فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی شریف
پائیز ۱۳۸۵، شماره‌ی سی و پنجم، ص. ۲۳-۳۳

محاسبه‌ی شاخص خطر تصادفات در تقاطع‌های شهری و راه‌های برون‌شهری ایران

حبیب‌ا... نصیری (دانشیار)
مازیار مشفق‌مجرد (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

امروزه نقش «مدیریت ایمنی ترافیک» در شبکه، برجسته‌تر از سایر موارد در مباحث ایمنی ترافیک به نظر می‌رسد. «شاخص خطر» یکی از ابزارهای مدیریت ایمنی شبکه است که روابط آن برای شناسایی، رتبه‌بندی اجزای خطرزای شبکه و در برخی موارد تعیین نواقص ایمنی راه‌ها به‌کار می‌روند. در این نوشتار ابتدا مفاهیم پایه‌یی و اهمیت «شاخص خطر» مورد بحث قرار می‌گیرد و سپس تاریخچه‌یی از تکامل روابط مربوط به آن ارائه می‌شود و سپس به تشریح مراحل دست‌یابی به یک رابطه‌ی جدید برای تعیین «شاخص خطر» خواهیم پرداخت. ویژگی عمده‌ی عوامل و اوزان عددی به‌کار رفته در این رابطه هماهنگی و سازگاری آن‌ها با شبکه‌ی ترافیکی ایران است که منتج از نظرخواهی از متخصصین ترافیک و نیز استفاده از روش‌های «تصمیم‌گیری چندمعیاره» است. این رابطه‌ها در دو بخش و با توجه به ۱۲ عامل مؤثر در تصادفات تنظیم شده است.

مقدمه

ایمنی ترافیک عطف به حجم مقالات، بحث‌ها و سمینارها در حال حاضر از ارکان اصلی علم ترافیک است. متأسفانه عدم توجه دقیق و کافی، و به‌تبع آن فقدان یک برنامه‌ریزی و مدیریت کارآمد در زمینه‌ی ایمنی ترافیک، ایران را از نقطه‌نظر ترافیکی به یکی از حادثه‌خیزترین کشورهای جهان مبدل ساخته است. به‌همین دلیل در ایران ضرورت پرداختن به مسائل ایمنی و در رأس آن مدیریت ایمنی شبکه‌ی ترافیکی انکارناپذیر به نظر می‌رسد.

در ابتدا رابطه‌های شاخص خطر به‌منظور شناسایی نقاط حادثه‌خیز ارائه شدند.[۱] این روابط در سیر تکامل خود خصوصیات دیگری را نیز شامل شدند و برخی از رابطه‌های مطرح شده در سال‌های بعد قابلیت شناسایی نوع مشکل را نیز دارند.[۲] عملکرد کلی رابطه‌های شاخص خطر بدین ترتیب است که کاربر، اطلاعات خام شبکه یا نقاطی از شبکه را به‌صورت ورودی روابط درمی‌آورد؛ خروجی این روابط نیز اعدادی هستند که برحسب نوع رابطه برای هر مقطع یا تقاطع به دست می‌آیند.

مروری بر تاریخچه‌ی رابطه‌های «شاخص خطر»

در این بخش پس از بررسی سیر تحول ایده‌های اصلی در زمینه‌ی شناسایی نقاط خطرزای شبکه، به تحولات مفهومی که در طول سال‌ها در این رابطه‌ها رخ داده است اشاره می‌شود. برای سهولت مطالعه‌ی رابطه‌ها، از این نمادها استفاده خواهد شد:[۳]

X: تعداد تصادف مشاهده‌شده در نقطه‌یی خاص و در مدت‌زمانی مشخص؛

m: تعداد تصادف مورد انتظار در نقطه‌یی خاص و در مدت‌زمانی مشخص؛

E[m]: میانگین مقادیر m برای نقاط با خصوصیات مشابه؛

D: طول مقطع مورد نظر؛

Q: تعداد وسایل نقلیه‌ی عبورکننده از مقطع مورد نظر در مدت‌زمان مشخص؛

R: نرخ تصادف مشاهده‌شده برحسب تصادف بر وسیله‌ی نقلیه ـ کیلومتر؛

R_{EB}: نرخ تصادف تخمین زده شده با استفاده از روش‌های تجربی[۱]؛

$\bar{R}$: میانگین مقادیر R برای نقاط با خصوصیات مشابه؛

UCL_R, UCL_x: حدود کنترلی بالایی برای تعداد (X) و نرخ (R) تصادفات مشاهده شده؛

t: تعداد سال‌هایی که آمار مربوط به آنها مورد استفاده قرارگرفته است؛

α, β: متغیرها.

نخستین بار نوردن و همکارانش پیشنهاد کردند که اگر مقطعی از یک راه در محدوده‌ی زمانی مشخص، D×Q وسیله نقلیه ـ کیلومتر را از خود عبور دهد، می‌توان انتظار RDQ تصادف را داشت.[۴] او با استفاده از تقریب توزیع پواسون و در نظر گرفتن ۰٫۵ درصد احتمال وقوع تصادف‌های بیشتر از UCL_x، رابطه‌ی زیر را برای شناسایی نرخ

بحرانی شبکه پیشنهاد کرد:

$$UCL_R = R + ۲/۵۷۶\sqrt{R/DQ} + ۰/۸۲۹/(DQ) + ۱/(۲DQ) \quad (۱)$$

مشابه این رابطه توسط رودی و مورین نیز مورد استفاده قرارگرفت[۵ و ۶]، با این تفاوت که رودی به جای عدد ۲/۵۷۶ متغیر Z را وارد رابطه‌ها کرد، که در این حالت Z برابر ۲/۵۷۶ برای سطح اعتماد ۰/۹۹ درصد و ۱/۹۶ برای سطح اعتماد ۰/۹۵ درصد پیشنهاد شد.

یورگنسن اساس رده‌بندی نقاط را بر اختلاف میان تعداد تصادفات مشاهده شده در هر نقطه و میزان مورد انتظار تصادفات برای آن نقطه قرار داد.[۷] او همچنین پیشنهاد کرد برای تعیین تعداد تصادفات قابل انتظار ($E\{m\}$) از یک مدل چندمتغیره استفاده شود.

تامبوری و اسمیت نیز مبحث «شاخص ایمنی» را براساس اولویت دادن به نقاط دارای تصادفات شدیدتر مطرح کردند.[۸] این دو، هر تصادف منجر به مرگ را ۹۵ برابر و هر تصادف منجر به جرح را ۳ برابر تصادفات با خسارت مالی ارزش‌یابی کردند و نقاط مختلف شبکه را از نظر میزان وجود خطر رتبه‌بندی کردند.

دیکن و همکارانش بحث تفاوت میان نقاط و مقاطع حادثه‌خیز[۲] را مطرح کردند[۹] و همچنین در زمینه‌ی ارزیابی شدت تصادفات این گروه وزن عددی ۹/۵ را برای تصادفات منجر به مرگ و جراحات شدید، و وزن عددی ۳/۵ را برای تصادفات منجر به جراحات متوسط و سبک پیشنهاد کرد.

لافلند و همکارانش نیز بین نقاط، مقاطع و تقاطع‌های حادثه‌خیز از نظر چگونگی ایجاد خطر، تمایزهایی قائل شدند و برای هر یک متناسب با خصوصیات و شرایط حاکم، رابطه‌ی جداگانه‌یی ارائه کرند.[۱۰] این گروه با استفاده از روش‌های چهارگانه‌ی تعداد تصادفات، نرخ تصادفات، نرخ ـ کیفیت[۳] و تعداد ـ نرخ سعی کردند تا کاستی‌های بررسی منفرد تعداد یا نرخ تصادفات را برطرف کنند.

تیلور و تامپسون روشی ارائه کردند که در آن از جمع وزنی ۸ عامل به‌عنوان شاخصی برای خطرزا بودن استفاده می‌شد.[۱۱] این ۸ عامل عبارت‌اند از: تعداد تصادفات، نرخ تصادفات، شدت تصادفات، نسبت حجم به ظرفیت، فاصله‌ی دید، برخوردها، حرکت‌های ناگهانی و انتظار رانندگان.

مک‌گوگان، همانند یورگنسن، پیشنهاد کرد که برای هر مقطع یا تقاطعی از شبکه، تفاوت بین تعداد تصادفات موجود و تعداد تصادفات مورد انتظار برای آن مقطع یا تقاطع، به‌عنوان قابلیتی از بهبود برای هر جزء شبکه در نظر گرفته شود. هر چه این قابلیت بالاتر باشد، رتبه‌ی تقاطع یا مقطع مورد نظر در رده‌بندی نهایی بالاتر می‌رود.[۷، ۱۲ و ۱۳]

مهالل و همکارانش مدلی را برای برآورد میزان تصادف مورد انتظار پیشنهاد کردند که همانند مدل یورگنسن چندمتغیره بود و با روش‌های اولیه‌ی به کار گرفته شده نظیر روش نوردن، که میانگین نرخ یا تعداد تصادفات را درنظر می‌گرفت، تفاوت داشت.[۱۴] با این حال اساس روش مهالل نیز مشابه روش نوردن و همکاران بر احتمال وقوع تعداد تصادف بیش از تعداد مورد انتظار در شبکه بنا شده بود.

فلک و باربارسو توصیه کردند که تصادفات برحسب نوع (زاویه‌دار، شاخ‌به‌شاخ و ...) و نیز شرایط راه (خشک، لغزنده و ...) دسته‌بندی شوند[۱۵] و تعداد تصادفات برای هر نوع و شرایط خاص با تعداد تصادف مورد انتظار برای همان نوع و شرایط مقایسه شود. از این طریق می‌توان مشکلات و نواقص موجود از نظر ایمنی را هم شناسایی کرد.

هائر و پرساد با استفاده از روش‌های تجربی، و درخصوص میزان اطمینان به نتایج حاصل از روابط شناسایی درست، غلط و عدم شناسایی نقاط خطرزا مطالعه‌یی را ارائه کردند.[۱۶] براساس آن هائر با تعیین یک مدل چندمتغیره و سازگار ساختن آن برای مقاطع یا تقاطع‌هایی با خصوصیات مشابه توزیع تعداد تصادفات مورد انتظار (m) در کل شبکه را به دست آورد.[۱۷ و ۱۸]

هیدکر و وو پیشنهاد مطالعه‌ی آمار تصادفات با خصوصیات خاص را با استفاده از روش‌های تجربی مطرح کردند.[۱۹] مطالعه‌ی این خصوصیات از قبیل تصادفات در هوای بارانی، تصادف در شب، تصادفات عقب به جلو، تصادفات مرگبار و. . .این مزیت را دارد که در کابر توانایی شناسایی نوع مشکل و بنابراین ارائه‌ی راه‌حل مناسب را به کاربر می‌دهد.

تعیین شکل کلی رابطه‌ی شاخص خطر

هرچند که همه‌ی رابطه‌های شاخص خطر[۴] از یک ایده سرچشمه گرفته‌اند، ولی شکل کلی و نحوه‌ی برآورد میزان خطرزایی اجزای شبکه تفاوت اساسی دارند. سه گروه عمده‌یی که در میان روش‌های موجود برای شناسایی و رده‌بندی اجزای شبکه قابل تمایزند عبارت‌اند از:

گروه اول: شناسایی و رده‌بندی براساس مقایسه‌ی نرخ یا تعداد تصادفات هر نقطه با نرخ یا تعداد بحرانی تصادفات شبکه؛

روش‌هایی از قبیل نرخ ـ کیفیت، تعداد ـ نرخ از جمله‌ی این روش‌ها هستند که براساس آمار سال‌های گذشته تعیین می‌شود، و نقاطی‌که در آنها تعداد و یا نرخ از حد بحرانی‌تری بالاتر باشند، خطرزا شناخته می‌شوند.

گروه دوم: شناسایی و رده‌بندی براساس برآورد قابلیت اجزای شبکه برای بهبود شرایط ایمنی. ایده‌ی اصلی در روابط تجربی، رده‌بندی اجزای شبکه براساس منافع حاصل از رفع مشکل ایمنی این اجزاء است.

گروه سوم: شناسایی و رده‌بندی براساس بررسی عوامل دخیل در ایجاد خطر.

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

مزایا و معایب هر یک از گروه‌ها بررسی، و نهایتاً گروه سوم با توجه به اهداف، نیازها و محدودیت‌های تحقیق انتخاب شد. بررسی نشان داد که تمرکز اصلی روش‌های گروه اول و دوم بیشتر بر تاریخچه‌ی آمار تصادفات ترافیکی است. با توجه به نواقص فراوان آمار ترافیکی ایران، به‌خصوص کیفیت آمار تصادفات و تناقض در میزان کمیت آنها، امکان تهیه‌ی آمار ورودی مورد نیاز برای روابط این نوع روش‌ها بسیار دشوار، و در پاره‌یی موارد غیر ممکن است. علاوه بر این، در گروه‌های ۱ و ۲ امکان بررسی ارتباط بین آمار و عوامل تصادف وجود ندارد. از آنجا که در این روش‌ها عوامل ایجاد تصادف و میزان اهمیت آنها وارد رابطه‌ها نشده‌اند، این روابط قابلیت سازگار شدن با یک شبکه ترافیکی خاص، مثلاً شبکه ترافیکی ایران را ندارد.

رابطه‌ی جدیدی که در این نوشتار ارائه می‌شود، عمدتاً بر عوامل مؤثر در بروز تصادفات تکیه دارد. این رابطه که ترکیبی از عوامل متعدد مؤثر در تصادف و نیز آمارهای پایه‌یی تصادفات است، از دو بخش مجزا تشکیل شده است. اهمیت عوامل تشکیل‌دهنده نیز، از طریق ضرب وزن‌های عددی در عوامل رابطه منعکس می‌شود. شکل کلی رابطه‌عبارت است از:

$$HI = [S.P.] \times [D.P.] \qquad (۲)$$

$$HI = \left[\frac{N \times W_N + R \times W_R}{W_N + W_R}\right] \times \left[\frac{\sum f_i \times W_i}{\sum W_i}\right] \qquad (۳)$$

که در آن

HI = شاخص خطر اجزای شبکه برحسب عددی بین ۰ تا ۱۰۰؛

S.P. = بخش آماری رابطه (عددی بین ۰ تا ۱۰)؛

D.P. = بخش شناسایی رابطه (عددی بین ۱ تا ۱۰)؛

N = نشانگر تعداد تصادفات در مدت‌زمان مورد مطالعه به‌صورت عدد نرمال شده بین ۰ تا ۱۰؛

R = نشانگر نرخ تصادفات در مدت‌زمان مورد مطالعه به‌صورت عدد نرمال شده بین ۰ تا ۱۰؛

f = نشانگر عامل مؤثر در تصادفات، به‌صورت نرمال شده بین ۱ تا ۱۰؛

W_i = وزن نشانگر عامل i؛

W_N = وزن نشانگر تعداد تصادفات با

W_R = وزن نشانگر نرخ تصادفات است.

عوامل و وزن‌های به کار رفته در «بخش آماری» شاخص خطر

در «بخش آماری» شاخص خطر در رابطه‌های ۲ و ۳ که نقش آن‌ها شناسایی و رتبه‌بندی اجزای خطرزای شبکه با توجه به آمار پایه‌یی تصادفات در شبکه است، سه عامل حضور دارند. این سه عامل عبارت‌اند از: تعداد تصادفات، نرخ تصادفات و شدت تصادفات. از بین این سه عامل، دو عاملِ اول مستقیماً و با وزن‌های برابر وارد رابطه می‌شوند، ولی عامل شدت تصادفات به‌طور غیرمستقیم و از طریق اعمالِ اثر بر تعداد خام تصادفات در رابطه انعکاس می‌یابد. برای مشاهده‌ی تأثیر تصادفات با شدت‌های متفاوت (فوتی، جرحی و خسارتی)، در برآورد میزان خطرزا بودن یک نقطه، یک روش آن است که تعداد خام تصادفات شدیدتر با اعمال ضرایبی افزایش یابد تا نقش این نوع تصادفات در خطرزا ساختن یک جزء از شبکه بیشتر شود. برای این منظور هزینه‌های ناشی از تصادفات با شدت‌های متفاوت، و براساس هزینه‌های تصادفات در ایران مقایسه شد. در نهایت رابطه‌ی ۴ برای محاسبه‌ی تعداد تصادفات معادل تصادفات خسارتی به دست آمد:[۲۰]

$$PDE = ۱۱/۵\ F + ۴/۵\ HI + ۱/۹\ LI + PDO \qquad (۴)$$

که در آن:

F تعداد تصادفات فوتی، HI تعداد تصادفات جرحی شدید، LI تعداد تصادفات جرحی سبک و PDO تعداد تصادفات خسارتی، و PDE تعداد تصادفات معادل تصادفات خسارتی هستند.

برای نرمال کردن مقادیر دو عامل تعداد و نرخ تصادفات، تعداد و نرخ تصادفاتِ حدود ۸۰ تقاطع و مقطع در شهر تهران مورد مطالعه قرارگرفت، و در نهایت در یک مقیاس ۰ تا ۱۰ آمار تصادفات راه‌ها و تقاطع‌ها به پنج ناحیه‌ی تفکیک شده نسبت داده شد. نحوه‌ی ارتباط بین مرزهای این مقیاس، و آمارِ خامِ تصادفاتِ اجزای شبکه در جدول ۱ دیده می‌شود.

جدول ۱. نحوه‌ی اختصاص مرزها.

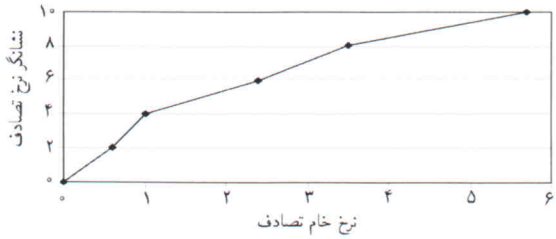
مرزها	آمار نسبت داده شده
۰	۰
۲	تعداد یا نرخ تصادفات جزئی که از ۸۰٪ اجزای شبکه امن‌تر است.
۴	تعداد یا نرخ تصادفات جزئی که از ۶۰٪ اجزای شبکه امن‌تر است.
۶	تعداد یا نرخ تصادفات جزئی که از ۴۰٪ اجزای شبکه امن‌تر است.
۸	تعداد یا نرخ تصادفات جزئی که از ۲۰٪ اجزای شبکه امن‌تر است.
۱۰	تعداد یا نرخ تصادفات جزئی که بالاترین تعداد یا نرخ تصادفات را دارد.

براساس مرزهای مشخص شده در جدول ۱، یک تابع پنج‌ضابطه‌یی برای نرمال کردن تعداد و نرخ تصادفات در مقیاسی بین ۰ تا ۱۰ به دست آمد. این تابع در شکل‌های ۱ و ۲ به‌صورت جداگانه برای راه‌ها و تقاطع‌ها دیده می‌شود.

عوامل و وزن‌های به کار رفته در «بخش شناسایی» رابطه‌ی شاخص خطر

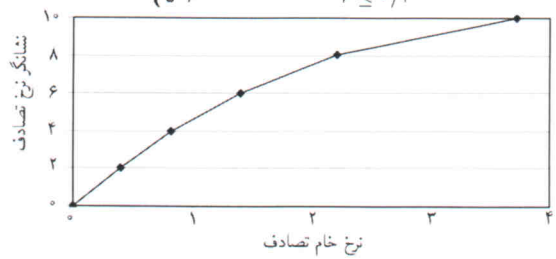
در دو بخش شناسایی رابطه‌ی شاخص خطر در رابطه‌ی ۲ یا ۳ به عوامل موثر در وقوع تصادفات توجه شده است. نقش این بخش از رابطه‌ی یاد شده افزایش شاخص خطر اجزایی از شبکه است که نواقص ایمنی در آنها بحرانی‌تر است. به‌این منظور ۹ عامل مؤثر در تصادفات که با فیزیک اجزای شبکه ارتباط مستقیم دارند انتخاب شده و در «بخش شناسایی» رابطه وارد شدند. این ۹ عامل هر یک از طریق تعریف توابعی خطی به‌صورت نشانگرهایی بین مرزهای ۱ تا ۱۰ نرمال شدند.

$$R=\begin{cases}۱۰ & ۵/۷ \le r\\ ۰/۹۱\ r+۴/۸۲ & ۳/۵ \le r < ۵/۷\\ ۱/۸۲\ r+۱/۶۴ & ۲/۴ \le r < ۳/۵\\ ۱/۴۲\ r+۲/۵۷ & ۱ \le r < ۶/۴\\ ۵\ r-۱ & ۰/۶ \le r < ۱\\ ۳/۳۳\ r & r \le ۰/۶\end{cases}$$



الف) تقاطع‌ها؛

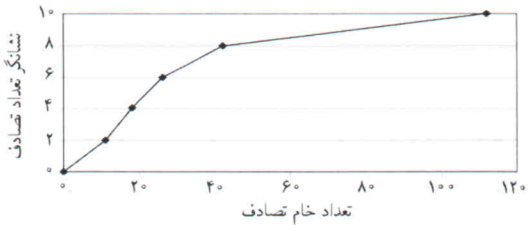
$$R=\begin{cases}۱۰ & ۳/۷۲ \le r\\ ۱/۳۳\ r+۵/۰۴ & ۲/۲۲ \le r < ۳/۷۲\\ ۲/۴۶\ r+۲/۵۲ & ۱/۴۱ \le r < ۲/۲۲\\ ۳/۳۹\ r+۱/۲۲ & ۰/۸۲ \le r < ۱/۴۱\\ ۴/۷۶\ r+۰/۹ & ۰/۴ \le r < ۰/۸۲\\ ۵\ r & r \le ۰/۴\end{cases}$$



ب) راه‌ها.

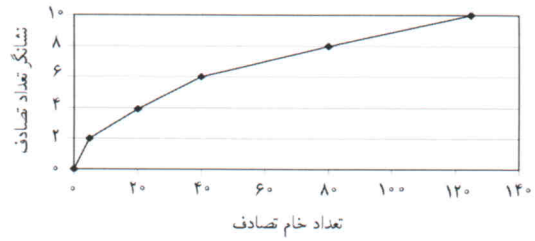
شکل ۱. تابع نشانگر نرمال‌شده‌ی نرخ تصادفات برای راه‌ها و تقاطع‌ها.

$$N=\begin{cases}۱۰ & ۱۱۲ \le m\\ ۰/۳\ \ m+۶/۸ & ۴۲ \le m < ۱۱۲\\ ۰/۱۲۵\ m+۲/۷۵ & ۲۶ \le m < ۴۲\\ ۰/۲۵\ \ m-۰/۵ & ۱۸ \le m < ۲۶\\ ۰/۲۹\ \ m-۱/۱۴ & ۱۱ \le m < ۱۸\\ ۰/۱۸\ m & m \le ۱۱\end{cases}$$



الف) تقاطع‌ها؛

$$N=\begin{cases}۱۰ & ۱۲۵ \le m\\ ۰/۰۴\ m+۴/۴۴ & ۸۰ \le m < ۱۲۵\\ ۰/۰۵\ m+۴ & ۴۰ \le m < ۸۰\\ ۰/۱\ \ m+۲ & ۲۰ \le m < ۴۰\\ ۰/۱۳\ m+۱/۳۳ & ۵ \le m < ۲۰\\ ۰/۴\ m & m \le ۵\end{cases}$$



ب) راه‌ها.

شکل ۲. تابع نشانگر نرمال‌شده‌ی تعداد تصادفات برای راه‌ها و تقاطع‌ها.

روش کلی در تعریف توابع پیش‌گفته، مبتنی است بر مقایسه‌ی میزان تصادفات ناشی از هر عامل در منطقه‌ی مورد مطالعه با میانگین یا میزان قابل انتظار آن دسته از تصادفات در سطح شبکه. بدین ترتیب که برای بررسی اثر هر یک از عوامل تصادفات معیاری آماری متناسب با آن انتخاب شده است. هر چه این معیار در نقطه‌ی مورد مطالعه به عدد میانگین آن در شبکه نزدیک‌تر باشد مشکل در نقطه‌ی مورد مطالعه درخصوص عامل مربوطه کم‌تر است و بنابراین نشانگر نرمال شده به حد نزدیک‌تر می‌شود؛ برعکس هر چه معیار مورد بحث درنقطه‌ی مورد مطالعه از عدد میانگین در شبکه بالاتر باشد مشکل بیشتر است و بنابراین نشانگر به سمت عدد ۱۰ نزدیک‌تر می‌شود.

در جدول ۲ عوامل نه‌گانه‌ی وارد شده در دو بخش شناسایی، رابطه، معیارهای مربوطه و نیز تابع تعریف شده معرفی شده‌اند. قابل ذکر است که فقط در خصوص عامل سوم (نواقص شبکه‌ی چراغ‌های راهنمایی

جدول ۲. عوامل نه گانه‌ی ایجاد تصادف، معیارشناسایی و رابطه‌ی معرفی شده جهت نرمال کردن نشانگرها.

عامل ایجاد تصادف	معیار شناسایی	تابع نشانگر نرمال
نقص‌های طرح هندسی	نسبت تصادفات ناشی از نقص‌های طرح هندسی به کل تصادفات (C)	$F_1 = 1 \quad C \le C_{ave}$ $F_1 = 9\left[\frac{C-1}{1-C_{ave}}\right] + 10 \quad C > C_{ave}$
عدم وجود مسافت دید مناسب	نسبت تصادفات جلو به پهلو (در تقاطع) یا شاخ به شاخ (در راه) به کل تصادفات (S)	$F_2 = 1 \quad S \le S_{ave}$ $F_2 = 9\left[\frac{S-1}{1-S_{ave}}\right] + 10 \quad S > S_{ave}$
نقص‌های شبکه چراغ‌های راهنمایی و علایم	نظر کارشناس	جدول ۳
نقص‌های شبکه روشنایی	نسبت تصادفات رخ داده در شب به کل تصادفات در مقایسه با نسبت حجم ترافیک شب به کل ترافیک N^*	$F_4 = 1 \quad x \le N^*$ $F_4 = 9\left[\frac{x-1}{1-N_{ave}}\right] + 10 x > N^*$
بالا بودن حجم ترافیک نسبت به ظرفیت راه	سطح سرویس موجود (V/C) در مقایسه با سطح سرویس A	$F_5 = 1 \quad (V/C) \le (V/C)_A$ $F_5 = 9\left[\frac{(V/C)-1}{1-(V/C)_A}\right] + 10 \quad (V/C) > (V/C)_A$
موانع داخل حریم راه	نسبت تصادفات از نوع «تک‌وسیله‌ی نقلیه»، به کل تصادفات (T)	$F_6 = 1 \quad T \le T_{ave}$ $F_6 = 9\left[\frac{T-1}{1-T_{ave}}\right] + 10 T > T_{ave}$
نقص‌های شبکه‌ی زهکشی و لغزندگی سطح روسازی	نسبت تصادفات روزهای بارانی به کل تصادفات (W) در مقایسه با نسبت تعداد روزهای بارانی به کل روزهای سال (W^*)	$F_7 = 1 \quad W \le W^*$ $F_7 = 9\left[\frac{W-1}{1-W_{ave}}\right] + 10 W > W^*$
عرض کم خطوط عبوری ترافیک	نسبت تصادفات پهلو به پهلو به کل تصادفات (L)	$F_8 = 1 \quad L \le L_{ave}$ $F_8 = 9\left[\frac{L-1}{1-L_{ave}}\right] + 10 L > L_{ave}$
خرابی‌های روسازی	نسبت تصادفات ناشی از خرابی روسازی به کل تصادفات (P)	$F_9 = 1 \quad P \le P_{ave}$ $F_9 = 9\left[\frac{P-1}{1-P_{ave}}\right] + 10 P > P_{ave}$

و علائم) از آنجا که تصادفات رخ داده با عوامل انسانی آمیخته است، پیشنهاد می‌شود به‌جای استفاده‌ی مستقیم از آمار، از یک نظام مبتنی بر نظر کارشناس، که جزئیات آن در جدول ۳ آمده است، استفاده شود.

پس از مشخص شدن نحوه‌ی ورود عوامل مؤثر در وقوع تصادف‌ها به «بخش شناسایی» رابطه‌ی ۳، اکنون برای انعکاس اهمیت هریک از عوامل لازم است وزن‌های عددی آنها محاسبه شود. برای محاسبه‌ی وزن‌های عددی عوامل از یک روش «تصمیم‌گیری چندمعیاره[5]» استفاده شد. این روش برای اخذ تصمیمی که تمام جوانب را در نظر داشته باشد، با توجه به چند معیار مختلف که غالباً با هم تداخل دارند، استفاده می‌شود. هدف از اعمال این روش تعیین اهمیت و نقش هر عامل براساس دو معیار «تأثیر در تعداد تصادفات» و «تأثیر در شدت تصادفات» بوده است. اطلاعات اولیه برای برآورد این از طریق ۳۱ پرسش‌نامه جمع‌آوری شد. مخاطبین این پرسش‌نامه‌ها متخصصین امر ترافیک درکشور ایران بودند که در سه گروه: «اساتید دانشگاه»، «مسئولین بیمه و پلیس»، و «متخصصین سازمان‌های ترافیکی» کشور دسته‌بندی شدند. پرسش‌نامه در ۶ صفحه و ۳۶ سئوال تنظیم شد. در نخستین صفحه، ضمن تبیین هدفِ نظر خواهی، سوابق و فعالیت‌های مربوط به زمینه‌های مرتبط با نظرخواهی از مخاطب پرسیده شد. این اطلاعات به‌حذف نمونه‌هایی که از اعتبار لازم برخوردار نبودند کمک فراوانی کرد. در صفحه‌ی دوم پرسش‌نامه فهرست عواملی ارائه شد که سنجش میزان تأثیر و اهمیت آنها مورد نظر است. همچنین در این صفحه به‌منظور تعیین وزن‌های دو معیار مورد نظر از پرسش‌شونده خواسته شد بسته به اهمیت هر معیار عددی بین ۱ تا ۱۰ به آن اختصاص دهد (عدد ۱۰ نمایانگر اهمیت بسیار زیاد و عدد ۱ نمایانگر اهمیت بسیار ناچیز می‌باشد). این وزن‌ها در رابطه‌ی ۵ با نماد W_i^k نشان داده شده‌اند.

در صفحات بعدی پرسش‌نامه، سؤال‌های پنج‌گزینه‌یی (با گزینه‌های تأثیر بسیار زیاد، تأثیر زیاد، تأثیر متوسط، تأثیر کم و بدون تأثیر) درخصوص

جدول ۳. نحوه‌ی تعیین نشانگر F_3.

وضعیت چراغ‌های راهنمایی و علایم	نشانگر (F_3)
چراغ‌ها و علائم وجود دارند و تعداد و عملکرد آنها مناسب است.	۱
چراغ‌ها و علائم وجود دارند و تعداد و عملکرد آنها نقص ناچیزی دارند.	۴
چراغ‌ها و علائم وجود دارند و تعداد و عملکرد آنها نقص زیادی دارند.	۷
چراغ‌ها و علائم وجود ندارند.	۱۰

جدول ۴. فهرست عوامل مورد سنجش.

ردیف	عامل
۱	نقص‌های شبکه‌ی روشنایی
۲	نقص‌های شبکه‌ی چراغ‌های روشنایی و علائم
۳	نقص‌های شبکه‌ی زهکشی و لغزندگی سطح روسازی
۴	نقص‌های طرح هندسی
۵	خرابی‌های روسازی
۶	عدم وجود مسافت دید مناسب
۷	عرض کم خطوط عبوری ترافیک
۸	موانع داخل حریم راه
۹	بالا بودن نسبت حجم ترافیک به ظرفیت راه
۱۰	بی‌توجهی و تخلفات رانندگان
۱۱	تداخل ترافیک وسایل نقلیه و عابرین پیاده
۱۲	نقص فنی وسایل نقلیه

هر یک از دوازده عامل جدول ۴ طرح شده است، که نهایتاً منجر به تعیین شاخص‌های خام مربوط به هر عامل می‌شود. این شاخص‌ها که در رابطه‌ی ۵ با X_{ij} نشان داده شده‌اند، با توجه به ماهیت چندمعیاره بودنِ روشِ به کار رفته، جداگانه و براساس هریک از دو معیار «تأثیر در تعداد» و «تأثیر در شدت» تصادفات محاسبه می‌شوند.[۲۱]

به‌منظور تعیین وزن‌های عوامل یاد شده مراحل زیر طی شد:

۱. داده‌های کیفی پرسش‌نامه براساس مقیاس درنظر گرفته شده به کمیت‌های عددی بین ۱ تا ۵ تبدیل شد. این کمیت‌ها یک بار برحسب معیار اول (تأثیر بر تعداد تصادفات) و یک بار برحسب معیار دوم (تأثیر بر شدت تصادفات) حاصل شدند.

۲. با معدل‌گیری از این کمیت‌ها، یک شاخص خام برای هر عامل مورد مطالعه برحسب نظر هر سه گروه پاسخ دهنده به دست آمد.

۳. با توجه به پاسخ‌های داده شده به بخش نخست پرسش‌نامه، برای هریک از دو معیار پیش‌گفته وزنی براساس نظر هرسه گروه کارشناسان محاسبه شد.

۴. براساس شاخص‌های خام ذکرشده و وزنهای به دست آمده، شاخص نهایی برای هر عامل براساس نظر هر سه گروه کارشناس از رابطه‌ی ۵ حاصل می‌شود که نتایج حاصله در جدول‌های ۵ تا ۷ ذکر شده‌اند.

$$I_j^k = \sum_{i=1}^{m} W_i^k X_{ij} \qquad (۵)$$

که در آن:

I_j^k: شاخص نهایی عامل j ام براساس پاسخ گروه k ام؛

W_i^k: متوسط وزن عددی معیار i ام که توسط پاسخ‌گویان گروه k معین شده است؛

X_{ij}: شاخص عامل j ام براساس معیار i ام؛

n: تعداد معیارها و برابر ۲ است.

جدول ۵. شاخص نهایی عوامل مؤثر بر تصادفات براساس پاسخ‌های گروه استادان.

j	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳	عامل ۴	عامل ۵	عامل ۶	عامل ۷	عامل ۸	عامل ۹	عامل ۱۰	عامل ۱۱	عامل ۱۲
W_1X_{1j}	۱٫۵۴	۱٫۹۰	۱٫۴۲	۲٫۱۴	۱٫۵۴	۱٫۹۶	۱٫۴۸	۱٫۶۶	۱٫۷۶	۲٫۲۰	۱٫۸۴	۱٫۹۶
W_2X_{2j}	۱٫۸۹	۱٫۸۹	۱٫۷۶	۲٫۱۵	۱٫۷۶	۲٫۰۹	۱٫۷۶	۲٫۰۲	۱٫۷۱	۲٫۴۱	۲٫۲۲	۲٫۲۸
شاخص نهایی	۳٫۴۴	۳٫۸۰	۳٫۱۹	۴٫۲۹	۳٫۳۱	۴٫۰۵	۳٫۲۵	۳٫۶۹	۳٫۴۸	۴٫۶۲	۴٫۰۶	۴٫۲۵

جدول ۶. شاخص نهایی عوامل مؤثر بر تصادفات براساس پاسخ‌های گروه مسئولین.

j	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳	عامل ۴	عامل ۵	عامل ۶	عامل ۷	عامل ۸	عامل ۹	عامل ۱۰	عامل ۱۱	عامل ۱۲
W_1X_{1j}	۱٫۸۱	۱٫۸۹	۱٫۵۹	۲٫۰	۱٫۵۹	۱٫۸۹	۱٫۶۵	۱٫۶۷	۲٫۱۳	۲٫۴۰	۱٫۹۴	۱٫۸۶
W_2X_{2j}	۱٫۹۳	۱٫۸۲	۱٫۷۶	۲٫۰۲	۱٫۵۹	۲٫۰۸	۱٫۶۲	۱٫۸۵	۱٫۷۳	۲٫۴۲	۱٫۹۶	۲٫۰۲
شاخص نهایی	۳٫۷۵	۳٫۷۱	۳٫۳۶	۴٫۰۲	۳٫۱۹	۳٫۹۷	۳٫۲۷	۳٫۵۳	۳٫۸۷	۴٫۸۳	۳٫۹۱	۳٫۸۹

جدول ۷. شاخص نهایی عوامل مؤثر بر تصادفات براساس پاسخ‌های گروه پلیس و بیمه.

j	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳	عامل ۴	عامل ۵	عامل ۶	عامل ۷	عامل ۸	عامل ۹	عامل ۱۰	عامل ۱۱	عامل ۱۲
W_1X_{1j}	۱٫۶۹	۲٫۰۳	۱٫۵۵	۲٫۰۳	۱٫۵۵	۱٫۹۴	۱٫۶۴	۱٫۴۵	۱٫۸۴	۲٫۳۲	۱٫۷۴	۲٫۰۲
W_2X_{2j}	۱٫۹۵	۱٫۶۴	۱٫۶۴	۲٫۰۶	۱٫۳۳	۲٫۰۶	۱٫۵۴	۱٫۸۵	۱٫۴۴	۲٫۴۷	۱٫۹۵	۲٫۰۶
شاخص نهایی	۳٫۶۵	۳٫۶۸	۳٫۲۰	۴٫۰۹	۲٫۸۹	۴٫۰	۳٫۱۹	۳٫۳۰	۳٫۲۸	۴٫۸۰	۳٫۷۰	۴٫۰۹

۵. در جدول ۸ رده‌بندی نهایی دوازده عامل براساس مجموع شاخص‌های سه گروه از پاسخ‌گویان دیده می‌شود که از رابطه‌ی ۶ به‌دست می‌آید.

$$I_j = \sum_{k=1}^{m} I_j^k \qquad (۶)$$

که در آن:

I_j: شاخص j ام مورد استفاده برای رده‌بندی نهایی؛

I_i^k: شاخص نهایی عامل J ام براساس پاسخ‌های گروه Kام؛

m: تعداد گروه‌های پاسخ‌دهنده و برابر ۳ است.

۶. با توجه به جدول ۸ اکنون برای هر یک از عوامل نه‌گانه وزنی متناسب با شاخص آن عامل محاسبه می‌شود. این وزن‌ها در بخش D.P. رابطه‌ی شاخص خطر (جداول ۹ و ۱۰) در نشانگرهای نرمال شده مربوط به عوامل ضرب می‌شوند تا اهمیت عامل مربوطه در تعیین میزان خطرزایی تقاطع یا راه را منعکس کنند.

با مشخص شدن نشانگرهای عوامل و اوزان آنها در «بخش شناسایی»، اکنون رابطه‌ی شاخص خطر کامل شده است، رابطه‌ی حاصل در جدول‌های ۹ و ۱۰ به‌صورت جداگانه برای راه‌ها و تقاطع‌ها ارائه شده است. در این روابط:

H.I. = شاخص خطر راه یا مقطع؛

S.P. = شاخص حاصل از «بخش آماری» رابطه‌ی شاخص خطر؛

D.P. = شاخص حاصل از «بخش شناسایی» رابطه شاخص خطر؛

جدول ۸. رده‌بندی نهایی عوامل براساس مجموع شاخص‌های سه گروه.

عامل موثر	شاخص نهایی	رتبه نهایی
بی‌توجهی و تخلفات رانندگان	۱۴٫۲۵	۱
نقص‌های طرح هندسی	۱۲٫۴۲	۲
نقص فنی وسایل نقلیه	۱۲٫۲۲	۳
عدم وجود مسافت دید مناسب	۱۲٫۰۳	۴
تداخل ترافیک وسایل نقلیه و عابرین پیاده	۱۱٫۶۸	۵
نقص‌های شبکه‌ی چراغ‌های راهنمایی و علایم	۱۱٫۲۰	۶
نقص‌های شبکه‌ی روشنایی	۱۰٫۸۴	۷
موانع داخل حریم راه	۱۰٫۶۷	۸
بالا بودن نسبت حجم ترافیک نسبت به ظرفیت راه	۱۰٫۵۳	۹
نقص‌های شبکه‌ی زهکشی و لغزندگی سطح روسازی	۹٫۷۵	۱۰
عرض کم خطوط عبوری ترافیک	۹٫۷۲	۱۱
خرابی‌های روسازی	۹٫۳۹	۱۲

N = عدد نرمال شده برای تعداد تصادفات؛

R = عدد نرمال شده برای نرخ تصادفات؛

n = تعداد تصادفات خسارتی؛

r = تعداد تصادفات خسارتی؛

Fa = تعداد تصادفات فوتی؛

HIa = تعداد تصادفات جرحی شدید (نیازمند بستری شدن در بیمارستان یا درمانگاه)؛

LIa = تعداد تصادفات جرحی سبک؛

PDa = تعداد تصادفات خسارتی؛

ADT = متوسط تردد روزانه؛

k = تعداد روزهای دوره‌ی مورد مطالعه؛

F_1 = نشانگر نرمال شده برای عامل «نقص‌های طرح هندسی»؛

F_2 = نشانگر نرمال شده برای عامل «عدم وجود مسافت دید مناسب»؛

F_3 = نشانگر نرمال شده برای عامل «نقص‌های چراغ‌های راهنمایی و علائم»؛

F_4 = نشانگر نرمال شده برای عامل «نقص‌های شبکه‌ی روشنایی»؛

F_5 = نشانگر نرمال شده برای عامل «بالا بودن حجم ترافیک نسبت به ظرفیت راه»؛

F_6 = نشانگر نرمال شده برای عامل «موانع داخل حریم راه»؛

F_7 = نشانگر نرمال شده برای عامل «نقص‌های شبکه‌ی زهکشی و لغزندگی روسازی»؛

F_8 = نشانگر نرمال شده برای عامل «عرض کم خطوط عبوری ترافیک»؛

F_9 = نشانگر نرمال شده برای عامل «خرابی‌های روسازی»؛

C = نسبت تصادفات ناشی از نقص‌های طرح هندسی به کل تصادفات تقاطع یا راه مورد نظر؛

C_{ave} = متوسط نسبت تصادفات ناشی از نقص‌های طرح هندسی، به کل تصادفات در سطح شبکه؛

S = نسبت تصادفات جلو به پهلو (در نشانگر مربوط به تقاطع) یا تصادفات جلو به جلو (در نشانگر مربوط به راه)، به کل تصادفات تقاطع یا راه مورد نظر؛

S_{ave} = متوسط تصادفات جلو به پهلو (در نشانگر مربوط به تقاطع) یا تصادفات شاخ به شاخ (در نشانگر مربوط به راه)، به کل تصادفات در سطح شبکه؛

n = نسبت تصادفات در شب به کل تصادفات تقاطع یا راه مورد نظر؛

N^* = نسبت حجم ترافیک در شب به کل ترافیک؛

$\left(\frac{V}{C}\right)$ = نسبت حجم به ظرفیت در جزء مورد نظر؛

$\left(\frac{V}{C}\right)_A$ = نسبت حجم به ظرفیت در سطح سرویس A؛

T = نسبت تصادفات از نوع «تک‌وسیله» به کل تصادفات تقاطع یا راه مورد نظر؛

جدول ۹. روابط مورد استفاده برای تعیین شاخص خطر راه‌ها.

$F_۱ = \begin{cases} ۱ & C \le C_{ave} \\ ۹[(C-۱)/(۱-Cave)]+۱۰ & C > C_{ave} \end{cases}$	$F_۲ = \begin{cases} ۱ & S \le S_{ave} \\ ۹[(S-۱)/(۱-Save)]+۱۰ & S > S_{ave} \end{cases}$
$F_۳ = \begin{cases} ۱ \\ ۴ \\ ۷ \\ ۱۰ \end{cases}$	چراغ‌ها و علائم وجود دارند و عملکرد آن‌ها مناسب است. چراغ‌ها و علائم وجود دارند و از نظر تعداد و عملکرد نقص‌های ناچیزی وجود دارد. چراغ‌ها و علائم وجود دارند و از نظر تعداد و عملکرد نقص‌های زیادی وجود دارد. چراغ‌ها و علائم وجود ندارند.
$F_۴ = \begin{cases} ۱ & B \le N^* \\ ۹[(B-۱)/(۱-T^*)+۱۰ & B > N^* \end{cases}$	$F_۵ = \begin{cases} ۱ & v/c \le (v/c)_A \\ ۹[((v/c)-۱)/(۱-(v/c)_A)]+۱۰ & v/c > (v/c)_A \end{cases}$
$F_۶ = \begin{cases} ۱ & T \le T_{ave} \\ ۹[(T-۱)/(۱-Tave)]+۱۰ & T > T_{ave} \end{cases}$	$F_۷ = \begin{cases} ۱ & W \le W^* \\ ۹[(W-۱)/(۱-W^*)+۱۰ & W > W^* \end{cases}$
$F_۸ = \begin{cases} ۱ & L \le L_{ave} \\ ۹[(L-۱)/(۱-Lave)]+۱۰ & L > L_{ave} \end{cases}$	$F_۹ = \begin{cases} ۱ & P \le Pave \\ ۹[(P-۱)/(۱-Pave)]+۱۰ & P > Pave \end{cases}$

جدول ۱۰. روابط مورد استفاده برای تعیین شاخص خطر تقاطع‌ها.

$F_۱ = \begin{cases} ۱ & C \le C_{ave} \\ ۹[(C-۱)/(۱-Cave)]+۱۰ & C > C_{ave} \end{cases}$	$F_۲ = \begin{cases} ۱ & S \le S_{ave} \\ ۹[(S-۱)/(۱-Save)]+۱۰ & S > S_{ave} \end{cases}$
$F_۳ = \begin{cases} ۱ \\ ۴ \\ ۷ \\ ۱۰ \end{cases}$	چراغ‌ها و علائم وجود دارند و عملکرد آن‌ها مناسب است. چراغ‌ها و علائم وجود دارند و از نظر تعداد و عملکرد نقص‌های ناچیزی وجود دارد. چراغ‌ها و علائم وجود دارند و از نظر تعداد و عملکرد نقص‌های زیادی وجود دارد. چراغ‌ها و علائم وجود ندارند.
$F_۴ = \begin{cases} ۱ & B \le N^* \\ ۹[(B-۱)/(۱-T^*)+۱۰ & B > N^* \end{cases}$	$F_۵ = \begin{cases} ۱ & v/c \le (v/c)_A \\ ۹[((v/c)-۱)/(۱-(v/c)_A)]+۱۰ & v/c > (v/c)_A \end{cases}$
$F_۶ = \begin{cases} ۱ & T \le T_{ave} \\ ۹[(T-۱)/(۱-Tave)]+۱۰ & T > T_{ave} \end{cases}$	$F_۷ = \begin{cases} ۱ & W \le W^* \\ ۹[(W-۱)/(۱-W^*)+۱۰ & W > W^* \end{cases}$
$F_۸ = \begin{cases} ۱ & L \le L_{ave} \\ ۹[(L-۱)/(۱-Lave)]+۱۰ & L > L_{ave} \end{cases}$	$F_۹ = \begin{cases} ۱ & P \le Pave \\ ۹[(P-۱)/(۱-Pave)]+۱۰ & P > Pave \end{cases}$

T_{ave} = متوسط تصادفات از نوع «تک‌وسیله»، به کل تصادفات در سطح شبکه؛

W = نسبت تعداد تصادفات در روزهای برفی، بارانی و یخ‌بندان، به کل تصادفات تقاطع یا راه مورد نظر؛

W^* = نسبت تعداد روزهای بارانی به تعداد کل روزهای دوره‌ی مورد مطالعه؛

L = نسبت تصادفات «پهلو به پهلو» به تعداد کل تصادفات تقاطع یا راه مورد نظر؛

L_{ave} = متوسط تصادفات «پهلو به پهلو» به تعداد کل تصادفات در سطح شبکه؛

P = نسبت تعداد تصادفات ناشی از خرابی‌های روسازی، به کل تصادفات تقاطع یا راه مورد نظر؛

P_{ave} = متوسط تعداد تصادفات ناشی از خرابی روسازی، به کل تصادفات در سطح شبکه؛
l = طول خیابان (کیلومتر).

$$\boxed{\text{H. I.} = (\text{S. P.}) * (\text{D. P.})}$$

محاسبه‌ی بخش آماری رابطه:

$$S.P. = [(R+N)/۲]$$

$$N = \begin{cases} ۱۰ & ۱۲۵ < n \\ ۰/۰۴n + ۴/۴۴ & ۸۰ < n < ۱۲۵ \\ ۰/۰۵n + ۴ & ۴۰ < n < ۸۰ \\ ۰/۱۰n + ۲ & ۲۰ < n < ۴۰ \\ ۰/۱۳n + ۱/۳۳ & ۵ < n < ۲۰ \\ ۰/۴۰n & n < ۵ \end{cases}$$

$$R = \begin{cases} ۱۰ & ۳,۷۲ < r \\ ۱/۳۳r + ۵/۰۴ & ۲/۲۲ < r < ۳/۷۲ \\ ۲/۴۶r + ۲/۵۲ & ۱/۴۱ < r < ۲/۲۲ \\ ۳/۳۹r + ۱/۲۲ & ۰/۸۲ < r < ۱/۴۱ \\ ۴/۷۶r + ۰/۰۹ & ۰/۴ < r < ۰/۸۲ \\ ۵r & r < ۰/۴ \end{cases}$$

تعداد خام تصادفات:

$$n = ۱۱/۵ * F + ۴/۵Hl + ۱/۹ * Ll + PD$$

نرخ خام تصادفات:

$$r = n * ۱۰^۶/[ADT * l * k]$$

محاسبه‌ی بخش شناسایی رابطه‌ی شاخص خطر:

$$\begin{aligned} D.P. = [&F_۱ * ۰/۱۲۹ + F_۲ * ۰/۱۲۵ + F_۳ * ۰/۱۱۶ \\ &+F_۴ * ۰/۱۱۲ + F_۵ * ۰/۱۱۰ + F_۶ * ۰/۱۰۹ \\ &+F_۷ * ۰/۱۰۱ + F_۸ * ۰/۱۰۱ + F_۹ * ۰/۰۹۷ \end{aligned}$$

چگونگی محاسبه‌ی نشانگرهای بخش شناسایی رابطه در جدول ۹ ارائه شده است.

$$\boxed{\text{H. I.} = (\text{S. P.}) * (\text{D. P.})}$$

محاسبه‌ی بخش آماری رابطه:

$$S.P. = [(N+R)/۲]$$

$$N = \begin{cases} ۱۰ & ۱۱۲ < n \\ ۰/۰۳n + ۶/۸ & ۴۲ < n < ۱۱۲ \\ ۰/۱۳n + ۲/۷۵ & ۲۶ < n < ۴۲ \\ ۰/۲۵n - ۰/۵ & ۱۸ < n < ۲۶ \\ ۰/۲۹n + ۱/۱۴ & ۱۱ < n < ۱۸ \\ ۰/۱۸n & n < ۱۱ \end{cases}$$

$$R = \begin{cases} ۱۰ & ۵/۷ < r \\ ۰/۹۱r + ۴/۸۲ & ۳/۵ < r < ۵/۷ \\ ۱/۸۲r + ۱/۶۴ & ۲/۴ < r < ۳/۵ \\ ۱/۴۲r + ۲/۵۷ & ۱ < r < ۱/۴ \\ ۵/۰۰r + ۱/۰۰ & ۰/۶ < r < ۱ \\ ۳/۳۳r & r < ۰/۶ \end{cases}$$

تعداد خام تصادفات:

$$n = ۱۱/۵ * F + ۴/۵Hl + ۱/۹ * Ll + PD$$

نرخ خام تصادفات:

$$r = n * ۱۰^۶/[ADT * l * k]$$

محاسبه‌ی بخش شناسایی رابطه‌ی شاخص خطر:

$$\begin{aligned} D.P. = [&F_۱ * ۰/۱۲۹ + F_۲ * ۰/۱۲۵ + F_۳ * ۰/۱۱۶ \\ &+F_۴ * ۰/۱۱۲ + F_۵ * ۰/۱۱۰ + F_۶ * ۰/۱۰۹ \\ &+F_۷ * ۰/۱۰۱ + F_۸ * ۰/۱۰۱ + F_۹ * ۰/۰۹۷ \end{aligned}$$

چگونگی محاسبه‌ی نشانگرهای بخش شناسایی رابطه در جدول ۱۰ ارائه شده است.

نتیجه‌گیری

«شاخص خطر» یکی از ابزارهای مدیریتی است که به‌منظور تعیین نقص‌های ایمنی راه‌ها به کار می‌رود. در این نوشتار براساس نظرخواهی از متخصصین ترافیکی و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره عوامل مؤثر در بروز تصادفات در راه‌ها و تقاطع شناسایی، و نهایتاً دو رابطه برای تعیین شاخص خطر آنها ارائه شد.

روابط پیشنهاد شده با در نظر گرفتن غالب عوامل مؤثر در وقوع یک تصادف، قابلیت ارائه‌ی یک تصویر جامع و دقیق از وضعیت ایمنی اجزای شبکه و به‌تبع آن، مقایسه‌ی صحیح این اجزاء با یکدیگر را دارد. برای مثال با توجه به محدودیت اعتبارات و منابع در دسترس برای

افزایش ایمنی شبکه، با استفاده از روابط فوق اولاً می‌توان نقاط بحرانی‌تر را مشخص کرد و در اولویت قرار داد، و ثانیاً با بررسی بخش شناسایی نوع مشکل را تشخیص داد. مجموعه‌ی اطلاعات فوق در نهایت منجر به تخصیص مناسب‌تر منابع محدود و بهره‌وری بهینه خواهد بود.

مزیت دیگرروشِ ارائه شده قابلیت تطبیق با شرایط شبکه‌های ترافیکی گوناگون است که به‌سادگی و با اعمال تغییراتی در عوامل و وزن‌ها حاصل می‌شود. از آنجا که وزن‌های مورد استفاده در بخش شناسایی رابطه براساس یک روش «تصمیم‌گیری چندمعیاره»، حاصل شده‌اند می‌توان با تنظیم معیارهای مورد نظر براساس شرایط هر شبکه روابط را هماهنگ کرد.

روابط پیشنهاد شده با درنظر گرفتن غالب عوامل مؤثر در وقوع یک تصادف، قابلیت ارائه‌ی یک تصویر جامع و دقیق از وضعیت ایمنی اجزای شبکه، و به‌تبع آن مقایسه‌ی صحیح این اجزاء با یکدیگر را دارد. در بخش «آماری» رابطه سه عامل تعداد، نرخ و شدت تصادف دیده شد و در بخش «شناسایی» ۹ عامل در ارتباط با فیزیک و کارکرد راه منظور شد. دوبخشی بودن رابطه‌ی پیشنهادی، امکان انجام بررسی‌های دقیق‌تر را از دو جنبه‌ی «آمار تصادفات» و «عوامل وقوع تصادف» به‌وجود می‌آورد. این روابط با توجه به هماهنگی آنها با شرایط ایران از انعطاف‌پذیری و سادگی محسوسی برخوردارند و در شناسایی و تعیین شاخص خطر در راه‌ها و تقاطع‌ها نقش مؤثری دارند.

پانوشت

1. empirical bays method
2. black spot vs black sections
3. rate-quality
4. hazard index
5. multi- criteria decision making methods (MCDM)

منابع

1. Bhagwant Persaud, Craig Lyon, and Thu Nguyen, "Empirical Bayes Procedure for Ranking Sites for Safety Investigation by Potential for Safety Improvement", *Transportation Research Record*, (1665), pp. 7-12 (1999).
2. John R. Treat, and Stephen T. McDonald, "Hazard Index for Intersections", *Journal of American Society of Civil Engineering*, **115** (6), pp 112-117 (1989).
3. Ezra Hauer, "Identification Sites with Promise", *Transportation Research Record*, (1542), pp. 54-60 (1997).
4. Norden N., J. Orlansky, and , H. Jacobs, "Application of Statistical Quality-Control Techniques to Analysis of Highway Accident Data", *Highway Research Record*, (117), pp. 17-31 (1956).
5. Rudy B. M., "Operational Route Analysis", *Highway Research Record*, (341), pp. 1-29 (1962).
6. Morin D. A., "Application of Statistical Concepts to Accident Data", *Highway Research Record*, (1888), pp. 71-85 (1967).
7. Jorgenson N. O., "Statistical Detection of Accident Black Spots", OTAPIARC 11th International Study Week in Transportation and Safety, Brussels, Belgium, (1972).
8. Tamburri T. N., and, T. N. Smith, "The Safety Index: Method of Evaluating and Rating Safety Benefits", *Highway Research Record*, (332), pp. 28-39 (1979).
9. Deacon J. A., C. V. Zegeer, and R. C. Dean, "Identification of Hazardous Rural Highway Locations", *Transportation Research Record*, (543), pp. 16-33 (1975).
10. Laughland J. C., L. E. Haefner, J. V. Hall, and, D. R. Clough, "NCHRP Report 162: Methods for Evaluating Highway safety Improvements", Transportation Research Record, Appendix Q, (1975).
11. Taylor J. I., and H. T. Thompson, "Identification of Hazardous Locations", Report FHWA-RD-77-81, US Department of Transportation, (Dec. 1977).
12. McGuigan D. R. D. "The Use of Relationship Between Road accidents and Traffic Flow in Black Spot Identification", Traffic Engineering and Control, pp. 448-453 (1981).
13. McGuigan D. R. D. "Nonjunction Accident Rates and Their Use in Black-Sports Identification", Traffic Engineering and Control, pp. 60-65 (1982).
14. Mahalel D., A. S. Hakkert, and, J. N. Phrasker, "A System for the Allocation Safety Resources on a Road Network", *Accident Analysis and Prevention*, **14** (1), pp 45-56 (1982).

15. Flak M. A., and, J. C. Barbaresso, "Use of Computerized Roadway Information System in Safety Analyses", *Transportation Research Record*, (844), pp. 50-55 (1982).

16. Hauer E., and, B. N. Persuad, "Problem of Identifying Hazardous Locations Using Accident Data", *Transportation Research Record*, (975), pp. 36-43 (1984).

17. Hauer E., "Empirical Bays Method to the Estimation of Unsafety; the Multivariate Approach", Report FHWA-RD-90-006, US Department of Transportation, (March. 1990).

18. Hauer E., "Empirical Bays Approach to the Estimation of Unsafety; the Multivariate Regression Approach", *Accident Analysis and Prevention*, **24** (5), pp 456-478 (1992).

19. Heydecker B. G., and, J. Wu, "Using the Information in Road Accident Records", 19^{th} Summer Annual Meeting of PRTC, University of Sussex, England, (Sept. 1991).

۲۰. آیتی، اسماعیل. «تصادفات جاده‌یی ایران»، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۷۱).

۲۱. مشفق‌مجرد، مازیار. «روابط محاسبه «شاخص خطر تصادفات» در راه‌های ایران»، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گرایش راه و ترابری*، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، (دی، ۱۳۷۹).