودن استفاده نمودند. این عوامل عبارتند از تعداد تصادفات، نرخ تصادفات، شدت تصادفات، نسبت حجم به ظرفیت، فاصلهٔ دید، برخوردها، حرکت‌های ناگهانی و انتظار رانندگان. مک گوگان، مشابه یورگنسن (۱۹۸۱) پیشنهاد نمود که برای هر مقطع از شبکه، تعداد تصادفات موردانتظار برای آن مقطع یا تقاطع مشخص شود. تعداد تصادفات موردانتظار بر اساس خصوصیات هر مقطع یا تقاطع از قبیل اندازه، کاربری و... تعیین شود. مهالت و همکارانش (۱۹۸۲) مدلی را برای برآورد میزان تصادف موردانتظار پیشنهاد نمودند؛ این مدل همانند مدل یورگنسن چندمتغیره بوده و مشابه روش نوردن، بر اساس احتمال خاصی از وقوع تعداد تصادف بیش از تعداد موردانتظار در شبکه، بنا شده بود.

برای ارزیابی معادلهٔ اسمید، جیکوبز و هاجینسون (۱۹۷۳) از داده‌های ۳۲ کشور مختلف و ال- حاجی (۲۰۰۷) از داده‌های ۲۶ کشور مختلف در سراسر جهان استفاده کرده‌اند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعات، معادلهٔ اسمید، همواره رابطهٔ بین دارندگان وسیلهٔ نقلیه و نرخ مرگ‌ومیر (تلفات) را نشان می‌دهد. مکی (۱۹۸۵) نشان داده است که رابطهٔ قابل‌توجهی بین موتوریزه‌کردن و خطر آمدوشد، در کشورهای توسعه‌یافتهٔ ثروتمند[1] (RDC) وجود دارد. نتایجی مشابه توسط ال - حاجی و ای.اس.پی (۲۰۰۲)، برای داده‌های مقطعی ایمنی راه به دست آمده است. در مطالعات انجام‌شده، فاکتور و مقیاس‌هایی که بر توسعهٔ منحنی ایمنی راه اثرگذار بوده‌اند، آنالیز و تحلیل شده‌اند که ازآن‌جمله می‌توان به مطالعات الویک (۱۹۹۱) و حکیم (۲۰۰۴) اشاره کرد. مینتر در سال ۱۹۸۷ و اپی در سال ۱۹۹۱ میلادی نشان داده‌اند که قانون اسمید، نتیجهٔ برنامهٔ ملی ایمنی در همهٔ زمان‌ها می‌باشد.

یافته‌های پژوهش

1 Rich Developing Countries

www.SID.ir

شاخص خطر (HI) از سه مؤلفهٔ کلی خطر شامل «درمعرض‌خطرقرارگرفتن کاربران راه»، «احتمال درگیرشدن در تصادف (شاخص فراوانی تصادف)» و «شرایط منتج از تصادف (شاخص شدت تصادف)» تشکیل می‌شود. از آنجا که شاخص خطر، بیانگر تصادف‌های روی‌داده در قطعه‌راه‌های موردمطالعه است و از طرف دیگر، تصادفات جاده‌ای به سه نوع خسارتی، جرحی و فوتی تقسیم می‌شوند؛ لذا شاخص تصادفات هم مبیّن تعداد و هم مبیّن شدت تصادف است.

در طول زمان، تلاش‌های فراوانی صورت گرفته است تا این قابلیت به وجود آید که بتوان یک شاخص خطر یا ایمنی ارائه داد که قادر باشد در سطح شبکه، وضعیت ایمنی جاده‌ها را ارزیابی و شناسایی کند. مسیر تکامل این مدل‌ها در جهتی بوده است که خروجی و منطق مدل‌ها را به واقعیت نزدیک‌تر کند. در واقع هدف این نیست که تنها بر پایهٔ آمار و اطلاعات تصادفات موجود (که بعضاً هم ناقص و کم‌دقت هستند) و بدون پشتوانهٔ علمی، مدلی را استخراج کرد که تنها هدف آن، پیش‌بینی تصادفات باشد؛ پس مسیری که تاکنون طی شده است، همواره بر پایهٔ این هدف بوده است که بتوان در سطح شبکه و بر اساس واقعیت‌های موجود، یک مدل ارزیابی خطر و شناسایی نقاط و مقاطع پرخطر را توسعه داد.

در اکثر مدل‌های ارائه‌شده هرچند که همهٔ رابطه‌های شاخص خطر از یک ایده سرچشمه گرفته‌اند، ولی در شکل کلی و نحوهٔ برآورد میزان خطرزایی شبکه، تفاوت اساسی دارند. در برخی از آن‌ها، شناسایی و رده‌بندی بر اساس مقایسهٔ نرخ یا تعداد تصادفات هر نقطه با نرخ یا تعداد بحرانی تصادفات شبکه (روش‌هایی از قبیل نرخ - کیفیت و تعداد - نرخ) بوده است و در برخی دیگر، شناسایی و رده‌بندی بر اساس برآورد قابلیت اجزای شبکه برای بهبود شرایط ایمنی بوده و ایدهٔ اصلی در روابط تجربی، رده‌بندی اجزای شبکه بر اساس منافع حاصل از رفع مشکل ایمنی این اجزا است. بالاخره در برخی دیگر، شناسایی و رده‌بندی بر اساس بررسی عوامل دخیل در

www.SID.ir

ایجاد خطر بوده و بر عوامل گوناگونی که قابلیت پدیدآوردن خطر را افزایش می‌دهند و یا به‌نحوی در مطالعات ایمنی ترافیک نقش دارند، تمرکز می‌کند. رابطهٔ تعیین شاخص خطر از ترکیب ریاضی عواملی تشکیل می‌شود که به نظر طراحان، هر روش در تصادف مؤثرند و در غالب روش‌های این گروه، بسته به اهمیت هر عامل، وزنی به آن عامل تعلق می‌گیرد که منعکس‌کنندهٔ اهمیت آن در رابطه است.

همان‌گونه که در بالا اشاره شد، باوجود پیشرفت‌های به‌دست‌آمده، لزوم مطالعهٔ بیشتر روی شاخص‌ها و مدل‌های موجود بیش‌ازپیش احساس می‌شود. همان‌طور که کیفیت مدل‌های موجود با مدل‌های قبلی قابل‌مقایسه نیست، می‌توان با مطالعهٔ دقیق‌تر این مدل‌ها به نقطهٔ ایدئال مطالعات ایمنی نزدیک‌تر شد. در زیر به تعدادی از کاستی‌های موجود پرداخته می‌شود:

✓مدل‌های میکروسکوپیک ایمنی برای استفاده در سطح شبکه و در جهت اتخاذ تصمیم‌گیری‌های کلان توانایی لازم را ندارند.

✓مدل‌های ماکروسکوپیک نمی‌توانند وضعیت واقعی موجود در سطح شبکه را تحلیل کنند و تنها یک فرایند آماری بدون پشتوانهٔ لازم علمی محسوب می‌شوند.

✓در مدل‌های ارائه‌شده، وابستگی بیش از حد به داده‌های سال‌های گذشته ملاحظه می‌شود.

✓ایرادات مرتبط با فرضیات هریک از این مدل‌ها، از واقعیت به دور هستند.

✓در مدل‌های ارائه‌شده، همهٔ عوامل و مؤلفه‌ها خصوصاً مؤلفه‌های رفتاری برای جوامع مختلف ازجمله ایران متفاوت با سایر جوامع بوده و نقش ارزنده‌ای در بروز خطرات بالقوه داشته و باوجود نقاط و یا مقاطع خطرزا (به‌عنوان علل تامه تصادف)، در یک لحظهٔ آنی تبدیل به یک خطر بالفعل می‌شود.

برای بررسی و شناسایی نقاط حادثه‌خیز، دو روش وجود دارد:

www.SID.ir

۱- روش ساده یا ریسک - خام[1]؛
۲- روش ریسک - مدل[2].

در روش اول، تعداد تصادفات مشاهده‌شده در یک زمان معیّن توسط رانندگی مستقیم در جاده و یا مشاهدات انجام‌شده توسط افراد مشغول به کار در قسمتی از جاده تعیین می‌شود. با توجه به اینکه تصادفات در یک شرایط پیچیدهٔ ناشی از بسیاری از عوامل مانند رفتار راننده، شرایط ترافیکی، هندسهٔ مسیر و شرایط محیطی و وسیلهٔ نقلیه رخ می‌دهد؛ لذا تصادفات به‌عنوان یک رخداد اتفاقی بوده و ممکن است در زمان و مکانی غیرقابل‌پیش‌بینی رخ دهند؛ بنابراین معیارهای ساده‌ای مثل ریسک – خام نمی‌توانند رخداد یک تصادف را به‌روشنی تحلیل نمایند. ازاین‌رو ناکارآمدی روش‌های ریسک – خام، پژوهشگران را بر آن داشته است تا از روش ریسک - مدل که مبتنی بر مدل‌های آماری و روش‌های برداشت بر اساس تئوری احتمالات است، استفاده کنند.

مدل‌های آماری متعددی برای مدل‌سازی تعداد تصادفات وجود دارند که از مدل‌های پواسون و توزیع دوجمله‌ای منفی گرفته تا مدل‌های پیچیده‌تر مثل تورمی صفر[3] و مدل‌های خیلی جدیدتر بایزین سلسله‌مراتبی[4] را دربرمی‌گیرند. اگرچه اکثر مدل‌های ارائه‌شده در خصوص شناسایی نقاط خطرزا روی مدل‌های تعداد تصادفات تمرکز دارند و مطالعات کمتری در خصوص مدل‌های شدت تصادفات با یک رویکرد خطر دوجانبه[5] وجود دارد؛ اما می‌توان گفت که رخداد تصادف در یک مکان می‌تواند توسط هر دو عامل تعداد و شدت تصادف بهتر بیان شود. در خصوص شدت تصادفات، مدل‌های آماری مختلف ازجمله رگرسیون لجستیک، رگرسیون

1.Raw-Risk
2.Risk-Model
3.Zero-Inflated
4.Hierarchical Bayesian
5.Two-Dimensional

www.SID.ir

لوجیت چندگانه و مدل‌های رگرسیون پروبیت مرتبه‌ای وجود دارند.

بنابراین بهتر است از روش‌های آنالیز چندمتغیره که در آن‌ها، تعداد تصادفات بر اساس شدت تصادفات (فوتی، جرحی، خسارتی و...) دسته‌بندی می‌شوند، استفاده نمود.

معیار شناسایی نقاط حادثه‌خیز: شناسایی نقاط حادثه‌خیز بر اساس دو معیار می‌باشد:

۱- انتخاب فهرست بر اساس حد بحرانی (درصد بحرانی معیّن)؛

۲- انتخاب فهرست بر اساس محدودیت‌های بودجه.

در انتخاب فهرست بر اساس محدودیت بودجه ممکن است فهرست بسیار بلندی در محدودهٔ غیرضروری قرار گیرد؛ اما در انتخاب فهرست بر اساس مقدار حد بحرانی، مکان‌هایی که مثلاً در بالاتر از میزان حدی ۸۰ درصد قرار می‌گیرند، در اولویت هستند.

بااین‌حال، مباحث زیادی در خصوص مدل‌های ارائه‌شده برای مدل‌سازی تصادفات ترافیکی و شناسایی نقاط پرخطر وجود دارند؛ لذا باوجود مدل‌های متعدد بایزین و تصادفی پواسون برای مدل‌سازی تصادفات ترافیکی (میراندا - مونو و همکاران، ۲۰۰۵؛ لورد و همکاران، ۲۰۰۵؛ میاو و سانگ، ۲۰۰۵) مطالعات سیستماتیک اندکی روی مقایسهٔ عملکرد مدل‌های جایگزین و به‌کارگیری آن‌ها بر اساس برازش خوبی جهت شناسایی نقاط پرخطر صورت گرفته است؛ به‌عنوان‌مثال ممکن است کاربرد مدل‌های مختلف، نتایج متفاوتی برای شناسایی و اولویت‌بندی نقاط پرخطر ارائه دهد؛ بنابراین این موضوع هنوز مبهم بوده و نیاز به پژوهش و بررسی بیشتری دارد (شین، ۲۰۰۶).

آمار تصادفات محدود با میانگین نمونه‌های کم می‌تواند چالش‌های مهمی برای مدل‌های آماری سنتی مثل مدل توزیع دوجمله‌ای منفی به وجود آورد؛ بنابراین سؤالی که به وجود می‌آید، این است که اهمیت این موضوع در تخمین پارامتریک، برازش

www.SID.ir

خوبی[1] و شناسایی نقاط پرخطر موقع استفاده از مدل‌های بایزین سلسله‌مراتبی چیست؟ اگر موضوع بحرانی است، پس بهترین روش برای آدرس‌دهی کدام است؟ یکی از روش‌های متداول برای تشخیص نقاط حادثه‌خیز، اولویت‌بندی مکان‌ها بر اساس اندازه‌گیری میزان ایمنی آن‌ها و انتخاب پرخطرترین آن‌ها بر اساس راهبرد مقدار حد بحرانی است. اگرچه تعریف حد بحرانی، نقش مهمی در فرایند انتخاب نقاط حادثه‌خیز ایفا می‌کند؛ اما چهارچوب رسمی مشخصی برای انتخاب مقادیر حدی که بتواند از خروجی بایزین استفاده کند و تعداد تصمیم‌های اشتباه را کاهش دهد، وجود ندارد (شالتر و همکاران، ۱۹۹۷؛ ساکومانو، ۲۰۰۳؛ ماو و سانگ، ۲۰۰۵؛ شین، ۲۰۰۶ و فرناندو، ۲۰۰۶).

روابط و مدل‌های متنوعی برای نشان‌دادن رابطهٔ خطر با عوامل و مؤلفه‌های تصادفات و مدل‌سازی شاخص ایمنی و خطر ارائه شده است که به مهم‌ترین این روابط و مدل‌ها اشاره می‌شود. یک پژوهش در دانشگاه کاتانیا، خطر را به‌صورت رابطهٔ (۲۷) زیر بیان می‌کند (کافیسو، ۲۰۰۶).

$$\text{Magnitude} * \text{Exposure} * \text{Risk} = \text{Vulnerability} \qquad (۲۷)$$

که در آن، Vulnerability= احتمال تصادف تعریف‌شده بر اساس بازرسی ایمنی + سیستم مدل‌سازی تئوری - تجربی، Exposure= تعداد وسایل نقلیه در کیلومتر و Magnitude= شرایط منتج از یک تصادف (شدت حاصله) بر اساس سرعت وسایل نقلیه و شرایط ایمنی جانبی جاده است.

همچنین بر اساس همین پژوهش و سایر پژوهش‌های اخیر انجام‌شده، درمورد شاخص خطر می‌توان نوشت:

شاخص خطر (HI)، از سه مؤلفهٔ کلی خطر شامل درمعرض‌خطرقرارگرفتن کاربران راه، احتمال درگیرشدن در تصادف (شاخص فراوانی تصادف) و شرایط منتج از

1.Goodness-of-Fit

www.SID.ir

تصادف (شاخص شدت تصادف) تشکیل می‌شود (روابط ۶ الی ۱۱).

همان‌طور که ذکر شد، از مدل تجربی بایاس (EB)، برای پیش‌بینی تصادف از متغیرهای توضیحی که عبارتند از طول مسیر موردمطالعه و متوسط سالیانهٔ حجم ترافیک روزانه (AADT) و با فرض توزیع دوجمله‌ای منفی از مدل خطی عمومی (GLIM) برای برازش داده‌ها استفاده شده است. ازآنجایی‌که تصادفات جاده‌ای یک رابطهٔ غیرخطی با حجم ترافیک و طول مسیر دارد؛ لذا بر اساس مطالعات انجام‌شده، مدل رگرسیون معمولی کارا نمی‌باشد.

با توجه به مسائل ذکرشده در بالا، باید در پژوهش‌های آینده به اهداف زیر پرداخته شود:

- کاهش وابستگی به داده‌ها و تکیهٔ بیشتر روی واقعیت‌های موجود؛
- ارتقای منطق علمی در پس مدل‌های شاخص خطر و ایمنی که بتواند پشتوانهٔ قابل‌اتکایی برای خروجی این مدل‌ها باشد؛
- بهره‌مندی از مزایای مدل‌های ایمنی ارائه‌شده در هر سه روش در یک ساختار واحد که این هدف از طریق برقراری ارتباط بین روش‌های فوق حاصل می‌شود؛
- دخیل‌کردن بیشتر مؤلفه‌های ترافیکی که می‌تواند به‌نوعی دربرگیرندهٔ عوامل انسانی وقوع تصادفات نیز باشد؛
- مقایسه بین مدل‌های جدید با پژوهش‌های گذشته و ارزیابی تأثیر کاهش وابستگی این مدل‌ها به آمار.

نتایج و پیشنهادهای پژوهش

در یک نگاه کلی می‌توان این مطالعهٔ مروری را در زمرهٔ مطالعات ایمنی جاده‌ای جای داد که با هدف تعیین نقاط قوت و ضعف مدل‌های شاخص خطر موجود تعریف شده است و بر اساس مطالعات موجود و بررسی همه‌جانبهٔ آن‌ها بنا دارد با تکیه بر

www.SID.ir

نقاط قوت پژوهش‌های انجام‌شده و نقد علمی و فنی نقـاط ضـعف موجـود، مسـیر شناسایی و اولویت‌بندی نقاط و مقاطع پرخطر جاده‌های برون‌شـهری را بـا تکیـه بـر موارد ذیل معین‌تر نماید:

- کاهش وابستگی به داده‌ها و تکیهٔ بیشتر بر واقعیت‌های موجود؛
- دخیل‌کردن بیشتر مؤلفه‌های ترافیکی بر اساس آمار موجود دقیق‌تر و برداشت‌هـای میدانی که به‌نوعی دربرگیرندهٔ عوامل انسانی وقوع تصادفات نیز باشد؛
- انعطاف‌پذیری و قابلیت تعمیم مدل‌های جدید توسعه‌یافتهٔ ارائه‌شده؛
- رویکرد استفاده از ابزار پتانسیل خطر به‌جای خطرات ثبت‌شده که خود می‌تواند هم کاهش وابستگی به آمار موجود و هم ارائه‌کنندهٔ راهکارهای پیشـگیرانه بـرای وقـوع تصادفات باشد؛
- ارائهٔ راهکارهای مناسب جهت مشاوره در زمینهٔ افزایش ایمنی تـردد جـاده‌هـا بـه برنامه‌ریزان در جهت اتخاذ تصمیمات مناسب.

انتظار می‌رود در مطالعات آتی، موارد مذکور مدنظر قرار گیرد تا بتـوان مـدل‌هـای دقیق‌تری بر مبنای روش ریسک – مدل جهت شناسایی و اولویت‌بندی نقاط پرحادثه ارائه نمود که در آن‌ها، علاوه بر مؤلفه‌های ترافیکی به مشخصات هندسـی مسـیر در محل وقوع تصادفات نیز توجه شود؛ بنابراین بهتر است از روش‌های آنالیز چندمتغیره که در آن، تعداد تصادفات بر اساس شدت تصادفات (فوتی، جرحی، خسـارتی و...) دسته‌بندی می‌شـوند، اسـتفاده نمـود و صـرفاً بـه ضـرایب شـدت تصـادفات و ردهٔ عملکردی راه اکتفا ننمود.

www.SID.ir

منابع

- آیتی. (۱۳۷۱). *تصادفات جاده‌ای ایران*. دانشگاه فردوسی مشهد.

- افندی‌زاده؛ نبی‌زاده؛ جوادی. (۱۳۹۳). طراحی مدل شاخص خطر بالقوه راه بر اساس تخلفات ترافیکی رانندگان. *سیزدهمین کنفرانس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران*.

- جعفرزاده. (۱۳۸۷). *طرح کمپین جامع ارتباطات مردمی امنیت راه‌های کشور*. شرکت اندیشه‌کار و سوئی رود، ۱-۶.

- حاجی حسینلو؛ اصلانی. (۱۳۸۴). تعیین شاخص ایمنی راه‌های کشور. *دومین کنگره ملی مهندسی عمران*.

- *سالنامه آماری*. (۱۳۸۹). دفتر آمار و خدمات ماشینی، سازمان حمل ونقل و پایانه‌های کشور، www.rmto.ir.

- ستوده‌نیا؛ افشار. (۱۳۹۱). اولویت‌بندی شاخص‌های ایمنی راه‌های برون‌شهری با روش TOPSIS. *یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران*.

- صفارزاده؛ پوریاری. (۱۳۸۵). *ارائه مدل تعیین شاخص ایمنی راه*.

- نصیری، مشفق مجرد. (۱۳۸۵). روابط محاسبه شاخص خطر تصادفات در راه‌های ایران. *فصلنامه علمی و پژوهشی شریف*، دانشگاه صنعتی شریف، (۳۵).

– Adams (1987). Smeed's law: some further thoughts. *Journal of Traffic Engineering and Control, VOL. 10 (7),* 70-73.

– Adeleke, O., Salami, A.W., Oyewo, S.T. (2013). TREND of Highway Accidents in Nigeria Using Highway Accident Hazard Index.

– Al-Haji, K. Asp. (2002). Road Safety Perspective in Arab Countries-Comparative Study and Analysis of Progress. *SORIC' 02 Conference (Safety on Roads),* Bahrain (pp. 116-121).

– Andreassen, C. (1985). Linking deaths with vehicles and population. *Traffic Engineering and Control, VOL. 26,* 547–549.

– Broughton (1988). Predictive Models of Road Accident Fatalities. *Traffic Engineering and Control, ISSN:0041-0683,* 296-300.

– Cafiso, G., La Cava, A. Montella. (2006). Safety Index for Evaluation of

www.SID.ir

Two-Lane Rural Highways. *Department of Civil and Environmental Engineering University of Catania*.

– Cheng, W. (2006). *Evaluation and development of methods for identifying high-risk accident locations*. Ph.D. Thesis. Arizona State University.

– D. Shen. (1986). Development of Highway Accident Hazard Index. *Jour. of Transp. Eng., VOL. 112,* 447 – 464.

– Dart, Olin K. Jr., and Lawrence J. Mann (1970). Relationship of Rural Highway Geometry to Accident Rates in louisiana. *Louisians State University Library.*

– Deacon, J., Zegeer, C. and Dean, R. (1975). Identification of Hazardous Rural Highway Locations. *Transportation Research Record, No. 543,* 16-33.

– Elvik, T. Vaa. (2004). *The Handbook of Road Safety Measures*. Elsevier Amsterdam, ISBN: 0-08–044091-6 (pp. 676-803).

– F. Navin, A. Bergan, J. Qi (1994). A Fundamental Relationship for Roadway Safety: A Model for Global Comparisons. Transportation Research Board. *Transportation Research Record. Washington D.C., VOL.1441,* 53-60.

– Fernando, L. (2006). *Statistical Models and Methods for Identifying Hazardus Locations for Safety Improvments*. Ph.D. Thesis. University of Waterloo. Ontario. Canada.

– FHWA. (1997). *Safety Effects of Cross Section Design on Rural Multilane Highways*. Publication No.FHWA-RD-97-027.

– G. Al-Haji. (2007). Road Safety Development Index (RSDI) Theory, Philosophy and Practice. *Department of Science and Technology Linköping University*, SE-601 74, Norrköping, Sweden.

– Garach, G., López and J. de Oña. (2014). Using data mining techniques to road safety improvement in Spanish roads, XI Congreso de Ingeniería del Transporte (CIT 2014), So*cial and Behavioral Sciences* VOL. 160, 607 – 614.

– Haddon's. (1983). Society's aggression level as a predictor of traffic fatality rate. *Journal of Safety Research VOL.14*, 93–99.

– Haight. (1983). Traffic Safety in Developing Countries. *Journal of Safety Research, VOL. 14, No. 1*, 1-12.

– Hakim, D., Shefer. A. S., Hakkert. I., Hocherman. (1991). A Critical Review of Macro Models for Road Accidents. *Accident Analysis &*

www.SID.ir

۹۰
فصلنامه علمی - پژوهشی
سال هفتم - شماره ۲۵
تابستان ۱۳۹۷

Prevention, VOL. 23, No. 5, 379-400.

– Hakkert, S. & McGann, A. (1996). A Comparative Study of Road Safety in Australian States. Research Report ARR 278, *ARRB Transport Research:* Vermont South, Victoria.

– J. Smeed. (1949). Some statistical aspects of road safety research. *Journal of Royal Statistical Society*, Series A 112, 1–34.

– Jacobs, GD., Hutchinson, P. (1973). A study of accident rates in developing countries. TRRL report LR 546. *Transport and Road Research Laboratory*, Crowthorne, Berkshire.

– L. Minter. (1987). Road casualties- Improvements by Learning Processes, *Journal of the Traffic Engineering and Control*, 74-79.

– M. J. Koornstra., S. Oppe. (1992). Predictions of road safety in industrialised countries and Eastern Europe; an analysis based on models for time series of fatality rates and motorised vehicle kilometres or amounts of passenger cars. Proceedings of International Conference 'Road Safety in Europe', VTI,Linköping, Sweden (pp.49-70).

– Mahalel, A. S., Hakkert and J. Phrasker. (1982). A System for the Allocation Safety Resources on a Road Network. *Accident Analysis and Prevention, VOL. 14, No.1,* 45-56.

– Mc Guigan. (1981). The Use of Relationship Between Road Accidents and Traffic Flow in Black Spot Identification. *Traffic Engineering and Control, VOL. 25, No. 5,* 448-453.

– Mekky. (1985). Effect of road increase in road motorisation levels on road fatality rates in some rich developing countries. *Accident Analysis and Prevention*, 101–109.

– Ministerio de Fomento. (2008). Nota de Servicio julio 2008. *Programa de Seguridad Vial 2009-2011*.

– Norden, J., Orlansky and H. Jacobs. (1994). Application of Statistical Quality-Control Techniques to Analysis of Highway Accident Data. *Highway Research Record*, No. 117, 17-31.

– Oppe, S. (1989). Macroscopic models for traffic and traffic safety. *Accident Analysis and Prevention*, VOL.21, 225-232.

– Oppe, S. (1991). The Development of Traffic and Traffic Safety in Six Developed Countries. *Accident Analysis and Preventio*n, VOL.23, No.5, 401-412.

– Persaud, B., Lyon, C., and Nguyen, T. (1999). Empirical Bayes procedure for ranking sites for safety investigation by Potential for Safety

www.SID.ir

Improvement. *Transportation Research Record*, VOL. 1665, 7-12.
– Rosolinoa, I. Teresaa. (2014). Road safety performance assessment: a new road network Risk Index for info mobility. EWGT2013 – *16th Meeting of the EURO Working Group on Transportation*. Procedia - Social and Behavioral Sciences VOL. 111, 624 – 633.
– Rudriger, L. (2008). Tools for Infrastructure Safety Management. CEDR Technical Group Road Safety – Fact Sheets and Common Conclusions.
– Rumar. (1999). Transport safety visions, targets and strategies: beyond 2000. *First European Transport Safety lecture*, Brussels, European Transport Safety Council.
– Taylor, J.I. and Thompson, H. (1997). Identification of Hazardous Locations. Report FHWARD– 77-81, *US Department of Transportation*.
– Timo. (1998). Risks, exposures and accident data. *VTI Conference 9A*, part 6, nr 9A:6, Linköping, Sweden (pp. 85-96).
– Timothy, R., Neuman, J.C., Glenon, S., James, B. (1983). *Accident Analysis for Highway Curves*. TRB 923, 65-69.
– Turner, R. McClure & S. Pirozzo. (2004). Injury and risk-taking behaviour – a systematic revie. *Accident Analysis and Prevention*, 93-101.
– Van den, F., Bossche. and G. Wets. (2003). Macro Models in Traffic Safety and the DRAG Family: Literature Review. Report RA-2003-08, Diepenbeek, Belgium.
– Wang, C., Quddus, M. A., & Ison, S. G. (2009). Impact of traffic congestion on road accidents: a spatial analysis of the M25 motorway in England. *Accident Analysis & Prevention*, VOL. 41(4), 798-808.

www.SID.ir

www.SID.ir