ive of SID

کاربرد رویکرد تلفیقی سلسله مراتبی فازی در اولویت‌بندی اصلاح تقاطع‌های درون‌شهری در جهت افزایش ایمنی عابران پیاده

(مقاله پژوهشی)

علی کرمی[1]، منصور حاجی‌حسینلو[2]، محمدحسین عباسی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۹

چکیده

همه‌ساله نزدیک به ۱/۳۵ میلیون نفر در جهان، جان خود را به‌علت حوادث ترافیکی از دست می‌دهند که ۵۰ درصد آن مربوط به کاربران آسیب‌پذیر (عابران‌پیاده، دوچرخه‌سواران و موتورسواران) است. با توجه به تأثیر عوامل مختلف بر تصادفات عابران پیاده، نظیر رفتار عابران پیاده و رانندگان، ویژگی‌های هندسه مسیرها، ابزارهای کنترل ترافیک و کاربری زمین‌های اطراف، دست‌یابی به ایمنی عابران‌پیاده پیچیده شده است. هدف از این پژوهش، اولویت‌بندی اصلاح تقاطع‌های حادثه‌خیز براساس عوامل مؤثر بر ایمنی عابران پیاده در ۲۵ تقاطع مهم منطقه ۱۱ شهرداری تهران است که در مجموع تعداد تصادف در سال‌های ۱۳۹۵ الی ۱۳۹۷ در این ۲۵ تقاطع و حوزه تأثیر ۵۰ متری آنها بیش از ۲۵درصد کل تصادفات است و بیش از ۴۰درصد از کل مرگ‌ومیرهای ناشی از تصادفات این منطقه را عابران پیاده تشکیل می‌دهند. بر همین اساس، ابتدا از روش‌های اولویت‌بندی مقاطع حادثه‌خیز نظیر فراوانی تصادفات عابران پیاده، نرخ تصادفات عابران پیاده، بررسی شاخص هم‌سنگ خسارات مالی و روش تلفیقی سلسه مراتبی- فازی استفاده شده است که به‌منظور تشخیص شاخص‌ها و معیارهای اولویت‌بندی از پرسش‌نامه‌ای با طیف‌های ۹ درجه‌ای فازی جهت تحلیل زوجی بین شاخص‌ها استفاده شد. نتایج نشان‌گر وزن بیشتر شاخص کاربری تجاری (۳۷ درصد نسبت به سایر شاخص‌های کاربری زمین) و منفعت به هزینه (۱۷ درصد نسبت به سایر شاخص‌های ایمنی) در اولویت‌بندی تقاطع‌ها است. درنهایت براساس شاخص‌های اولویت‌بندی، تقاطع مولوی- ولی‌عصر (عج) بیشترین اولویت اصلاح را به‌خود اختصاص می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: *ایمنی ترافیک، تراکم تصادفات، تحلیل فضایی تصادفات، الگوهای تصادفات.*

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد حمل‌ونقل، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ali.karami@email.kntu.ac.ir

۲. دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، نویسنده مسئول: mansour@kntu.ac.ir

۳. دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، a_mohammadhossein@modares.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

همه‌ساله نزدیک به ۱/۳۵ میلیون نفر در جهان جان خود را به‌علت حوادث ترافیکی از دست می‌دهند که بیش از ۵۰درصد آنها کاربران آسیب‌پذیر (عابران‌پیاده، دوچرخه‌سواران و موتورسواران) هستند (سازمان بهداشت جهانی[1]، ۲۰۱۸). براساس آمارهای انجمن ایمنی بزرگراه‌های آمریکا، تعداد مرگ‌ومیر عابران پیاده ناشی از تصادفات در سال ۲۰۱۵ حدود ۵۳۷۶ نفر برآورد شده است که این آمار نسبت به سال ۲۰۰۶ افزایشی چهار درصدی به‌همراه داشته است (انجمن ایمنی بزرگراه‌های آمریکا[2]، ۲۰۱۷). هم‌چنین در بریتانیا، در سال ۲۰۱۸، ۳۹۸ مورد مرگ‌ومیر ناشی از تصادفات عابران پیاده ثبت شده که ۲۳ درصد از کل تلفات مربوط به تصادفات جاده‌ای بوده است (دپارتمان حمل‌ونقل[3]، ۲۰۱۹). هم‌چنین براساس گزارشی که در اسفندماه ۱۳۹۷ توسط شهرداری تهران منتشر شد، آمار تلفات عابران پیاده در تهران ۵۰درصد از کل مرگ‌ومیرهای ناشی از تصادفات ترافیکی را به‌خود اختصاص می‌دهد (شهرداری تهران، ۱۳۹۷). براساس آمارهای ارائه‌شده، توجه به ایمنی عابران پیاده، به‌خصوص در تقاطع‌های شهری امری ضروری به‌نظر می‌رسد. به‌دلیل محدودیت اعتبارات، ایمن‌سازی همه تقاطع‌های حادثه‌خیز در یک منطقه ممکن نیست؛ لذا اولویت‌بندی اصلاح آنها در جهت برنامه‌ریزی صحیح و تخصیص مناسب بودجه با بیشترین بهره‌وری گامی اساسی در کاهش تصادفات عابران پیاده است.

هدف از این پژوهش اولویت‌بندی اصلاح تقاطع‌های حادثه‌خیز براساس عوامل مؤثر بر ایمنی عابران پیاده در ۲۵ تقاطع مهم منطقه ۱۱ شهرداری تهران است که درمجموع تعداد تصادف در سال‌های ۱۳۹۵ الی ۱۳۹۷ در این ۲۵ تقاطع و حوزه تأثیر ۵۰ متری آنها بیش از ۲۵درصد کل تصادفات است و بیش از ۴۰درصد از کل مرگ‌ومیرهای ناشی از تصادفات را عابران پیاده تشکیل می‌دهند که اصلاح آنها باعث ارتقای ایمنی این

1. World Health Organization
2. National Highway Traffic Safety Administration
3. Department for Transport

www.SID.ir

ive of SID

منطقه خواهد شد (شهرداری تهران، ۱۳۹۷). به‌عبارتی در این پژوهش به‌دنبال پاسخ به پرسش "کدام یک از تقاطع‌ها در منطقه ۱۱ شهرداری تهران، با توجه به روش‌های آماری دارای اولویت اصلاح بیشتری است؟" هستند.

پیشینه پژوهش

پژوهش‌های مختلفی در زمینه تشخیص و ارزیابی مقاطع حادثه‌خیز، رتبه‌بندی جهت اصلاح، اولویت‌بندی و تعیین راه‌کارهای عملی در سال‌های اخیر انجام شده است. در ادامه خلاصه‌ای از مطالعات صورت‌گرفته در این زمینه بیان می‌شود:

احدی، سلیمی کوچی، مهماندار و حسین‌پور (۱۳۹۷: ۲) نیز مدلی بهینهٔ جهت شناسایی نقاط حادثه‌خیز راه‌های دوخطهٔ برون‌شهری ایران ارائه کردند. به‌منظور شناسایی نقاط حادثه‌خیز از سه معیار شناسایی نقاط حادثه‌خیز شامل معیار فراوانی تصادف، شاخص هم‌سنگ خسارت مالی و برآورد بیز تجربی استفاده کردند. یافته‌ها نشان داد که روش فراوانی تصادفات به‌سمت مکآنهایی با حجم ترافیک بالا گرایش داشته و علاوه بر آن، شدت تصادف در این روش در نظر گرفته نمی‌شود. در روش شاخص هم‌سنگ، خسارات مالی نیز حجم ترافیک عبوری و ماهیت تصادف در نظر گرفته نمی‌شود و انحراف به سمت مکآنهایی با سرعت بالا در راه‌های برون‌شهری دارد. لیکن روش بیز تجربی با درنظرگرفتن ماهیت تصادفی تصادفات و لحاظ «بازگشت به میانگین» در داده‌های تصادفات، با دقت بیشتری نسبت به تخمین پتانسیل بهبود نقاط حادثه‌خیز اقدام کرده و در مقایسه با سایر روش‌ها، روش مناسبی در تعیین نقاط حادثه‌خیز در راه‌های برون‌شهری است و درنهایت تحلیل‌های صورت‌گرفته به‌روش بیز تجربی نشان داد که در محورهای مورد مطالعه، تمرکز مکآنهای شناسایی‌شده، بیشتر در پیچ‌ها و تقاطع‌ها است.

امینی و گلی (۱۳۹۴: ۵) در پژوهشی به بررسی تعدادی از راه‌های اصلی استان قزوین جهت تعیین شاخص ایمنی تحت تأثیر عوامل مؤثر در جهت اولویت‌بندی اصلاح

www.SID.ir

Archive of SID

نقاط حادثه‌خیز پرداختند. در این مطالعه از روش شاخص مرتبط با شدت تصادفات، روش تحلیل سلسله مراتبی و روش جدیدی تحت عنوان روش شاخص جامع ایمنی استفاده کردند که پس از تحلیل نتایج، شاخص‌های ایمنی حاصله از ۴ روش را با یکدیگر مقایسه کردند. افندی‌زاده و کاشانی (۱۳۹۳: ۱) نیز مدلی جهت اولویت‌بندی ایمنی تقاطع‌های هم‌سطح ارائه کردند. با توجه به اهمیت شناسایی و دسته‌بندی عوامل مؤثر بر ایمنی تقاطع‌های هم‌سطح، در این مطالعه پس از تعیین و طبقه‌بندی عوامل مذکور با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به اولویت‌بندی آنها پرداختند که نتایج نشان داد که حرکت حین قرمز با ۱۰/۴درصد و زاویه تقاطع با ۸/۷درصد دارای بیشترین و حجم گردش‌به‌راست و جزیره‌های ترافیکی با ۰/۸درصد و ۰/۴درصد دارای کمترین میزان اهمیت هستند. فرزین، حاجی‌حسینلو و ابطحی (۱۳۹۱: ۶) اقدام به پیش‌بینی تصادفات عابران‌پیاده در تقاطع‌های هم‌سطح با استفاده از روش شبکه عصبی کردند. در این پژوهش، داده‌های مربوط به ۲۳۰ تقاطع و تصادفات عابران‌پیاده آنها جمع‌آوری و با استفاده از روش شبکه‌های عصبی تحلیل شد. درنهایت یک شبکه پیش‌خور با پس انتشار خطا با سه لایه و ۴۰ نرون در لایه‌ها قادر به پیش‌بینی تصادفات عابران با احتمال ۸۵ درصد شد. نتایج حاصل از این تحقیق علاوه بر پیش‌بینی تصادفات عابران‌پیاده در تقاطع‌ها، اولویت‌بندی اصلاح تقاطع‌ها از نظر ایمنی و تحلیل حساسیت عوامل مختلف در تصادفات عابران است. بندیوپادهایا و میترا[1] (۲۰۱۳: ۲) نقاط حادثه‌خیز را با استفاده از داده‌های تصادفات سه سال کشور هند در مسیری به طول ۷۰ کیلومتر با روش ترکیبی احتمال و فازی بررسی کردند. در مدل پیشنهادی آنها، احتمال رخداد تصادف توسط عوامل اصلی مؤثر در تصادف شامل تعداد تصادفات شدید و فوتی قابل‌انتظار محاسبه شد. در این مدل، تصادفات مورد انتظار در دو دسته فازی نقاط سیاه و سفید تقسیم‌بندی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از تکنیک خوشه‌بندی

1. Bandyopadhyaya and Mitra

www.SID.ir

ive of SID

سی‌مینز[1] در مقایسه با روش تعداد تصادفات، دارای قابلیت اطمینان بالاتری در شناسایی نقاط حادثه‌خیز است. آگروال، پتیل و مهار[2] (۲۰۱۳: ۷) به معرفی روش اولویت‌بندی نقاط حادثه‌خیز جاده‌ای براساس شاخص ایمنی و با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. آنها در این مطالعه، از ساختار سلسله مراتبی چهار مرحله‌ای جهت اولویت‌بندی مکآنهای حادثه‌خیز در قسمت‌های مستقیم جاده، قوس‌ها و تقاطع‌ها استفاده کردند. هم‌چنین کیم[3] (۲۰۱۶: ۶) تأثیر چندین ویژگی تقاطع‌های شهری بر تصادفات عابران پیاده هم‌چون محیط‌های مختلفی که تقاطع در آن ساخته شده، طرح هندسی، دستگاه‌های کنترل ترافیک و متغیرهای اجتماعی- جغرافیایی محله‌های اطراف تقاطع در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ در واشنگتن را مورد بررسی قرار داد. براساس این پژوهش، تعداد خطوط ورودی و خروجی به تقاطع، سلسله‌مراتب خیابان ورودی به تقاطع و وجود پارک‌های حاشیه‌ای در نزدیکی تقاطع‌ها تأثیر منفی بر ایمنی عابران پیاده دارد. هم‌چنین با توجه به یافته‌های این پژوهش، اقداماتی از قبیل گسترش پیاده روها و افزایش تعداد چراغ‌های خیابانی، افزایش مساحت پیاده‌روها و ایجاد تقاطع‌های غیرهم‌سطح در افزایش ایمنی عابران‌پیاده در تقاطع‌ها مؤثر است. مورپی، لوینسون و اون[4] (۲۰۱۷: ۳) ایمنی عابران پیاده در تقاطع‌های شهری را با استفاده از تابع لگاریتمی خطی ارزیابی کردند. مدل پیشنهادی آنها شامل حجم عابران‌پیاده، وسایل نقلیه و یک ثابت بود که پارامتر فعالیت عابران پیاده را ارزیابی می‌کرد. درنهایت ارائه مدل پیشنهادی جهت شناسایی تقاطع‌هایی با بیشترین پتانسیل بهبود ازجمله نتایج این پژوهش بود. زیاری، امینی، سعادت‌جو، حسینی و گیلانی[5] (۲۰۱۷: ۹) در جهت اولویت‌بندی اصلاح و بهبود مقاطع حادثه‌خیز از ۶ روش متفاوت استفاده کردند. هدف از این مطالعه، ارائه مدل ارزیابی و اولویت‌بندی اصلاح مقاطع حادثه‌خیز براساس شاخص

1. c-means
2. Agarwal, Patil and Mehar
3. Kim
4 Murphy, Levinson and Owen, 2017
5. Ziyari, Amini, Saadatjoo, Hosseini & Gilani

www.SID.ir

Archive of SID

جامع ایمنی برای محور قزوین- آبیک- زنجان بود. بدین منظور، ابتدا روش‌های مختلف ارزش‌گذاری را مورد بررسی قرار دادند و درنهایت با به‌کارگیری روش ترکیبی سلسله مراتبی- فازی، الگویی مبتنی بر عوامل مؤثر بر عملکرد استراتژیکی ایمنی ترافیک ارائه کردند. سمنارشاد، الیاسی، صفارزاده و صفارزاده[1] (۲۰۱۸: ۲) پژوهشی در راستای تعیین آستانه ایمنی شاخص ناهمواری بین‌المللی به‌منظور تشخیص مقاطع حادثه‌خیز با استفاده از روش قطعه‌بندی شناور با طول ثابت بررسی کردند. نتایج نشان‌گر این موضوع بود که آستانه ایمنی مفروض شاخص ناهمواری بین‌المللی و روش قطعه‌بندی اصلاح‌شده منجر به تشخیص صحیح مقاطع با شاخص ناهمواری بین‌المللی با سطح پایین ایمنی شده است. الیاسی و همکاران به‌منظور ارزیابی برهم‌کنش پارامترهای انسانی، ترافیکی و جاده‌ای در وقوع تصادف از فرآیند تحلیل شبکه‌ای استفاده کردند. داده‌های تصادفات درون‌شهری استان همدان در یک دوره سه‌ساله به‌عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شد. به‌عنوان یک نتیجه اگرچه بیشتر محققان بر این باورند که انسآنها نقش حیاتی و مهمی در وقوع تصادف دارند، اما عوامل جاده‌ای دارای اولویت بالاتری هستند. عواملی هم‌چون انحنا و شیب نسبت به انسان دارای تأثیر بیشتری هستند و هم‌چنین دریافتند که از ویژگی‌های انسان مؤثرتر هستند. علاوه بر این، نتایج نشان داد که میزان انحنا در هر کیلومتر و شیب دارای ریسک بالاتری در وقوع تصادف هستند (الیاسی، صفارزاده، بروجردیان، سمنارشاد و مظاهری، ۲۰۱۷[2]: ۴). مونتلا (۲۰۱۰: ۸) نیز روش‌های شناسایی نقاط پرخطر را برای داده‌های ۵ ساله بزرگراه آ۱۶ ایتالیا با استفاده از روش‌های معیار فراوانی تصادف، نسبی تصادف، بیز تجربی بر مبنای کل تصادفات و روش بیز تجربی بر مبنای شدت تصادف و روش پتانسیل بهبود پرداخت. در انتها نتیجه گرفت روش بیز تجربی عملکرد بهتری داشته است.کانون و سودویک[3] (۲۰۱۱: ۶) با استفاده از جی‌آی‌اس به شناسایی و اولویت‌بندی تقاطع‌ها و قطعات

1. Semnarshad, Elyasi, Saffarzadeh & Saffarzadeh
2. Elyasi, Saffarzadeh, Boroujerdian, Semnarshad & Mazaheri
3. Cannon and Sudweeks

www.SID.ir

ive of SID

حادثه‌خیز ویرجینیا با توجه به اطلاعات سال ۲۰۰۵ الی ۲۰۰۷ براساس روش‌های بیشترین فراوانی تصادف منجر به فوت و جراحت شدید پرداختند. صادقی، آیتی و نقاب[1] (۲۰۱۳: ۵) نیز به رتبه‌بندی مقاطع حادثه‌خیز خراسان رضوی با استفاده از مفهوم کارایی مقاطع راه پرداختند. با توجه به مرور ادبیات می‌توان دریافت که مطالعات پیشین دارای خلأهایی بوده که در مقدمه به آنها اشاره شده است. بنابراین، جهت رفع این موارد و نیل به اهداف مطالعه جاری در بخش بعدی به ارائه روش پژوهش پرداخته شده است.

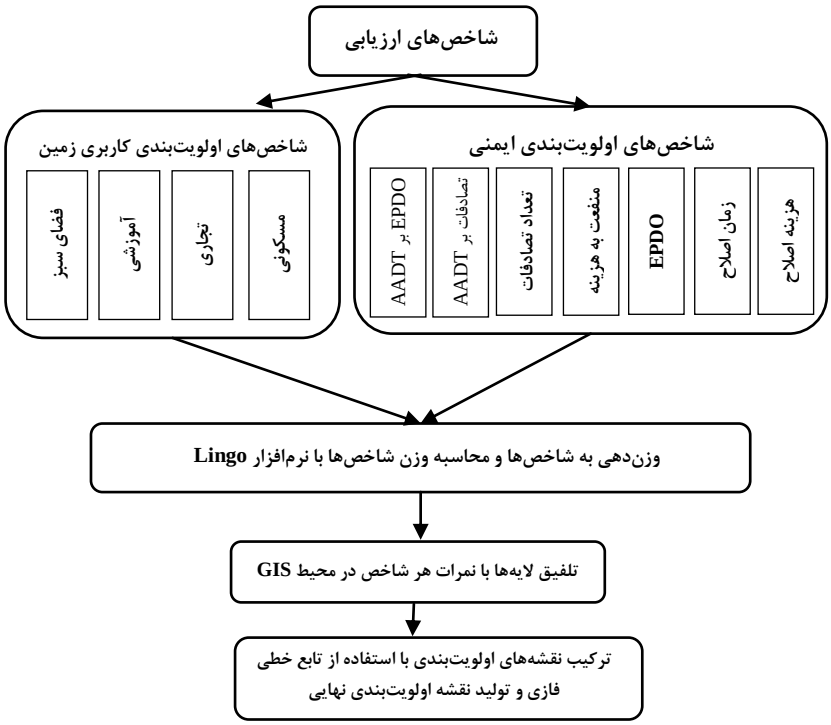
روش تحقیق

در این بخش روش پژوهش مورد استفاده جهت ارزش‌گذاری هر شاخص در اولویت‌بندی و اصلاح نقاط حادثه‌خیز معرفی خواهد شد. روش این پژوهش، ترکیبی از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و الگوریتم فازی در آرک جی‌آی‌اس است (ناندا و سینگ، ۲۰۱۸؛ کولیناس، مارهویلاس، دمسوکا، واواتسیکس و کولوریوتیس، ۲۰۱۹؛ زیاری، امینی، سعادت‌جو، حسینی و گیلانی،[2] ۲۰۱۷). این روش دارای ۶ مرحله است که در شکل ۱ نشان داده شده است. در این روش، ابتدا شاخص‌هایی جهت اولویت‌بندی اصلاح تقاطع‌های حادثه‌خیز تعیین و با استفاده از نظرات کارشناسی، هر یک از این شاخص‌ها وزن‌دهی می‌شوند و سپس با استفاده از روش اولویت‌بندی فازی در نرم‌افزار لینگو[3] وزن شاخص‌ها و اهداف تخمین زده خواهند شد. برای اولویت‌بندی اصلاح تقاطع‌ها براساس شاخص‌های موردنظر، نقشه‌هایی متناسب با هر شاخص در نرم‌افزار آرک مپ[4] ایجاد می‌شود و براساس وزن‌های حاصله، نقشه‌های اولویت‌بندی متناسب با هر گروه از شاخص‌ها تولید می‌شود. درنهایت نقشه‌های اولویت‌بندی نهایی نیز براساس وزن‌های کارشناسی ترکیب‌شده و نقشه اولویت‌بندی نهایی ارائه خواهند شد.

1. Sadeghi, Ayati & Neghab
2. Nanda and Singh, 2018; Koulinas, Marhavilas, Demesouka, Vavatsikos & Koulouriotis, 2019; Ziyari, Amini, Saadatjoo, Hosseini & Gilani, 2017
3. Lingo
4. ARC MAP

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- مراحل اولویت‌بندی به روش سلسله مراتبی فازی در آرک جی‌آی‌اس

با توجه به این‌که ایمنی عابران‌پیاده در تقاطع‌های درون‌شهری مستلزم شناسایی عوامل مؤثر در تصادفات عابران پیاده است؛ در این پژوهش، ابتدا به تعیین شاخص‌های ارزیابی و اولویت‌بندی تقاطع‌های حادثه‌خیز پرداخته می‌شود. برای تعیین شاخص‌های اولویت‌بندی سه اصل پیشینه پژوهش، نظرسنجی از خبرگان و محدودیت‌های پیش‌روی مورد توجه قرار گرفته است.

با نگاهی کلی بر پژوهش‌های پیشین می‌توان دریافت که بعضی منحصراً اثر یکی از عوامل و بعضی دیگر ترکیبی از عوامل مؤثر بر تصادفات عابران پیاده را در نظر گرفتند. شاخص‌های ارزیابی و اولویت‌بندی تقاطع‌های حادثه‌خیز در مطالعات پیشین عموماً در پنج دسته کلی تقسیم‌بندی شدند که در جدول (۱) بیان شده است.

www.SID.ir

ive of SID

با توجه به جدول (۱) می‌توان دریافت که مشخصات ترافیکی و مشخصات مربوط به تصادفات به‌دلیل استفاده مکرر و زیاد، از اهمیت بالایی در اولویت‌بندی برخوردار هستند؛ در این پژوهش، شاخص‌های ارزیابی ایمنی و ارزیابی کاربری زمین انتخاب شدند. برای تقسیم شاخص‌ها به دو گروه، از سه معیار شامل استفاده از حداکثر تعداد شاخص‌های با اهمیت (موجود در شکل ۱)، کاهش معیارهای مقایسه‌ای مشابه و افزایش دقت در پاسخ‌گویی به‌دلیل کاهش تعداد مقایسه‌ها و بی‌دقتی پاسخ‌دهنده استفاده می‌شود. هم‌چنین از پرسش‌نامه مقایسه‌های زوجی و کنار هم قراردادن معیارهای مشابه به‌منظور راحتی در مقایسه‌های زوجی استفاده می‌شود که در ادامه به تشریح شاخص‌ها پرداخته شده است.

جدول شماره ۱- شاخص‌های ارزیابی و اولویت‌بندی تقاطع‌های حادثه‌خیز براساس مطالعات پیشین

شاخص	زیرشاخص	پژوهش‌های پیشین
مشخصات هندسی تقاطع	زاویه‌ی رویکردهای تقاطع، نوع تقاطع، تعداد خطوط در هر جهت، وجود قوس قائم و افقی، وجود میانه، عرض پیاده‌رو و شیب طولی	تارکو و ازم، ۲۰۱۱: ۱۱؛ پوررروح‌الامین و ژو، ۲۰۱۶: ۱۳؛ چن و فن، ۲۰۱۹: ۹[1]
امکانات تقاطع	وجود خط‌کشی عابر، وجود سرعت‌گیرها قبل از خط‌کشی عابر، نور تقاطع در شب، وجود پل یا زیرگذر، اعمال محدودیت به عابران جهت جلوگیری از ورود به سواره‌رو، دسترسی به پیاده‌روها در محل‌های انتهای خط‌کشی، وضعیت روسازی در تقاطع، توپوگرافی منطقه، نحوه کنترل تقاطع (چراغ‌دار، با پلیس) و وسایل و تجهیزات کنترل ترافیک	پوررروح‌الامین و ژو، ۲۰۱۶: ۱۳؛ لیو، هاینن، نیه و نامبیسان، ۲۰۱۹: ۸؛ بهنود و منرینگ،[2] ۲۰۱۶: ۷

1 Tarko and Azam, 2011; Pour-Rouholamin and Zhou, 2016; Chen and Fan, 2019

2. Pour-Rouholamin and Zhou, 2016; Liu, Hainen, Nie and Nambisan, 2019; Behnood and Mannering, 2016

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص	زیرشاخص	پژوهش‌های پیشین
مشخصات تصادف	محل تصادف نظیر سابقه‌ی تعداد تصادفات اتفاق افتاده در آن محل، شدت تصادفات و زمان آنها، روز وقوع تصادف، علت تصادف، نوع وسیله برخوردکننده با عابر پیاده، شرایط آب و هوایی منطقه و مشخصات عابران و رانندگان درگیر در تصادف	فنسلو، کارتا و فادا، ۲۰۱۵: ۵؛ آگروال، پتیل و مهار، ۲۰۱۳: ۹؛ بندیوپادهایا و میترا، ۲۰۱۳: ۱۱؛ واشنگتن، هاکیو، اوه و لی، ۲۰۱۳: ۷؛ میائو و سونگ، ۲۰۰۵: ۱۰؛ آبی، ۲۰۱۳: ۸؛ محمد، سانیر، میرندا و اکوسوری، [1]۲۰۱۳: ۱۲
مشخصات ترافیکی	کاربری زمین، حجم تردد عابران، حجم ترافیک عبوری و متوسط ترافیک روزانه در سال، سرعت متوسط عبوری خودروها، سرعت متوسط عبوری عابران پیاده، وجود یا عدم وجود ایستگاه‌های مترو، اتوبوس و تاکسی، وجود یا عدم وجود تابلوهای راهنمایی و رانندگی در محل تقاطع و گذرگاه‌های عابر پیاده، مکآنهای تولید و جذب سفر، حجم موتورسیکلت عبوری، تعداد فازها و نحوه‌ی زمان‌بندی چراغ و وجود یا عدم وجود تقاطع‌های دیگر در نزدیکی تقاطع	کویگیزیله، ساندو و چیمبا، ۲۰۱۱: ۱۱؛ عزیز، اکوسوری و حسن، [2]۲۰۱۳: ۱۲

شاخص‌های مربوط به ایمنی: شاخص‌های متعددی برای شناسایی، وزن‌دهی و اولویت‌بندی نقاط حادثه‌خیز وجود دارد که کاربرد هر یک به‌تنهایی می‌تواند نتایج گمراه‌کننده‌ای را به‌همراه داشته باشد. از بین مواردی‌که در قسمت قبل اشاره شد، ۷

1. Fancello, Carta and Fadda, 2015, Agarwal, Patil and Mehar, 2013; Bandyopadhyaya and Mitra, 2013; Washington, Haque, Oh and Lee, 2013; Miaou and Song,2005; Abay, 2013; Mohamed, Saunier, Miranda-Moreno and Ukkusuri, 2013
2. Kwigizile, Sando and Chimba, 2011; Aziz, Ukkusuri and Hasan, 2013

www.SID.ir

ive of SID

شاخص شامل تعداد تصادفات، EPDO، $\frac{\text{تعداد تصادفات}}{\text{AADT}}$، $\frac{\text{EPDO}}{\text{AADT}}$، $\frac{\text{منفعت}}{\text{هزینه}}$، هزینه اصلاح تقاطع و زمان اصلاح تقاطع مربوط به ایمنی است که در ادامه به تشریح هر یک پرداخته شده است:

۱- تعداد تصادفات: ساده‌ترین روش برای شناسایی نقاط تصادف‌خیز، بررسی فراوانی تصادفات است. در این روش، نقاط و مقاطعی از معابر که دارای بیشترین تعداد تصادف باشد به‌عنوان نقاط تصادف‌خیز شناخته می‌شوند و مکآنها براساس تعداد کل تصادفات رتبه‌بندی می‌شوند. ازجمله معایب این روش، عدم حساسیت نسبت به حجم تردد است و برای مناطقی مناسب خواهد بود که در کل شبکه حجم ترافیک از یک هم‌گونی قابل قبولی برخوردار باشد (انجمن تحقیقات ملی، ۲۰۱۰[1]). با توجه به این‌که در بعضی از پژوهش‌های پیشین معمولاً یک حوزه تأثیر معمولاً ۱۰۰ فوتی برای تقاطع در نظر گرفته می‌شود؛ در این پژوهش نیز یک حوزه تأثیر ۵۰ متری برای هر تقاطع در نظر گرفته شد و تعداد کل تصادفات فوتی و جرحی عابرپیاده در خود تقاطع و حوزه تأثیر ۵۰ متری آن در هر خیابان ورودی یا خروجی از تقاطع به‌عنوان تصادفات عابران پیاده تقاطع منظور شد.

۲- $\frac{\text{تعداد تصادفات}}{\text{AADT}}$: در این روش، با در نظر گرفتن حجم تردد به‌جای تعداد تصادف، از نرخ تصادفات استفاده می‌شود. در این روش، تعداد تصادفات و موقعیت مکانی آنها برداشت شده و سپس نرخ‌های موردنظر محاسبه می‌شود. با توجه به این‌که نقاط موردنظر در این پژوهش تقاطع‌ها هستند، لذا حجم ترافیک، مجموع وسایل نقلیه ورودی به تقاطع در دوره زمانی تحلیل در نظر گرفته شده است. مزیت اصلی این روش این است که در آن محل‌هایی که تعداد تصادفات آنها تناسبی با حجم تردد ندارد نیز می‌تواند بدون انحراف به سمت قطعات پرتردد، شناسایی شوند.

1. National Research Council, 2010

www.SID.ir

Archive of SID

۳- شاخص هم‌سنگ خسارت مالی (EPDO): در این روش، شدت تصادفات برحسب سرعت برخورد و پیامدهای ناشی از آن طبقه‌بندی می‌شود. در این روش، عواقب ناشی از تصادف از طریق وزن‌دهی بر مبنای شدت تصادف محاسبه می‌شود. عموماً برای تأثیردادن شدت تصادف، به صدمات جدی و مرگ‌ومیر، ضریب بالاتری داده می‌شود. اگر اطلاعات کافی از هزینه انواع مختلف تصادف (فوتی، جرحی، خسارتی) در اختیار باشد می‌توان آنها را با توجه به هزینه، وزن‌دهی کرد؛ البته این نوع وزن‌دهی براساس صرف هزینه، گاهی ضرایب بسیار بالایی را برای تصادفات فوتی ارائه می‌دهد که با در نظر گرفتن این ضریب، عملاً این معیار به معیاری برای در نظر گرفتن تصادفات فوتی منجر می‌شود. در این پژوهش، برای محاسبه شاخص هم‌سنگ خسارت مالی از ضرایب پیشنهادی معاونت و سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران استفاده شده است، لذا با توجه به هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم تصادفات درون‌شهری در کشور، برای تبدیل تصادفات منجر به جرح و فوت به معادل فقط خسارتی، برای تصادفات منجر به فوت، ضریب ۸۴ و برای تصادفات منجر به جرح، ضریب ۳ پیشنهاد می‌شود. لذا فرمول نهایی برای تبدیل شدت تصادفات به تصادفات فقط خسارتی به‌صورت رابطه ۱ برای راه‌های درون‌شهری کشور پیشنهاد می‌شود:

$$E_i = ۸۴ \times N_f + ۳ \times N_i + N_p \qquad (۱)$$

که N_f بیان‌گر تعداد تصادف فوتی، N_i تعداد تصادفات جرحی و N_p تعداد تصادفات خسارتی است.

۴- $\frac{EPDO}{AADT}$: شناسایی نقاط حادثه‌خیز براساس شاخص هم‌سنگ خسارت مالی ممکن است به‌دلیل عدم در نظرگیری ترافیک در شبکه، منجر به نتایج گمراه‌کننده‌ای شود. ازجمله مزیت‌های اصلی این روش، امکان شناسایی محل‌هایی که تعداد تصادفات آنها تناسبی با حجم تردد ندارد و اطمینان از نا اریبی نتیجه به سمت قطعات پرتردد است.

www.SID.ir

ive of SID

۵- تحلیل منفعت به هزینه: تحلیل منفعت به هزینه، ابزاری اساسی برای ارزیابی طرح‌ها و پروژه‌ها است. این ابزار با استفاده از برخی شاخص‌ها، پژوهش‌گر را برای بررسی امکان اجرای آن پروژه از دیدگاه اقتصادی یاری می‌دهد. شایان ذکر است که تحلیل منفعت به هزینه نمی‌تواند تنها مبنای تصمیم‌گیری باشد، اما می‌توان از آن به‌عنوان ابزاری ارزشمند در سیاست‌گذاری‌ها استفاده کرد. در این مطالعه، مجموع هزینه ناشی از تصادفات فوتی و جرحی به‌عنوان منفعت اصلاح تقاطع‌های حادثه‌خیز و هزینه اصلاح هر تقاطع به‌عنوان هزینه تحلیل منظور شد. در این پژوهش، هزینه‌های ناشی از تصادفات فوتی، جرحی در سال ۹۶ براساس مطالعات حمل‌ونقل وزارت راه و ترابری در سال ۱۳۸۸ مطابق جدول ۲ و با در نظر گرفتن شاخص تورم از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۶ محاسبه شد.

جدول شماره ۲- هزینه‌های تصادفات فوتی، جرحی طبق محاسبات انجام‌شده در سال ۱۳۸۸ (میلیون ریال) (رحیم اف و وطن‌دوست، ۱۳۹۱)

هزینه واحد تصادف فوتی	هزینه واحد تصادف جرحی	هزینه واحد تصادف خسارتی
۵۰۰۰۰	۵۰	۲۰

هزینه واحد تصادف فوتی:

۵۰۰۰۰ * ۱/۰۹۶ * ۱/۰۹ * ۱/۳۰۵ * ۱/۳۴۷ * ۱/۱۵۶ * ۱/۱۱۹ * ۱/۱۲۴ * ۱/۲۱۵ * ۱/۱۰۸ = ۲۵۰۵۲۱

هزینه واحد تصادف جرحی:

۵۰ * ۱/۰۹۶ * ۱/۰۹ * ۱/۳۰۵ * ۱/۳۴۷ * ۱/۱۵۶ * ۱/۱۱۹ * ۱/۱۲۴ * ۱/۲۱۵ * ۱/۱۰۸ = ۲۰۶

هزینه واحد تصادف خسارتی:

۲۰ * ۱/۰۹۶ * ۱/۰۹ * ۱/۳۰۵ * ۱/۳۴۷ * ۱/۱۵۶ * ۱/۱۱۹ * ۱/۱۲۴ * ۱/۲۱۵ * ۱/۱۰۸ = ۸۲/۲۰۸

www.SID.ir

Archive of SID

۶- هزینه و زمان اصلاح: اقدامات اصلاحی هر تقاطع شامل اصلاح امکانات موجود تقاطع و افزودن امکاناتی که در پژوهش‌های پیشین مورد توجه بوده و حذف یا اضافه‌کردن مواردی در راستای افزایش ایمنی عابران‌پیاده است. اقدامات اصلاحی تقاطع‌ها که در پژوهش‌های پیشین بیشتر مورد توجه بوده و از راه‌کارهای نسبتاً کم‌هزینه و سریع در جهت افزایش ایمنی عابران پیاده است، شامل وجود یا عدم وجود سرعت‌گیرها قبل از خط‌کشی، خط‌کشی عابرپیاده، نور تقاطع در شب، اعمال محدودیت جهت ممنوعیت ورود عابران به سواره‌رو، دسترسی به پیاده‌روها در محل‌های انتهای خط‌کشی، وضعیت روسازی در تقاطع، وضعیت پیاده‌روها و روسازی آنها، سیستم زه‌کشی در تقاطع، نحوه کنترل تقاطع (چراغ‌دار، پلیس)، چراغ‌های داخل روسازی، چراغ‌های ویژه عابران، چشمان جان‌دار، چراغ شمارش معکوس است. در این پژوهش، پس از تحلیل داده‌های دریافتی از پلیس راهنمایی و رانندگی و تشخیص نوع تصادفات، زمان وقوع آنها، شرایط جوی منطقه، نوع خودروی برخوردی، روز هفته، ماه سال و علت تامه تصادفات در خود تقاطع و حوزه تأثیر ۵۰ متری آن و هم‌چنین بازدیدهای میدانی از تقاطع‌ها، اقدامات اصلاحی در ۲۵ تقاطع محاسبه شد و درنهایت براساس فهرست بها، هزینه اقدامات اصلاحی هر تقاطع تخمین زده شد. در این پژوهش، ایجاد گذرگاه غیرهم‌سطح مخصوص عابران‌پیاده به‌دلیل هزینه و زمان زیاد به‌منظور افزایش ایمنی عابران‌پیاده و هم‌چنین اقدامات اصلاحی که نیازمند تصویب قوانینی جدید یا مستلزم واردکردن فنّاوری جدید باشد در نظر گرفته نشده است.

شاخص‌های ارزیابی کاربری زمین: کاربری اراضی شهری امروزه در نظام‌های پیشرفته برنامه‌ریزی جهان، در راستای استفاده بهینه از زمین، به‌صورت آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی فضائی و طرح‌ریزی کالبد ملی، منطقه‌ای و محلی تبدیل شده است. انواع کاربری زمین از دیدگاه نظریه‌پردازان برنامه‌ریزی شهری به ۹ دسته شامل: مسکونی، صنعت، حمل‌ونقل، تأسیسات، تجاری، مسکونی، فرهنگی و گذران اوقات فراغت، منابع تولیدی و استخراج و اراضی بایر و مناطق آبی تقسیم‌بندی می‌شود. در این پژوهش، کاربری‌های زمین به چهار دسته تجاری، اداری، مسکونی، آموزشی و فضای سبز تقسیم‌بندی می‌شوند.

www.SID.ir

ive of SID

۱- روش تحلیل سلسله مراتبی فازی: دو پژوهش‌گر هلندی به نام فان لارهوفن و پدریک در سال ۱۹۸۳ برای نخستین بار روشی را برای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی پیشنهاد کردند. این روش با جایگزینی اعداد فازی مثلثی در ماتریس مقایسه‌های زوجی و بر مبنای حداقل مجذورات لگاریتمی بنا نهاده شده است. پیچیدگی مراحل این روش باعث شد این روش چندان مورد استفاده قرار نگیرد. پس از آن روش‌هایی مانند روش میانگین هندسی بوکلی، روش بسط توسعه‌یافته چانگ و اولویت‌بندی فازی پیشنهاد شد. با توجه به این‌که تأکید بوکلی بر اعداد فازی ذوزنقه‌ای دشواری‌های استفاده از این روش را بیشتر کرده بود، لذا ترجیح داده شد که از روش چانگ یا اولویت‌بندی فازی استفاده شود. روش بسط‌یافته چانگ نیز علاوه بر پیچیدگی و محاسبات طولانی دارای ایراداتی است و به نظر می‌رسد این روش فقط در شرایطی خاص به نتایج صحیح ختم می‌شود؛ منفی یا حتی صفر شدن وزن برخی معیارها و در برخی از موارد، برآورد غیرواقعی اوزان برخی معیارها از ایرادات اساسی این روش است (حبیبی، ایزدیار و سرافرازی، ۱۳۹۳: ۱۵۹). بنابراین با توجه به مشخص‌شدن شاخص‌ها و معیارهای اولویت‌بندی، جهت تحلیل زوجی بین شاخص‌ها پرسش‌نامه‌ای با طیف‌های ۹ درجه‌ای فازی طراحی شد (جدول ۳). پس از تکمیل پرسش‌نامه‌های موردنظر توسط خبرگان حمل‌ونقل و ایمنی، پاسخ‌ها با استفاده از میانگین‌گیری هندسی تبدیل به یک پاسخ واحد می‌شود. درنهایت با توجه به نارسایی‌های موجود در روش چانگ، در این پژوهش از روش اولویت‌بندی فازی استفاده می‌شود و با استفاده از نرم‌افزار لینگو وزن هر یک از شاخص‌ها محاسبه می‌شود (حبیبی، ایزدیار و سرافرازی، ۱۳۹۳: ۱۵۹).

جدول شماره ۳- طیف فازی معادل مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی در تکنیک سلسله مراتبی

(حبیبی، ایزدیار و سرافرازی، ۱۳۹۳: ۱۶۰)

وضعیت مقایسه i نسبت به j	معادل فازی	معادل فازی معکوس
ترجیح یکسان	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)

www.SID.ir

Archive of SID

وضعیت مقایسه i نسبت به j	معادل فازی	معادل فازی معکوس
بینابین	(۱، ۲، ۳)	(۰/۳۳۳، ۰/۵، ۱)
کمی مرجح	(۲، ۳، ۴)	(۰/۲۵، ۰/۳۳۳، ۰/۵)
بینابین	(۳، ۴، ۵)	(۰/۲، ۰/۲۵، ۰/۳۳۳)
خیلی مرجح	(۴، ۵، ۶)	(۰/۱۶۶، ۰/۲، ۰/۲۵)
بینابین	(۵، ۶، ۷)	(۰/۱۴۲، ۰/۱۶، ۰/۲)
خیلی زیاد مرجح	(۶، ۷، ۸)	(۰/۱۲۵، ۰/۱۴۲، ۰/۱۶۶)
بینابین	(۷، ۸، ۹)	(۰/۱۱۱، ۰/۱۲۵، ۰/۱۴۲)
کاملاً مرجح	(۹، ۹، ۹)	(۰/۱۱۱، ۰/۱۱۱، ۰/۱۱۱)

از مهم‌ترین ویژگی‌های روش اولویت‌بندی فازی، محاسبه نرخ سازگاری در حالت فازی است. اوزان در این روش از حل یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی حاصل می‌شود. روش اولویت‌بندی فازی میخایلو نیز از اعتبار و اهمیت بالایی برخوردار است. در این روش فرض می‌شود مقایسه‌های زوجی فازی به‌صورت اعداد فازی مثلثی $F1 = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$است. بردار قطعی وزن (اولویت) $w=(w_1,w_2,\ldots,w_n)$ به‌گونه‌ای استخراج می‌شود که نرخ اولویت تقریباً در محدوده قضاوت‌های فازی ابتدایی قرار گیرد. به‌عبارت‌دیگر وزن‌ها طوری تعیین می‌شود که رابطه ۲ برقرار باشد (امینی و گلی، ۱۳۹۴: ۴):

$$l_{ij} \le \frac{w_i}{w_j} \le u_{ij} \qquad (۲)$$

که در آن:

m_{ij}: کران میانی عنصر ij

u_{ij}: کران بالای عنصر ij W_i: وزن شاخص i

l_{ij}: کران پایین عنصر ij W_j: وزن شاخص j

هر بردار وزنی قطعی (w) با درجه‌ای در نامعادلات فازی فوق صدق می‌کند که از طریق تابع عضویت خطی مطابق رابطه ۳ (برحسب نرخ مجهول) محاسبه می‌شود (امینی و گلی، ۱۳۹۴: ۴).

www.SID.ir

ive of SID

$$u_{ij}\left(\frac{w_i}{w_j}\right)=\begin{cases}\dfrac{\left(\frac{w_i}{w_j}\right)-l_{ij}}{m_{ij}-l_{ij}} & \dfrac{w_i}{w_j}\le m_{ij}\\ \dfrac{u_{ij}-\left(^{w_i}/_{w_j}\right)}{u_{ij}-m_{ij}} & \dfrac{w_i}{w_j}\le m_{ij}\end{cases} \qquad (۳)$$

با در نظر گرفتن شکل خاص توابع عضویت، مسئله اولویت‌بندی فازی به یک مسئله بهینه‌سازی غیرخطی به‌صورت رابطه ۴ تبدیل می‌شود (امینی و گلی، ۱۳۹۴: ۴). در صورتی‌که مقدار بهینه شاخص سازگاری مثبت باشد، آن‌گاه می‌توان دریافت که تمامی نسبت‌های راه‌حل به‌طور کامل قضاوت‌های اولیه را برآورده می‌کنند (رابطه ۲). اگر شاخص سازگاری دارای مقدار منفی باشد، آن‌گاه قضاوت‌های فازی به‌شدت متناقض هستند و نسبت‌های راه‌حل تقریبا برآورده می‌شود. براساس محدودیت آخر، مجموع وزن عناصر بایستی برابر با یک باشد که این رابطه نشان‌گر نرمال بودن وزن‌ها است. سایر متغیرها نیز مطابق قبل تعریف می‌شوند.

$$\begin{aligned}&\max \lambda \quad (\lambda: \text{شاخص سازگاری})\\ &\text{Subject to } i=1،2،\dots،n-1 \;\&\; j=2،3،\dots،n \;\; j>i\\ &(m_{ij}-l_{ij})\lambda w_j-w_i+l_{ij}w_j\le 0\;,\\ &(u_{ij}-m_{ij})\lambda w_j+w_i-u_{ij}w_j\le 0\\ &\sum_{k=1}^{n}w_k=1\;،\;\; w_k>0،k=1،2،3\dots،n\end{aligned} \qquad (۴)$$

نحوه تعیین مدل اولویت‌بندی به این صورت است که پس از تعیین وزن هر هدف، شاخص‌های مؤثر بر آن هدف مورد سنجش قرار گرفته و به کمک تحلیل سلسله مراتبی، وزن و اهمیت هر شاخص برای هدف مربوطه تعیین می‌شود. درنهایت پس از تعیین وزن هر شاخص، زیرشاخص‌هایی برای هر شاخص تعریف شده و بین زیرشاخص‌های موجود نیز تحلیل سلسله مراتبی انجام و وزن هر زیرشاخص نیز تعیین می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، در این مطالعه از تحلیل سلسله مراتبی جهت تعیین وزن و اهمیت هدف در الگو، شاخص مربوط به هر هدف و زیرشاخه مرتبط با هر شاخه استفاده شده است. بدین‌صورت مدل نهایی از قابلیت تعیین جایگاه و سیستم ارزیابی و

www.SID.ir

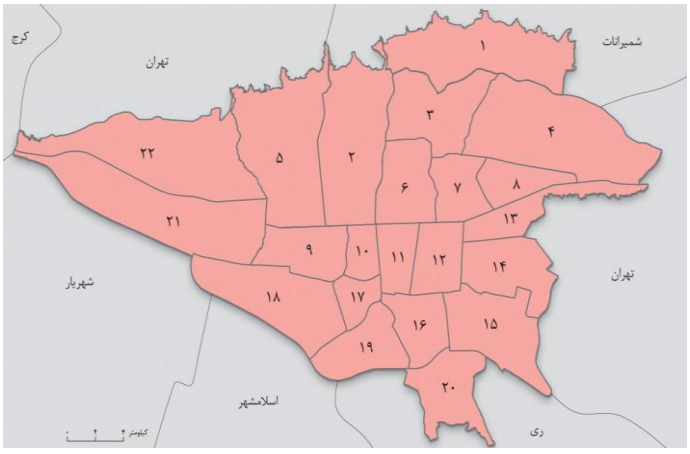
Archive of SID

اولویت‌بندی مقاطع حادثه‌خیز هر کشور جهت تخصیص بودجه و برنامه‌ریزی برخوردار است. مدل ارزیابی نهایی به‌صورت رابطه ۵ است.

$$BSIP = \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} W_j \ (F(x) * W_i) \qquad (۵)$$

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد بررسی در این پژوهش، منطقه ۱۱ تهران از بخش‌های مرکزی این کلان‌شهر است. این منطقه از شمال به خیابان انقلاب و آزادی، از شرق به خیابان‌های وحدت اسلامی و حافظ، از جنوب، به میدان راه‌آهن و خیابان شوش و از غرب به بزرگراه شهید نواب صفوی محدود می‌شود که از ویژگی‌های خاص آن وجود مراکز مهم سیاسی و نظامی متعدد در این منطقه است که در شکل ۲ محدوده این منطقه نشان داده شده است.

در این پژوهش براساس اطلاعات دریافتی از پلیس راهنمایی و رانندگی، تعداد ۲۵ تقاطع مهم انتخاب شد که درمجموع تعداد تصادف در این ۲۵ تقاطع و حوزه تأثیر ۵۰ متری آنها بیش از ۲۵درصد کل تصادفات است و بیش از ۴۰درصد از کل مرگ‌ومیرهای ناشی از تصادفات را عابران پیاده تشکیل می‌دهد که اصلاح آنها باعث ارتقای ایمنی این منطقه خواهد شد (شهرداری تهران، ۱۳۹۷). در جدول ۴ نام تقاطع‌های بررسی‌شده، اقدامات اصلاحی، هزینه اصلاح فنی و مدت‌زمان تخمینی اصلاح برآورد شده است.



شکل شماره ۲- موقعیت منطقه ۱۱ در شهر تهران (شهرداری تهران، ۱۳۹۷)

www.SID.ir

ive of SID

جدول شماره ۴- اقدامات پیش‌بینی‌شده جهت اصلاح و هزینه و زمان تقریبی اصلاح هر تقاطع

شماره تقاطع	نام تقاطع	اقدامات پیش‌بینی‌شده جهت اصلاح	هزینه اصلاح فنی (میلیون تومان)	زمان اصلاح (ماه)
۲۳	آزادی- نواب‌صفوی	اصلاح نرده‌کشی، اصلاح روسازی و کف‌سازی پیاده‌رو، جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی، اضافه کردن سرعت‌گیر، رنگ‌آمیزی خط‌کشی‌ها، نصب تابلوی توقف ممنوع، افزایش روشنی تقاطع	۶۲۰	۵
۱۷	وحدت‌اسلامی - انقلاب	افزایش روشنی تقاطع، اصلاح روسازی و اصلاح کف‌سازی پیاده‌رو، اصلاح نرده‌کشی‌ها، نصب تابلوی توقف ممنوع، رنگ‌آمیزی خط‌کشی‌ها، نصب چراغ‌ها و تابلوهای عبور عابران	۴۷۰	۳
۱۹	کارگر- جمهوری	اصلاح نرده‌کشی‌ها، رنگ‌آمیزی خط‌کشی‌ها، اصلاح چراغ‌ها و تابلوهای عبور عابران، افزایش روشنی تقاطع، اصلاح روسازی	۴۳۰	۲
۳	ولی‌عصر- فروزش	اصلاح روسازی، اصلاح چراغ عبور عابران، رنگ‌آمیزی خط‌کشی‌ها، افزایش روشنی تقاطع، نرده‌کشی	۴۲۰	۳
۱۶	وحدت‌اسلامی - جمهوری	افزایش روشنی تقاطع، اصلاح روسازی و اصلاح کف سازی پیاده‌رو، اصلاح تابلوهای عبور عابران، نصب چراغ‌های عبور عابران، نصب تابلوی توقف ممنوع	۴۰۰	۳
۲۱	کارگر-کمالی	نرده‌کشی‌ها، رنگ‌آمیزی خط‌کشی‌ها، اصلاح چراغ‌ها و تابلوهای عبور عابران، افزایش روشنی تقاطع، نصب تابلوی توقف ممنوع	۳۷۰	۳
۲۲	کارگر- بهداری	نرده‌کشی، افزایش روشنی تقاطع، اصلاح روسازی و اصلاح کف سازی پیاده‌رو، اصلاح نرده‌کشی‌ها، نصب دوربین	۳۶۵	۴
۲۰	کارگر- آذربایجان	اصلاح نرده‌کشی‌ها، رنگ‌آمیزی خط‌کشی‌ها، اصلاح چراغ‌ها و تابلوهای عبور عابران، افزایش روشنی تقاطع	۳۶۰	۳

www.SID.ir

Archive of SID

شماره تقاطع	نام تقاطع	اقدامات پیش‌بینی‌شده جهت اصلاح	هزینه اصلاح فنی (میلیون تومان)	زمان اصلاح (ماه)
۱ ۲	وحدت‌اسلامی - فروزش	اصلاح نرده‌کشی‌ها، جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی، رنگ‌آمیزی خط‌کشی‌ها، نصب سرعت‌گیر، نصب تابلوها و چراغ‌های عبور عابران	۳۴۰	۴
۵	ولی‌عصر-امام خمینی	رنگ‌آمیزی خط‌کشی‌ها، افزایش روشنی تقاطع، جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی	۳۳۵	۴
۷	ولی‌عصر- جمهوری	اصلاح روسازی، جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی، اضافه کردن سرعت‌گیر، اصلاح چراغ‌های عبور عابران	۳۳۰	۳
۱ ۱	وحدت‌اسلامی - مولوی	نرده‌کشی، اضافه کردن سرعت‌گیر، اصلاح روسازی، افزایش روشنی تقاطع	۳۲۵	۳
۸	ولی‌عصر- لبافی‌نژاد	نرده‌کشی، اضافه کردن سرعت‌گیر، نمایان‌سازی چراغ عبور عابران، اصلاح روسازی	۲۴۰	۲
۱ ۳	وحدت‌اسلامی - بشیری	رنگ‌آمیزی خط‌کشی‌ها، اصلاح کف سازی پیاده‌رو، نصب تابلوها و چراغ‌های عبور عابران، نرده‌کشی، نصب دوربین	۲۱۰	۱
۲ ۴	امام‌خمینی- کمالی-	اصلاح نرده‌کشی‌ها، رنگ‌آمیزی خط‌کشی‌ها، اصلاح چراغ‌ها و تابلوهای عبور عابران، نصب تابلوی توقف ممنوع، نصب دوربین	۱۹۰	۱
۱ ۸	کارگر- لبافی‌نژاد	اصلاح نرده‌کشی‌ها، رنگ‌آمیزی خط‌کشی‌ها، اصلاح چراغ‌ها و تابلوهای عبور عابران	۱۸۰	۱
۶	ولی‌عصر- جامی	نرده‌کشی، نصب تابلوها و چراغ‌های عبور عابران، نصب دوربین	۱۷۵	۱
۱ ۵	وحدت‌اسلامی - جامی	اصلاح نرده‌کشی، اضافه کردن سرعت‌گیر، اصلاح روسازی	۱۴۵	۲
۴	ولی‌عصر- قزوین	اصلاح روسازی خیابان و اصلاح کف سازی پیاده‌رو، نصب تابلوهای عبور عابران، اضافه کردن سرعت‌گیر	۱۲۰	۲
۱ ۰	وحدت‌اسلامی - شوش	اضافه کردن سرعت‌گیر، اصلاح چراغ‌های عبور عابران، نصب تابلوهای پارک ممنوع	۱۲۰	۱

www.SID.ir

ive of SID

شماره تقاطع	نام تقاطع	اقدامات پیش‌بینی‌شده جهت اصلاح	هزینه اصلاح فنی (میلیون تومان)	زمان اصلاح (ماه)
۱ ۴	وحدت‌اسلامی - ابوسعید	اصلاح کف‌سازی پیاده‌رو و جزیره میانی، نرده‌کشی، نصب تابلوهای عبور عابران	۱۱۵	۱
۱	ولی‌عصر- مختاری	اضافه کردن سرعت‌گیر، رنگ‌آمیزی خط‌کشی‌ها، اضافه کردن تابلوهای عبور عابران، نصب تابلوهای محدودیت سرعت، نرده‌کشی	۱۰۰	۲
۲	ولی‌عصر- مولوی	اضافه کردن سرعت‌گیر، اصلاح روسازی، نمایان‌سازی چراغ عبور عابران، رنگ‌آمیزی خط‌کشی‌ها	۹۵	۱
۲ ۵	معیری- معتمدی	نرده‌کشی، اضافه کردن سرعت‌گیر، نمایان‌سازی چراغ عبور عابران، اصلاح روسازی	۹۰	۱/۵
۹	ولی‌عصر- انقلاب	اصلاح نرده‌کشی‌ها	۶۵	۱

یافته‌ها

همان‌طور که در بخش شاخص‌های ارزیابی ایمنی بیان شد این شاخص‌ها به شش دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که هر شاخص برای تقاطع‌های موردنظر محاسبه شده و در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به جدول ۵، از نظر هزینه اصلاح، کمترین هزینه مربوط به تقاطع ولی‌عصر- انقلاب و بیشترین هزینه متعلق به تقاطع آزادی- نواب‌صفوی است. از نظر زمان اصلاح نیز، تقاطع آزادی- نواب‌صفوی طولانی‌ترین و تقاطع وحدت‌اسلامی- بشیری سریع‌ترین زمان اصلاح را به‌خود اختصاص داده است. از منظر شاخص EPDO، تقاطع آزادی- نواب‌صفوی بیشترین خسارت هم‌سنگ و تقاطع وحدت اسلامی- جامی دارای کمترین خسارت هم‌سنگ است که نتایج رتبه‌بندی هزینه تصادفات نیز مؤید همین موضوع است. از منظر شاخص منفعت به هزینه، تقاطع کارگر- لبافی‌نژاد کمترین و تقاطع آزادی- نواب‌صفوی بیشترین منفعت به هزینه را دارا است. تقاطع کارگر-

www.SID.ir

Archive of SID

بهداری کمترین و ولی‌عصر- جامی بیشترین تعداد تصادفات بر AADT را دارا هستند. هم‌چنین در انتها، براساس شاخص EPDO/AADT، تقاطع وحدت اسلامی- فروزش کمترین و تقاطع ولی‌عصر- مولوی به‌ترتیب کمترین و بیشترین میزان را دارند. با توجه به نتایج می‌توان مشاهده کرد که هر شاخص، تقاطع مشخصی را جهت اولویت‌بندی معرفی می‌کند که بر همین اساس بایستی با استفاده از نظر متخصصان، اهمیت هر شاخص را مورد پرسش‌گری قرار داد که در بخش‌های بعدی این موضوع مطرح خواهد شد.

جدول شماره ۵- برآورد شاخص‌های در نظر گرفته‌شده برای هر مقطع

شماره تقاطع	هزینه اصلاح (میلیون ریال)	زمان اصلاح (ماه)	EPDO	هزینه تصادفات (میلیون ریال)	منفعت به هزینه	تعداد تصادفات / AADT (تصادف بر میلیون وسیله نقلیه)	EPDO / AADT (EPDO بر میلیون وسیله‌نقلیه)
۱	۱۰۰۰	۲	۲۷	۱۸۵۴	۱/۸۵	۰/۵	۱/۴۹
۲	۱۵۰۰	۱/۵	۲۹۷	۶۱۹۶۵۳	۴۱۳/۱	۰/۵۲	۸/۶۴
۳	۲۲۰۰	۳	۲۴	۱۶۴۸	۰/۷۵	۰/۴۸	۱/۴۳
۴	۱۲۰۰	۲	۱۰۲	۲۰۶۷۵۷	۱۷۲/۳	۰/۴۲	۶/۱۲
۵	۳۳۵۰	۴	۲۹۴	۶۱۹۴۴۷	۱۸۴/۹۱	۰/۳۸	۶/۵۱
۶	۱۷۵۰	۱	۲۴	۱۶۴۸	۰/۹۴	۰/۵۴	۱/۶۳
۷	۳۳۰۰	۳	۲۰۷	۴۱۳۷۲۰	۱۲۵/۳۷	۰/۳۲	۴/۴۷
۸	۲۴۰۰	۲	۱۰۵	۲۰۶۹۶۳	۸۶/۲۳	۰/۳۴	۴/۵۱
۹	۶۵۰	۱	۱۰۸	۲۰۷۱۶۹	۳۱۸/۷۲	۰/۱۷	۲/۰۵
۱۰	۱۲۰۰	۱	۱۱۴	۲۰۷۵۸۱	۱۷۲/۹۸	۰/۴۶	۴/۷۹
۱۱	۳۲۵۰	۳	۱۲۳	۲۰۸۱۹۹	۶۴/۰۶	۰/۳۳	۲/۸۹
۱۲	۳۴۰۰	۴	۲۱	۱۴۴۲	۰/۴۲	۰/۲۷	۰/۸
۱۳	۲۱۰۰	۱	۱۰۸	۲۰۷۱۶۹	۹۸/۴۵	۰/۵	۶/۰۱
۱۴	۱۱۵۰	۱	۲۴	۱۶۴۸	۱/۴۳	۰/۵۲	۱/۵۷
۱۵	۱۴۵۰	۲	۲۱	۱۴۴۲	۰/۹۹	۰/۵۳	۱/۵۸
۱۶	۴۰۰۰	۳	۲۰۴	۴۱۳۵۱۴	۱۰۳/۳۸	۰/۳۴	۴/۹۲

www.SID.ir

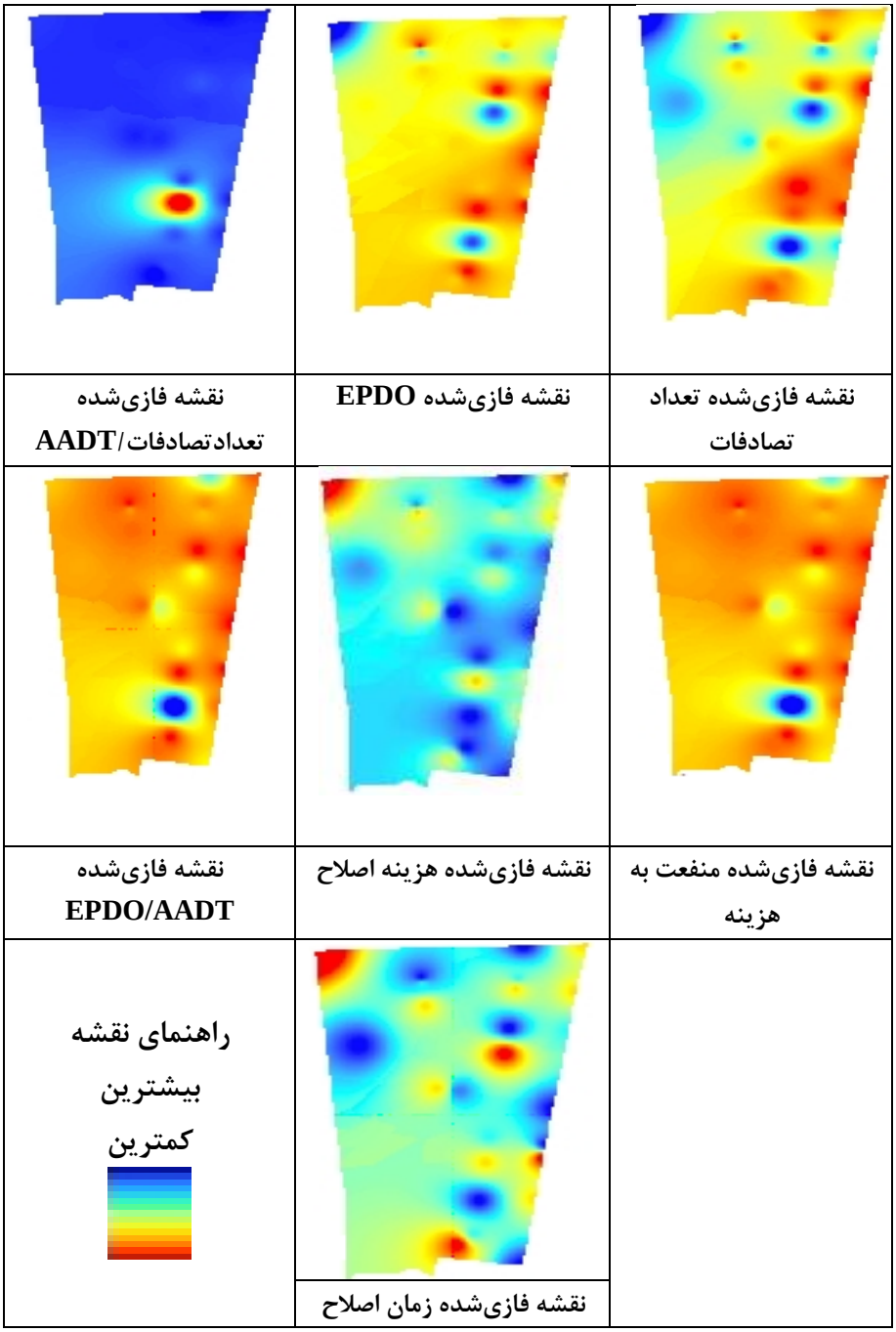
ive of SID

شماره تقاطع	هزینه اصلاح (میلیون ریال)	زمان اصلاح (ماه)	EPDO	هزینه تصادفات (میلیون ریال)	منفعت به هزینه	تعداد تصادفات / AADT (تصادف بر میلیون وسیله نقلیه)	EPDO بر میلیون وسیله‌نقلیه / EPDO AADT
۱۷	۴۴۰۰	۳	۱۱۱	۲۰۷۳۷۵	۴۷/۱۳	۰/۲۸	۳/۱۵
۱۸	۱۸۰۰	۱	۲۷	۱۸۵۴	۱/۰۳	۰/۳۳	۰/۹۹
۱۹	۴۲۰۰	۲	۲۱۶	۴۱۴۳۳۸	۹۸/۶۵	۰/۳۲	۴/۳۷
۲۰	۳۵۰۰	۳	۱۱۱	۲۰۷۳۷۵	۵۹/۲۵	۰/۳۸	۴/۲۳
۲۱	۳۶۰۰	۳	۱۲۳	۲۰۸۱۹۹	۵۷/۸۳	۰/۲۹	۲/۵۴
۲۲	۳۶۵۰	۴	۱۰۵	۲۰۶۹۶۳	۵۶/۷	۰/۱۳	۱/۷۷
۲۳	۶۲۰۰	۵	۳۸۱	۸۲۵۱۷۴	۱۳۳/۰۹	۰/۳۲	۶/۴۲
۲۴	۱۹۰۰	۱	۱۲۶	۲۰۸۴۰۵	۱۰۹/۶۹	۰/۳۶	۲/۹۹
۲۵	۹۰۰	۱/۵	۱۱۱	۲۰۷۳۷۵	۲۳۰/۴۲	۰/۴۱	۴/۵۲

در ادامه هرکدام از این شاخص‌ها به‌عنوان یک ویژگی برای تقاطع‌های نام‌برده معرفی شده و در محیط آرک‌مپ با استفاده از ابزار IDW نقشه‌های رستری متناسب با هر ویژگی در محدوده موردمطالعه تولید شد. پس از تولید نقشه‌های موردنظر با استفاده از تابع خطی فازی در نرم‌افزار آرک‌مپ نقشه‌های تولیدشده مجدداً طبقه‌بندی شدند. نقشه‌های نهایی طبقه‌بندی‌شده در شکل ۳ نشان داده شده است؛ که به‌عنوان‌مثال در شکل ۳، $\frac{AADT}{\text{تعداد تصادفات}}$ براساس شاخص، سهم عمده‌ای از تقاطع‌های خطرناک تشخیص داده شده است و سایر شاخص‌ها نیز نقاط دیگری را جهت شناسایی نقاط حادثه‌خیز تعیین کردند. هم‌چنین با استفاده از ابزار فاصله اقلیدسی، فاصله هر نقطه روی نقشه را تا کاربری‌های موردنظر محاسبه و توسط تابع خطی فازی نقشه‌ها مجدداً طبقه‌بندی شدند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل شماره ۳- نقشه‌های لایه‌بندی جهت اولویت‌بندی تقاطع حادثه‌خیز

www.SID.ir

ive of SID

وزن‌دهی به شاخص‌ها: در این مرحله پس از ایجاد سلسله مراتب، ارزیابی عناصر با مقایسه زوجی انجام می‌شود. با توجه به مشخص‌شدن شاخص‌ها و معیارهای اولویت‌بندی، جهت تحلیل زوجی بین شاخص‌ها اقدام به تهیه دو پرسش‌نامه مقایسه‌های زوجی با طیف‌های ۹ درجه‌ای فازی می‌شود. در پرسش‌نامه اول، هدف تخمین وزن شاخص‌های اولویت‌بندی ایمنی و در پرسش‌نامه دوم، هدف تخمین وزن شاخص‌های اولویت‌بندی براساس کاربری اراضی است. پس از تکمیل پرسش‌نامه‌های موردنظر توسط خبرگان حمل‌ونقل و ایمنی، پاسخ‌ها با استفاده از میانگین‌گیری هندسی تبدیل به یک پاسخ واحد می‌شود. درنهایت با استفاده از روش اولویت‌بندی فازی و نرم‌افزار لینگو وزن هریک از شاخص‌ها محاسبه شد که وزن‌های نهایی برای هر یک از شاخص‌ها در جدول ۶ ارائه شده است که از نظر خبرگان کاربری تجاری با وزن ۳۷ درصد (نسبت به معیارهای دیگر کاربری زمین) و میزان منفعت به هزینه با وزن ۱۷ درصد (نسبت به معیارهای دیگر ایمنی) دارای تاثیر بیشتری نسبت به دیگر شاخص‌ها هستند و کاربری فضای سبز با ۱۵درصد و زمان اصلاح با ۹درصد دارای کمترین وزن جهت اولویت‌بندی اصلاح تقاطع‌ها هستند.

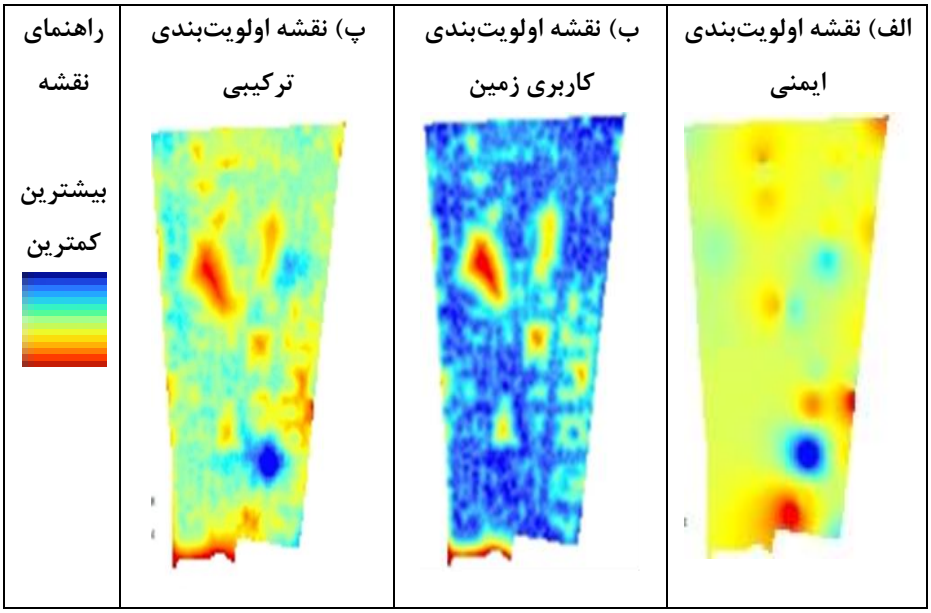
جدول ۶- وزن نهایی معیارهای کاربری زمین و ایمنی

شاخص‌ها	معیارها	وزن نهایی
معیارهای کاربری زمین	کاربری تجاری	۰/۳۷
	کاربری مسکونی	۰/۲۲
	کاربری آموزشی	۰/۲۶
	کاربری فضای سبز	۰/۱۵
معیارهای ایمنی	هزینه اصلاح (میلیون ریال)	۰/۱۳۳
	زمان اصلاح (ماه)	۰/۰۹۸
	EPDO	۰/۱۲۹
	منفعت به هزینه	۰/۱۷۴
	تعداد تصادفات	۰/۱۴۸
	تصادفات بر AADT (تصادف بر میلیون وسیله نقلیه)	۰/۱۶۹
	EPDO بر AADT (EPDO بر میلیون وسیله نقلیه)	۰/۱۴۹

www.SID.ir

Archive of SID

نقشه اولویت‌بندی و ارزیابی نقاط حادثه‌خیز: در این بخش، ابتدا با استفاده از تابع خطی فازی اقدام به طبقه‌بندی مجدد لایه‌های تولیدشده در بخش قبل کرده و سپس براساس وزن‌های تخمینی، لایه‌ها ترکیب‌شده و دو نقشه اولویت‌بندی مطابق (شکل ۴-الف و ۴-ب) ایجاد می‌شود که در انتها این دو نقشه توسط توابع جمع فازی در Arc GIS ترکیب و نقشه اولویت‌بندی نهایی (شکل ۴-پ) تولید می‌شود. با توجه به اولویت‌بندی ایمنی، تقاطع مولوی- ولی‌عصر جز تقاطع‌های حادثه‌خیز است و از نظر اولویت‌بندی کاربری زمین بخش زیادی از منطقه در محدوده حادثه‌خیز در سطح بالا قرار می‌گیرد که پس تلفیق این دو نقشه با استفاده از توابع جمع فازی، تقاطع مولوی- ولی‌عصر بیشترین اولویت اصلاح را به‌خود اختصاص می‌دهد.



شکل شماره ۴- نقشه‌های اولویت‌بندی نهایی براساس ترکیب شاخص‌های کاربری زمین و ایمنی

بحث و نتیجه‌گیری

در کشورهای توسعه‌یافته و حتی درحال‌توسعه به شیوه‌های سفر فعال با توجه به مزیت‌های خاص، توجه زیادی شده است و ایجاد شرایط مطلوب در راستای اجرای این

www.SID.ir

ive of SID

سیاست امری ضروری است. یکی از موضوعات مطرح در این زمینه، ایمنی عابران‌پیاده است که با توجه به این‌که میزان تلفات عابران‌پیاده در تهران ۵۰درصد از کل مرگ‌ومیرهای ناشی از تصادفات ترافیکی است، توجه به ایمنی عابران پیاده، به‌خصوص در تقاطع‌های شهری امری ضروری به‌نظر می‌رسد. به‌دلیل محدودیت اعتبارات، ایمن‌سازی همه تقاطع‌های حادثه‌خیز در یک منطقه ممکن نیست؛ لذا اولویت‌بندی اصلاح آنها در جهت برنامه‌ریزی صحیح و تخصیص مناسب بودجه با بیشترین بهره‌وری، گامی اساسی در کاهش تصادفات عابران‌پیاده است.

هدف از این پژوهش، اولویت‌بندی اصلاح تقاطع‌های حادثه‌خیز براساس عوامل مؤثر بر ایمنی عابران‌پیاده در ۲۵ تقاطع مهم منطقه ۱۱ شهرداری تهران است که در مجموع تعداد تصادف در سال‌های ۱۳۹۵ الی ۱۳۹۷ در این ۲۵ تقاطع و حوزه تأثیر ۵۰ متری آنها بیش از ۲۵درصد کل تصادفات است و بیش از ۴۰درصد از کل مرگ‌ومیرهای ناشی از تصادفات را عابران‌پیاده تشکیل می‌دهند که اصلاح آنها باعث ارتقای ایمنی این منطقه خواهد شد. در این پژوهش از شاخص‌های مختلفی هم‌چون تعداد تصادفات، $\frac{\text{تعداد تصادفات}}{\text{AADT}}$ ، EPDO، $\frac{\text{EPDO}}{\text{AADT}}$، $\frac{\text{منفعت}}{\text{هزینه}}$ ، هزینه اصلاح تقاطع، زمان اصلاح تقاطع و تلفیق تمامی آنها با استفاده از روش ترکیبی سلسه مراتبی- فازی به‌منظور اولویت‌بندی مقاطع حادثه‌خیز در این منطقه استفاده شده است. جهت تشخیص شاخص‌ها و معیارهای اولویت‌بندی سلسه‌مراتبی- فازی، پرسش‌نامه‌های مربوط به شاخص‌های کاربری زمین و ایمنی با طیف‌های ۹ درجه‌ای فازی جهت تحلیل زوجی بین شاخص‌ها تهیه و توسط خبرگان حمل‌ونقل و ایمنی تکمیل شد. نتایج استفاده از روش‌های اولویت‌بندی مقاطع حادثه‌خیز، نظیر فراوانی تصادفات عابران‌پیاده، نرخ تصادفات عابران‌پیاده، برسی شاخص هم‌سنگ خسارات مالی و روش تلفیقی سلسه مراتبی- فازی در محیط Arc GIS نشان می‌دهد که رتبه‌بندی اصلاح تقاطع‌های حادثه‌خیز، متأثر از نوع الگو و شاخص‌های استفاده شده در ارزیابی ایمنی تقاطع‌ها است. نتایج نشان‌گر وزن بیشتر شاخص کاربری

www.SID.ir

Archive of SID

تجاری (۳۷ درصد نسبت به سایر شاخص‌های کاربری زمین) و منفعت به هزینه (۱۷ درصد نسبت به سایر شاخص‌های ایمنی) در اولویت‌بندی تقاطع‌ها است. درنهایت اساس تلفیق نقشه‌های اولویت‌بندی مربوط به شاخص‌های کاربری زمین و ایمنی برنامه اولویت‌بندی تقاطع‌های حادثه‌خیز حاصل شد که با توجه به آن می‌توان نتیجه گرفت که تقاطع مولوی- ولی‌عصر (عج) بیشترین اولویت اصلاح را به‌خود اختصاص می‌دهد. به‌عنوان پیشنهاد کاربردی برای سازمان راهور می‌توان به کنترل بیشتر تقاطع‌هایی با اولویت بالاتر بهبود ایمنی عابران‌پیاده اشاره کرد. در نهایت، پیشنهاد می‌شود که با استفاده از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نسبت به اولویت‌بندی تقاطع‌ها پرداخته شود و مقایسه تطبیقی با پژوهش جاری صورت گیرد.

منابع

احدی، محمدرضا؛ سلیمی کوچی، محمدباقر؛ مهماندار، محمدرضا؛ حسین‌پور، مهدی. (۱۳۹۷). ارائهٔ مدل بهینهٔ شناسایی نقاط حادثه‌خیز راه‌های دوخطهٔ برون‌شهری ایران، فصلنامه علمی راهور، سال ۱۳۹۷، شماره ۲۶، ص ۷۷-۹۸. http://journals.police.ir/article_91354.html.

افندی‌زاده، شهریار؛ توکلی کاشانی، علی. (۱۳۹۳). ارائه مدل اولویت‌بندی ایمنی تقاطع‌های هم‌سطح، فصلنامه علمی راهور، سال ۱۳۹۳، شماره ۹، ص ۱۱۱-۱۳۸. http://journals.police.ir/article_11586.html.

امینی، امیر؛ گلی، احمد. (۱۳۹۴). ارائه مدل شاخص ایمنی براساس رتبه‌بندی شبکه راه‌ها تحت تاثیر عوامل موثر به‌منظور تعیین پتانسیل اصلاح، پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران: ۱۱-۱۲، اسفند ۱۳۹۴. https://civilica.com/doc/558672/.

حبیبی، آرش؛ ایزدیار، صدیقه؛ سرافرازی، اعظم. (۱۳۹۳). تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، تهران: انتشارات کتیبه گیل.

رحیم‌اف، کامران؛ وطن‌دوست، اکبر. (۱۳۹۱). ارزیابی اقتصادی رفع نقاط پرحادثه و تأثیر آن بر ارتقای ایمنی ترافیک، فصلنامه علمی ترویجی راهور، شماره ۱۹، ص ۶۱-۸۰. http://tale.jrl.police.ir/article_10788.html

www.SID.ir

ive of SID

شهرداری تهران. (۱۳۹۷). اطلس کلان‌شهر تهران ۱۳۸۵-۱۳۹۷، سازمان آمار و اطلاعات و خدمات کامپیوتری شهرداری تهران.

فرزین، میرحامد؛ حاجی‌حسینلو، منصور؛ ابطحی، سیدمهدی. (۱۳۹۱). پیش‌بینی تصادفات عابران‌پیاده در تقاطع‌های هم‌سطح با روش شبکه عصبی، یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران، تهران: ۲-۳ اسفند ۱۳۹۰. https://civilica.com/doc/154880

Abay, K.A. (2013). "Examining pedestrian-injury severity using alternative disaggregate models", Research in Transportation Economics, Vol. 43, No. 1, pp. 123-136. doi:10.1016/j.retrec.2012.12.002.

Agarwal, P.K.; Patil, P.K.; Mehar, R. 2013. "A methodology for ranking road safety hazardous locations using analytical hierarchy process", Procedia-Social and Behavioral Sciences, Vol. 104, pp. 1030-1037. doi:10.1016/j.sbspro.2013.11.198.

Aziz, H.A.; Ukkusuri, S.V.; Hasan, S. (2013). "Exploring the determinants of pedestrian–vehicle crash severity in New York City", Accident Analysis & Prevention, Vol. 50, pp. 1298-1309. doi:10.1016/j.aap.2012.09.034.

Bandyopadhyaya, R.; Mitra, S. (2013). "Hotspot Identification under Limited Information: A Combined Probabilistic and Fuzzy Cluster Based Approach", No. 13-2379.

Behnood, A.; Mannering, F.L. (2016). "An empirical assessment of the effects of economic recessions on pedestrian-injury crashes using mixed and latent-class models", Analytic methods in accident research, Vol. 12, pp. 1-17. doi:10.1016/j.amar.2016.07.002.

Cannon, B.R.; Sudweeks, J.D. (2011). "Geospatial analysis of high-crash intersections and rural roads using naturalistic driving data", Virginia Tech. Virginia Tech Transportation Institute.

Department for Transport. (2019). "Reported Road Casualties in Great Britain: Main Results", Department for Transport, Statistical Release, UK.

Chen, Z.; Fan, W.D. (2019). "A multinomial logit model of pedestrian-vehicle crash severity in North Carolina", International journal of

www.SID.ir

Archive of SID

transportation science and technology, Vol. 8, No. 1, pp. 43-52. doi:10.1016/j.ijtst.2018.10.001.

Elyasi, M.; Saffarzadeh, M.; Boroujerdian, A.; Semnarshad, M.; Mazaheri, M. (2017). "Prioritization of Suburban Accident Factors Based on Analytical Network Process", International Journal of Transportation Engineering, Vol. 5, No. 2, pp. 197-209, doi: 10.22119/ijte.2017.46522.

Fancello, G.; Carta, M.; Fadda, P. (2015). "A decision support system for road safety analysis", Transportation Research Procedia, Vol. 5, pp. 201-210. doi:10.1016/j.trpro.2015.01.009.

Kim, J.Y. (2016). "The influences of intersection roadway characteristics on pedestrian-vehicle collisions", (Doctoral dissertation, UCLA).

Koulinas, G.K.; Marhavilas, P.K.; Demesouka, O.E.; Vavatsikos, A.P.; Koulouriotis, D.E. (2019). "Risk analysis and assessment in the worksites using the fuzzy-analytical hierarchy process and a quantitative technique–a case study for the Greek construction sector", Safety science, Vol. 112, pp. 96-104. doi:10.1016/j.ssci.2018.10.017.

Kwigizile, V.; Sando, T.; Chimba, D. (2011). "Inconsistencies of ordered and unordered probability models for pedestrian injury severity", Transportation research record, Vol. 2264, No. 1, pp. 110-118. doi:10.3141/2264-13.

Liu, J.; Hainen, A.; Li, X.; Nie, Q.; Nambisan, S. (2019). "Pedestrian injury severity in motor vehicle crashes: an integrated spatio-temporal modeling approach", Accident Analysis & Prevention, Vol. 132. doi:10.1016/j.aap.2019.105272.

Manual, H.C. (2010). "HCM 2010", Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC. 1207.

Miaou, S.P.; Song, J.J. (2005). "Bayesian ranking of sites for engineering safety improvements: decision parameter, treatability concept, statistical criterion and spatial dependence", Accident Analysis & Prevention, Vol. 37, No. 4, pp. 699-720. doi:10.1016/j.aap.2005.03.012.

Mohamed, M.G.; Saunier, N.; Miranda-Moreno, L.F.; Ukkusuri, S.V. (2013). "A clustering regression approach: A comprehensive injury

www.SID.ir

ive of SID

severity analysis of pedestrian–vehicle crashes in New York, US and Montreal, Canada", Safety science, Vol. 54, pp. 27-37. doi:10.1016/j.ssci.2012.11.001.

Montella, A. (2010). "A comparative analysis of hotspot identification methods", Accident Analysis and Prevention, Vol. 42, No. 2, pp. 571-581. doi:10.1016/j.aap.2009.09.025.

Murphy, B.; Levinson, D.M.; Owen, A. (2017). "Evaluating the Safety in Numbers effect for pedestrians at urban intersections", Accident Analysis and Prevention, Vol. 106, pp. 181-190. doi:10.1016/j.aap.2017.06.004.

Nanda, S.; Singh, S. (2018). "Evaluation of Factors Responsible for Road Accidents in India by Fuzzy AHP". In Networking Communication and Data Knowledge Engineering, pp. 179-188. doi:10.1007/978-981-10-4585-1_15.

National Highway Traffic Safety Administration. (2017). "Traffic Safety Fact, U.S. Department of Transportation", NSA-230, pp. 8-10.

National Research Council (US). Transportation Research Board. Task Force on Development of the Highway Safety Manual, and Transportation Officials. Joint Task Force on the Highway Safety Manual. (2010). Highway safety manual (Vol. 1). AASHTO.

Pour-Rouholamin, M.; Zhou, H. (2016). "Investigating the risk factors associated with pedestrian injury severity in Illinois". Journal of safety research, No. 57, pp. 9-17. doi:10.1016/j.jsr.2016.03.004.

Sadeghi, A.; Ayati, E.; Neghab, M.P. (2013). "Identification and prioritization of hazardous road locations by segmentation and data envelopment analysis approach", Promet-Traffic and Transportation, Vol. 25, No. 2, pp. 127-136. doi:10.7307/ptt.v25i2.1295.

Semnarshad, M.; Elyasi, M.; Saffarzadeh, M.; Saffarzadeh, A. (2018). "Identification and Prioritization of Accident-Prone Segments using International Roughness Index". International Journal of Transportation Engineering, Vol. 6, No. 1, pp. 35-48, doi: 10.22119/ijte.2017.49733.

Tarko, A.; Azam, M.S. (2011). "Pedestrian injury analysis with consideration of the selectivity bias in linked police-hospital data".

www.SID.ir

Archive of SID

Accident Analysis & Prevention, Vol. 43, No. 5, pp. 1689-1695. doi:10.1016/j.aap.2011.03.027.

World Health Organization. (2018). "Global status report on road safety 2018: Summary (No. WHO/NMH/NVI/18.20)", World Health Organization.

Washington, S.; Haque, M.; Oh, J.; Lee, D. (2013). "Identifying Black Spots Using Property Damage Only Equivalency (PDOE) Factors", In 16th International Conference Road Safety on Four Continents. Beijing, China (RS4C 2013). 15-17 May 2013.

Ziari, H.; Amini, A.; Saadatjoo, A.; Hosseini, S.M.; Gilani, V.N.M. (2017). "A Prioritization Model for the Immunization of Accident Prone Using Multi-criteria Decision Methods and Fuzzy Hierarchy Algorithm". Computational Research Progress in Applied Science & Engineering (CRPASE), Vol. 3, No. 3.

www.SID.ir