بررسی اثر افزایش هزینه اقدامات ایمن‌سازی راه بر میزان کاهش تصادفات راه‌های اصلی استان خراسان رضوی

حمیدرضا بهنود[۱]، اسماعیل آیتی[۲]، ابوالفضل محمدزاده‌مقدم[۳]،
حسین رئیسیان‌زاده[۴]، احسان فرشته‌پور[۵]، سید مهرداد مدیرخازنی[۶]

از صفحه ۶۳ تا ۸۱

تاریخ دریافت: ۳ / ۷ /۹۴ تاریخ پذیرش: ۱۵ / ۱۲ /۹۴

چکیده

علاوه بر به‌کارگیری روشی اصولی برای تحلیل اقتصادی اقدامات ایمن‌سازی راه، یک فرایند بهینه‌سازی باهدف بیشینه‌کردن منافع اقتصادی در برابر هزینه‌های اجرایی نیز باید مورداستفاده قرار گیرد. با اجرای این فرایند برای بهینه‌سازی اقدامات ایمنی راه در مقاطع پرحادثه موجود در محورهای استان خراسان رضوی، روند تغییرات معیارهای کارایی نسبت به افزایش هزینه‌ها موردبررسی قرار می‌گیرد. در الگوریتم تخصیص معرفی‌شده در این مطالعه ترجیحاً از مفهوم ضریب تعدیل تصادف (CMF) به‌منظور محاسبه مقدار کاهش تصادف استفاده شده است. در انتها پس از تدوین کامل اطلاعات ورودی تحلیل، با استفاده از فرایند بهینه‌سازی و روابط مشروح در بخش گذشته، می‌توان برای هر محور، مجموعه‌ای از اقدامات ایمن‌سازی را در بین موقعیت‌های شناسایی‌شده اولویت‌بندی نمود؛ به‌طوری‌که اقدامات انتخاب‌شده بیشترین منفعت خالص را با توجه به اثر کاهش تصادف و هزینه‌های اجرای آن داشته باشند. با بررسی راهکارهای مختلف انتخاب‌شده در موقعیت‌های پرحادثه در هریک از محورهای موردمطالعه، می‌توان به تأثیر هریک از این راهکارها و یا اثر ترکیبی آن‌ها پی برده و از نتایج این مطالعات به‌عنوان تجربیاتی در مطالعات آتی بهره گرفت. نمودار تغییرات منافع به‌دست‌آمده از اجرای عملیات ایمن‌سازی راه نسبت به هزینه‌ها یا بودجه اجرایی نمودار مطلوبیت را برای عملیات ایمن‌سازی نشان می‌دهد؛

۱.استاد یار گروه مهندسی عمران دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره) قزوین،
(نویسنده مسئول: behnood@eng.ikiu.ac.ir)

۲. استاد مرکز تحقیقات فنی و اقتصادی ایمنی جاده‌ای، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. استادیار گروه مهندسی عمران ، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴. کارشناس ارشد عمران، کارشناس ایمنی اداره کل راه و شهرسازی استان خراسان رضوی

۵. کارشناس ارشد عمران، مشاور مدیرکل راه و شهرسازی استان خراسان رضوی

۶. کارشناس ارشد عمران، مشاور مدیرکل راه و شهرسازی استان خراسان رضوی

به‌طوری‌که با افزایش صرف هزینه‌ها، مطلوبیت ایمنی در محیط موردمطالعه افزایش می‌یابد. مقدار نرخ فایده به هزینه (BCR) برای محورها با حجم عملیات مختلف متفاوت بوده است.

کلیدواژه‌ها

اقدامات ایمنی راه، بهینه‌سازی، تحلیل اقتصادی و ضریب کاهش تصادف.

مقدمه

فرایند تحلیل نقاط حادثه‌خیز شامل مجموعه‌ای از فعالیت‌ها است که در یک سلسله‌مراتب اصولی با معیارها و گام‌های مشخصی انجام می‌شود. به‌طورکلی، ارائه راهکارهای ایمن‌سازی راه بر اساس اصول و روش‌های قابل‌تعریف برای این دو مرحله انجام خواهد شد. راهکارهای انتخاب‌شده باید هزینه-کارامد[1] باشند؛ به این معنا که منافع حاصل از اجرای برنامه‌های رفع نقاط حادثه‌خیز را افزایش دهند. در این مطالعه سعی بر آن خواهد بود تا با بررسی میدانی نقاط حادثه‌خیز شناسایی‌شده در سطح استان خراسان رضوی، به تشخیص مشکلات و ارائه راهکارهای مناسب برای آن‌ها پرداخته شود. برای تأمین حداکثر بهره‌وری و تأمین بیشترین بازگشت اقتصادی حاصل از اصلاح مشکلات هندسی و محیطی راه، لازم است تا تحلیل دقیقی بر روی قدرت کاهش تصادف اقدامات ایمن‌سازی و در پی آن، اثر اقتصادی ناشی از این کاهش انجام شود. بدین منظور علاوه بر به‌کارگیری روشی اصولی برای تحلیل اقتصادی اقدامات، باید یک فرایند بهینه‌سازی با هدف بیشینه‌کردن منافع اقتصادی در برابر هزینه‌های اجرایی نیز مورداستفاده قرار گیرد. با اجرای این فرایند برای بهینه‌سازی اقدامات ایمنی راه در مقاطع پرحادثه موجود در محورهای استان خراسان رضوی، روند تغییرات معیارهای کارایی نسبت به افزایش هزینه‌ها موردبررسی قرار می‌گیرد. معیارهای کارایی موردبررسی شامل منافع اقتصادی، نسبت فایده به هزینه و ضریب کاهش تصادف در پی اجرای مجموعه‌ای از اقدامات ایمن‌سازی است که به‌عنوان اقدامات بهینه توسط فرایند بهینه‌سازی پیشنهاد شده است.

هدف این تحقیق، بررسی اثر افزایش بودجه و هزینه‌های ایمن‌سازی راه بر مقدار منافع حاصل از اجرای آن‌ها است. برای این منظور لازم است که فرایند تخصیص منابع شامل

1.Cost-Effective

ارزیابی اقتصادی و بهینه‌سازی اقدامات در سطح موقعیت‌های پرتصادف واقع در شبکه راه‌های اصلی استان خراسان رضوی انجام گیرد. ازاین‌رو هدف فرعی این تحقیق عبارت است از برآورد مقدار کاهش تصادف در پی اجرای مجموعه‌ای از اقدامات در هر موقعیت و بهینه‌سازی منافع خالص با کسر هزینه‌های پیاده‌سازی آن‌ها. در این تحقیق اثر ایمنی حاصل از افزایش عرض خط و اصلاح رویه راه، افزایش شعاع قوس‌های افقی، افزایش مسافت دید در قوس‌های قائم، افزایش عرض ناحیه باز کناره‌های راه و اصلاح پل‌ها و آب‌روهای کم‌عرض در تحلیل اقتصادی استفاده شده است. در این تحقیق فرض اولیه بر آن است که با افزایش هزینه‌ها بر مقدار منافع حاصل از کاهش تصادف افزوده می‌شود؛ ولی الگوی این افزایش، مسئله‌ای است که با تحلیل نتایج در مجموعه‌ای از موقعیت‌های پرتصادف با طیف مختلفی از حجم سرمایه‌گذاری موردبررسی قرار می‌گیرد.

پیشینه تحقیق

در مطالعات انجام‌شده در کشورهای مختلف، روش‌ها و اقدامات ایمن‌سازی قابل‌تعریف در پروژه‌های رفع نقاط حادثه‌خیز ارائه شده که بعضاً به آثار ایمنی آن‌ها در شکل نرخ کاهش تصادف در پی هر اقدام اشاره کرده‌اند؛ به‌طور مثال، بانک توسعه آسیایی فهرستی از موقعیت‌های مختلف بروز تصادف و اقدامات اصلاحی مرتبط با آن‌ها را ارائه داده است (بانک توسعه آسیایی، ۱۳۸۵). همچنین فهرست‌های معرف اقدامات ایمن‌سازی در موقعیت‌های خطرناک غیرتقاطعی و تقاطعی همراه با اثر ایمنی آن‌ها در راه‌های پرسرعت برحسب درصد کاهش تصادف توسط آگدن[1] (۲۰۰۲) نشان داده شده است. مهم‌ترین فعالیت انجام شده در رابطه با اقدامات ایمن‌سازی راه –که با نگاهی به تجربیات بسیاری از کشورها انجام شده است – مجموعه‌ای است که توسط الویک و همکاران در سال ۲۰۰۹ میلادی با عنوان «راهنمای اقدامات ایمن‌سازی راه» گردآوری شده است (الویک[2] و همکاران، ۲۰۰۹). بخشی از این مجموعه در حیطه اقدامات طرح راه و تجهیزات آن به اصلاح نقاط حادثه‌خیز و اثربخشی آن اختصاص داده شده است. در این مرجع، تأثیر پیاده‌سازی رفع نقاط حادثه‌خیز

1.Ogden
2.Elvik

در راه‌های برون‌شهری بر کاهش تصادفات خسارتی، ۲۶ درصد و برای تصادفات جرحی، ۱۹ درصد برآورد شده است.

در سال ۲۰۰۳ هارووود[1] و همکاران، روندی برای تخصیص منابع بر اساس مبنای گسترده‌ای در به‌حداکثررساندن کارایی پروژه‌های ایمن‌سازی راه و عملکرد ترافیکی در تأسیسات غیرآزادراهی –که همچنان حفظ پیوستگی سازه‌ای و کیفیت عبور روسازی راه را مدنظر قرار دهد– ارائه شد. این فرایند به معرفی الگویی اصولی برای ارزیابی اقتصادی و بهینه‌سازی پروژه‌های ایمن‌سازی راه منجر شده که شرح کامل آن در راهنمای ایمنی راه[2] (AASHTO، ۲۰۱۰) ارائه شده است. در این زمینه و طی سال‌های گذشته، مطالعات زیادی با هدف توسعه کاربرد این راهنما و نرم‌افزار پشتیبان آن انجام شده است (ایزدپناه و همکاران، ۲۰۱۲؛ ترنر و همکاران ۲۰۱۲؛ شولتز و همکاران؛ ۲۰۱۳). نیآجی و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل بهینه‌سازی را با دربرگرفتن دوره‌های زمانی چندگانه بر اساس روش‌های تحلیل هزینه – فایده و هزینه –کارایی و با هدف تخصیص بهینه اقدامات به موقعیت‌های موردنظر و بیشینه‌کردن منافع تحت یک بودجه مشخص به کار گرفتند.

یانیس و همکاران (۲۰۱۲) الگوهای برتر[3] را در زمینه سرمایه‌گذاری هزینه –کارآمد برای زیرساخت‌های ایمنی راه ارائه داده‌اند. در ایران نیز فرایندی بر مبنای روش‌های تحلیل هزینه و برنامه‌ریزی خطی (روش صفر – یک) برای بهینه‌سازی طرح‌های ایمن‌سازی راه ارائه شده است که در آن بر اساس مقدار بودجهٔ مشخص و با استفاده از ضرایب کاهش تصادف، مدل ارزیابی اقتصادی پیاده می‌شود (بهنود و همکاران، ۱۳۹۰).

مبانی نظری تحقیق

ارزیابی اقتصادی در اصل با کارایی اقتصادی پیشنهادهای مختلف مرتبط است. این ارزیابی‌ها هزینه‌های اقتصادی یک پیشنهاد را با منافع اقتصادی مقایسه می‌کنند و نه‌تنها ارزشمندبودن پروژه را نشان می‌دهند، بلکه مشخص می‌سازند که کدام‌یک بهترین پروژه یا

1.Harwood
2.Highway Safety Manual (HSM)
3.Best Practices

مجموعه‌ای از پروژه‌ها برای اجرا هستند (آگدن، ۲۰۰۲). منافع یک برنامه مهندسی ایمنی راه از صرفه‌جویی در هزینه‌های تصادفات جاده‌ای تشکیل می‌شود که بر مبنای نتایج حاصل از احداث یا معرفی یک اقدام ایمن‌سازی راه برآورد می‌شود. این منافع می‌تواند در پی کاهش هزینه‌ها به دنبال کاهش تعداد یا شدت تصادفات و یا هردوی آن‌ها به دست آید. اگرچه راه‌های متعددی برای محاسبه هزینه‌ها وجود دارد, اما بهترین و بارزترین تعریف این است که هزینه‌های یک پروژه شامل هزینه سرمایه‌ای اولیه آن می‌شود که معمولاً فقط هزینه‌هایی را دربرمی‌گیرد که صرف طراحی و ساخت پروژه می‌شود.

در این مطالعه آن دسته از اقدامات ایمن‌سازی راه موردبررسی قرار می‌گیرد که در حیطه مهندسی راه و مجموعه عناصر و عوامل طراحی راه‌های برون‌شهری واقع می‌شود. جوانب گوناگون این مجموعه می‌تواند شامل مشخصات مقطع عرضی در طول یک قطعه راه، ویژگی‌های ایمنی کناره‌های راه، قوس‌های قائم و مسافت دید، قوس‌های افقی و پل‌های کم‌عرض را شامل شود.

در الگوریتم تخصیص معرفی‌شده در این مطالعه ترجیحاً از مفهوم ضریب تعدیل تصادف[1] (CMF) به‌منظور محاسبه مقدار کاهش تصادف استفاده شده است. ضریب CMF به‌صورت نسبت تعداد تصادفات بعد از عملیات ایمن‌سازی به تعداد تصادفات قبل از آن تعریف می‌شود. ضرایب مورداستفاده در این مطالعه بر اساس تحقیقی است که پیش‌ازاین در همین زمینه در ایران ارائه شده است (بهنود و همکاران، ۲۰۱۰). ترکیب اثر اصلاحات هندسی مربوط به کلیه مشخصه‌های هندسی به‌راحتی از طریق ضرب ضرایب ترکیبی CMF به‌دست‌آمده برای تمامی مشخصه‌های هندسی قابل‌بررسی در طرح ایمن‌سازی امکان‌پذیر می‌باشد.

به‌منظور برآورد میزان صرفه اقتصادی حاصل از کاهش تصادفات در پی اجرای اقدامات ایمنی راه لازم است تا مقدار هزینه هر نوع تصادف در تحلیل در نظر گرفته شود. بر اساس مطالعات انجام‌شده برای برآورد هزینه تصادفات جاده‌ای در سال ۱۳۸۳ (آیتی، ۱۳۸۸)، مقدار هزینه هر تصادف فوتی، جرحی و خسارتی به ترتیب برابر ۱۷ میلیارد، ۴۵۰ میلیون و ۱۸ میلیون ریال بوده است. با احتساب تورم سالانه مقدار هزینه هر تصادف فوتی، جرحی و

1.Crash Modification Factor

خسارتی در سال ۱۳۹۲ به ترتیب برابر با ۸۲۸۷۳، ۲۱۹۴ و ۸۸ میلیون ریال برآورد می‌شود.

پس از معرفی عناصر دخیل در محاسبه منافع حاصل از کاهش تعداد تصادفات می‌توان رابطه مربوط به محاسبه منافع کل را برای هر دسته از عملیات اصلاحی –که ترکیبی از چند مشخصه هندسی است – به دست آورد. این رابطه برای هر دسته عملیات اصلاحی i به شرح رابطه زیر تعریف می‌شود:

(۱)

$$B_i = AN(1 - CMF_{ti})(r_F \cdot AC_F + r_I \cdot AC_I + r_{PDO} \cdot AC_{PDO})(P/A, r, N)$$

در این رابطه:

Bi = منافع کل حاصل از اجرای دسته عملیات ایمن‌سازی شماره i؛

AN = تعداد کل تصادفات در شرایط فعلی محور موردمطالعه؛

CMFti = ضریب ترکیبی تعدیل تصادف برای اجرای دسته عملیات ایمن‌سازی شماره i؛

rF، rI و rPDO = به ترتیب نسبت تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی به کل تصادفات (ضرایب توزیع شدت تصادف)؛

ACF، ACI و ACPDO = به ترتیب هزینه متوسط هر تصادف فوتی، جرحی و خسارتی؛

r = نرخ تنزیل؛

N = دوره تحلیل.

منفعت خالص برای هر گزینه سرمایه‌گذاری از تفاضل منافع و هزینه‌های منسوب به هر گزینه به دست می‌آید. این رقم به‌عنوان یک معیار کارایی برای هر گزینه شناخته می‌شود و بر اساس این معیار است که مقرون‌به‌صرفه‌ترین گزینه از بین کلیه گزینه‌های ممکن انتخاب می‌شود. برترین گزینه به آن دسته عملیات ایمن‌سازی اطلاق می‌شود که بیشترین منفعت خالص را در پی داشته باشد. بدین منظور لازم است تا مجموع مقادیر منفعت خالص در کلیه سایت‌ها به حداکثر مقدار خود برسد. باید به خاطر داشت که در هر سایت، یک و فقط یک گزینه از بین تمامی گزینه‌های ممکن قابل‌انتخاب است و بنابراین مقادیر منفعت خالص مربوط به این تک‌گزینه‌ها در کلیه سایت‌ها با یکدیگر جمع شده و مقدار آن به حداکثر

می‌رسد. چنین اهداف و محدودیت‌هایی به‌راحتی توسط یک دستگاه برنامه‌ریزی خطی صفر- یک قابل‌تعریف است:

$$Maximize: TB = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} NB_{ij} \cdot X_{ij} \qquad (۲)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^{n} X_{1j} = 1$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{2j} = 1$$

$$\vdots$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{mj} = 1 \qquad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} C_{ij} \cdot X_{ij} \le Budget \qquad (۴)$$

در این روابط:

TB= مجموع منفعت خالص در بین کلیه m سایت مورد تحلیل؛

m= تعداد موقعیت‌ها یا مسیرهای موردتحلیل؛

n= تعداد گزینه‌های ممکن برای هر موقعیت؛

Xij= متغیر تصمیم (برابر صفر یا یک) در موقعیت i و گزینه j؛

NBij= مقدار منفعت خالص برای گزینه j در موقعیت i؛

Cij= مجموع هزینه‌های اجرایی برای گزینه j در موقعیت i؛

Budget= مقدار کل بودجه موجود برای کلیه موقعیت‌ها.

در رابطه اول، تابع تعریف‌شده تابع هدف دستگاه برنامه‌ریزی خطی است که به حداکثررسیدن مجموع مقادیر منفعت خالص برای کلیه موقعیت‌ها را مطالبه می‌نماید. روابط بعدی نیز آن دسته از قیدهای دستگاه برنامه‌ریزی خطی هستند که انتخاب فقط یک گزینه از بین کلیه گزینه‌های ترکیبی ممکن را نشان می‌دهند. همچنین رابطه آخر، عدم تجاوز مجموع هزینه‌های اجرایی در بین کلیه موقعیت‌ها را از مقدار بودجهٔ مشخص بیان می‌کند. حل این دستگاه برنامه‌ریزی، یافتن کارآمدترین عناصر پیشنهادی را برای اصلاح هندسی کلیه قطعات راه از نظر دستیابی به بالاترین بازگشت سرمایه امکان‌پذیر می‌سازد.

روش‌شناسی تحقیق

با درپیش‌گرفتن اهداف بیان‌شده برای انتخاب بهترین راهکارهای ایمن‌سازی راه و ضمن بهره‌گیری از نحوه شکل‌گیری مدل ارزیابی اقتصادی، گام‌ها و سلسله‌مراتب الگوی موردنظر در جهت تشکیل مدل تخصیص در این تحقیق به شرح زیر ارائه می‌شود:

گام ۱. معرفی سایت‌های موردمطالعه: در بررسی موقعیت‌ها و مسیرها حداقل اطلاعات مانند نوع توپوگرافی، طول مسیر، تردد روزانه، تعداد تصادف سالانه و عرض خطوط تردد باید به‌منظور معرفی هر قطعه راه موردمطالعه در فرایند تخصیص منابع، جمع‌آوری و در گزارش‌های مقدماتی طرح ایمن‌سازی گنجانده شود.

گام ۲. ثبت مشخصات فنی سایت‌های انتخاب‌شده: منظور از مشخصات فنی، ابعاد و ویژگی‌های هندسی و محیطی برای آن دسته از جوانب طرح است که در جدول ۱ به آن‌ها اشاره شده و روابط مربوط به محاسبه ضرایب تعدیل تصادف به دست آمده است.

گام ۳. معرفی راهکارهای اصلاحی مناسب برای هر قطعه راه: در هر قطعه راه، مجموعه‌ای از راهکارهای اصلاحی برای هرکدام از جوانب هندسی –که به اصلاح و ارتقای ایمنی در آن نیاز است– به‌عنوان پیشنهادهای اولیه طرح معرفی می‌شود.

گام ۴. تشکیل کلیه گزینه‌های ممکن: تخصیص منابع کلیه گزینه‌های ممکن که متشکل از ترکیب پیشنهادهای اصلاحی ناسازگار برای هر قطعه راه است، توسط مدل تشکیل می‌گردد؛ درصورتی‌که برای نشان‌دادن پذیرش یا رد یک پیشنهاد از یک متغیر دوتایی ۱ یا ۰ = Xi

استفاده شود، ۳۲ گزینه ممکن برای ۵ پیشنهاد ناسازگار P۱ تا P۵ خواهد بود.

گام ۵. محاسبه منافع ایمنی حاصل از هریک از گزینه‌های ترکیبی: مقدار منافع به‌دست‌آمده برای هر مجموعه عملیات در قالب گزینه j و در قطعه راه i با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

گام ۶. محاسبه هزینه اجرایی برای هرکدام از گزینه‌های ممکن: به‌طورکلی، هزینه‌های اجرایی مربوط به هریک از پیشنهادهای ارائه‌شده توسط کاربر، رقمی است که به‌عنوان ورودی توسط کاربر در مدل تخصیص وارد می‌شود. با تشکیل گزینه‌های سرمایه‌گذاری مجموع هزینه‌های اجرایی هر ترکیب از پیشنهادها نیز توسط مدل محاسبه می‌شود.

گام ۷. محاسبه منفعت خالص برای هریک از گزینه‌ها: منفعت خالص برای هر گزینه سرمایه‌گذاری از تفاضل منافع و هزینه‌های منسوب به هر گزینه به دست می‌آید. این رقم به‌عنوان یک معیار کارایی برای هر گزینه شناخته می‌شود و بر اساس این معیار است که مقرون‌به‌صرفه‌ترین گزینه از بین کلیه گزینه‌های ممکن انتخاب می‌شود.

گام ۸. انجام عملیات بهینه‌سازی: طبق تعریف، برترین گزینه به آن دسته عملیات ایمن‌سازی اطلاق می‌شود که بیشترین منفعت خالص را در پی داشته باشد. بدین منظور لازم است تا مجموع مقادیر منفعت خالص در کلیه سایت‌ها به حداکثر مقدار خود برسد؛ برای این منظور از فرایند برنامه‌ریزی خطی در روابط (۲) تا (۴) استفاده می‌شود.

محورهای موردمطالعه انتخاب‌شده به‌منظور بررسی و برداشت مشخصات و درنهایت تحلیل توسط مدل بهینه‌سازی انتخاب راهکارها، شامل محورهای باغچه – تربت‌حیدریه، باغچه – نیشابور، تربت‌حیدریه – خواف، قوچان – درگز، سبزوار – اسفراین، سبزوار – بردسکن، سبزوار – کاهک، شادمهر – کاشمر، فریمان – تربت جام، کاشمر – نیشابور، جاده قدیم مشهد – باغچه، مشهد – سرخس، مشهد – فریمان، مشهد – کلات و نیشابور – سبزوار می‌شود. دلیل اصلی انتخاب این محورها دردسترس‌بودن اطلاعات کامل مربوط به موقعیت‌های حادثه‌خیز بوده که از اداره‌کل راه و شهرسازی خراسان رضوی دریافت شده است. تعداد برگزیده‌ای از موقعیت‌های حادثه‌خیز گزارش‌شده برای این محورها، شامل آن دسته از مشخصات هندسی و محیطی است که در جدول ۱ توضیح داده شده است. در این مطالعه ضمن برداشت وضع موجود از داده‌های مشروح در این جدول، مقادیر پیشنهادشده

به‌عنوان اصلاح هندسی قطعات موردبررسی نیز ثبت می‌شود.

جدول ۱. داده‌های موردنیاز برای تحلیل ایمن‌سازی ویژگی‌های هندسی راه

ویژگی هندسی راه	داده‌های موردنیاز
۱- عرض خط تردد و کیفیت رویه آسفالت	۱-۱- عرض خط تردد (متر) ۱-۲- شاخص خرابی رویه راه (PCI)
۲- قوس‌های افقی	۲-۱- طول قوس افقی (کیلومتر) ۲-۲- شعاع قوس افقی (متر)
۳- قوس‌های قائم	۳-۱- طول قوس قائم (متر) ۳-۲- اختلاف جبری شیب (درصد) ۳-۳- ضریب نرخ تصادف (Far)
۴- کناره‌های راه	۴-۱- ضریب قوس افقی (FHC) ۴-۲- ضریب تأثیر شیب طولی (FVG) ۴-۳- ضریب تأثیر عرض خط تردد (FLW) ۴-۴- طول ناحیه خطر (کیلومتر) ۴-۵- فاصله ناحیه خطر از لبه راه (متر)
۵- پل‌های کم‌عرض	۵-۱- طول پل (متر) ۵-۲- ضریب کاهش شانه ۵-۳- ضریب عرض پل ۵-۴- ضریب عوامل تداخل ترافیکی ۵-۵- ضریب وضعیت گاردریل ۵-۶- ضریب پیوستگی شیب

یافته‌های تحقیق

ازآنجاکه هر موقعیتی یک محیط منحصربه‌فرد محسوب می‌شود و دارای ترکیب خاصی از مشخصات راه، کاربر و وسیله نقلیه است؛ بنابراین محدوده وسیعی از اقدامات بالقوه برای حل مشکلات ایمنی وجود دارد. در انتها پس از تدوین کامل اطلاعات ورودی تحلیل، با استفاده از فرایند بهینه‌سازی و روابط مشروح در بخش گذشته، می‌توان برای هر محور، مجموعه‌ای از اقدامات ایمن‌سازی را در بین موقعیت‌های شناسایی‌شده اولویت‌بندی کرد؛ به‌طوری‌که اقدامات انتخاب‌شده، بیشترین منفعت خالص را با توجه به اثر کاهش تصادف و هزینه‌های اجرای آن داشته باشند. برای این منظور، مدل بهینه‌سازی مشروح در روابط ۲ تا

۴ بـا اسـتفاده از برنامه جانبـی Solver در نرم‌افزار Excel فرمول‌بندی شـده و خروجی تحلیل بـرای یـک بودجه مشـخص (مقـدار ثابـت Budget در الگوی خطی معرفی‌شـده) در هریک از محورهـا به دسـت می‌آید.

مشـخصات عمومـی قطعات موردبررسـی شـامل اطلاعات شـماره قطعـه، نام محـور، طول قطعـه، تـردد روزانـه، سـرعت حرکت و تعـداد تصادف سـالانه برای هر قطعه می‌باشـد؛ علاوه‌بر ایـن مـوارد لازم اسـت کـه مقادیر مربوط به کل محور شـامل هزینه و نسـبت هر تصـادف فوتی، جرحی و خسـارتی، مقدار بودجه کل برای محور، نرخ تنزیل و دوره تحلیل نیز مشـخص شـود. در ایـن مطالعـه بـا اثردادن نرخ تورم سـالانه بر مقادیر هزینـه تصادفات که در سـال ۱۳۸۶ برآورد شـده اسـت (آیتـی، ۱۳۸۷۹)، هزینـه هـر تصـادف فوتـی، جرحـی و خسـارتی در سـال ۱۳۹۲ به ترتیـب برابـر بـا ۸۲۸۷۳، ۲۱۹۴ و ۸۸ میلیـون ریال به دسـت آمده اسـت.

در ادامـه مطالـب، اقدامـات ایمن‌سـازی برتـر در قطعـات مختلـف کـه معـرف موقعیت‌های پرحادثـه در محورهـای موردبررسـی بوده‌انـد، از بیـن مجموعـه اقدامـات معرفی‌شـده انتخـاب می‌شـود؛ ایـن اقدامات با یک بودجه مشـخص، بیشـترین منفعـت خالص را ایجـاد خواهد کرد. همان‌طـور کـه پیش‌ازایـن گفتـه شـده اسـت، منفعـت خالـص به‌صـورت تفاضل منافـع حاصل از کاهـش تصـادف و هزینه‌هـای اجرایـی تعریـف می‌شـود. بـرای ایـن منظـور، از گسـتره‌ای از بودجه‌های ممکن از ۱ میلیارد ریال تا ۱۰۰ میلیارد ریال استفاده‌شـده تا بر این اسـاس، مجموعه اقدامـات برتـر در قالب هر بودجه شناسـایی شـود.

در جـدول ۲ نمونـه‌ای از اقدامـات برگزیـده در قطعـات مختلف محور قوچـان – درگز ارائه شـده اسـت. بـرای تسـهیل معرفی اقدامـات برگزیده در ایـن جداول بـرای هر نوع اقـدام از یک نمـاد مشـخص اسـتفاده شـده اسـت؛ لـذا بـرای تعریـض خـط تـردد و روکـش آسـفالت از نماد LWS، بـرای تعریـض قوس‌هـای افقـی از نمـاد HC، بـرای اصـلاح قوس‌هـای قائـم از نمـاد VC، بـرای ایمن‌سـازی کناره‌هـای راه از نمـاد RS و بـرای ترمیـم پل‌هـای کم‌عـرض از نماد B استفاده شـده است.

با بررسی راهکارهای مختلف انتخاب‌شده در موقعیت‌های پرحادثه در هریک از محورهای موردمطالعه، می‌توان به تأثیر هریک از این راهکارها و یا اثر ترکیبی آن‌ها پی برده و از نتایج این

مطالعـات به‌عنـوان تجربیاتـی در مطالعات آتی بهره گرفت. با نگاهی گذرا به این نتایج، مشـاهده می‌شـود کـه بـا سـطح بودجه‌هـای کـم، ایمن‌سـازی پل‌هـای کم‌عـرض شـامل تأمین طـول لازم گاردریـل و تعریـض پـل، مؤثرترین راهکار اسـت. با افزایش سـطح بودجـه، دو راهکار تعریض خطـوط سـواره‌رو و تأمیـن ایمنـی کنـاره راه بـا افزایش ناحیه خالـی کنـاره راه می‌توانند به‌عنوان راهکارهـای اثربخش مورداسـتفاده قـرار گیرند. اصلاح قوس‌های قائم با کاهش اختلاف شـیب طولـی و اصـلاح قوس‌هـای افقـی با افزایش شـعاع قـوس، دو راهکاری هسـتند کـه در صورت تأمین بودجه‌های بیشـتر دارای اثربخشـی بالایی می‌باشند. در نتایج به‌دست‌آمده مشاهده می‌شود کـه گاهـی حتی بـا تأمین بودجه‌هایی سـنگین، بعضـی از راهکارها بدون انتخـاب باقی می‌مانند کـه ایـن امـر از عدم اثربخشـی ایمنـی آن‌ها در حدود و اندازه‌های تعریض‌شـده ناشـی می‌شـود.

جدول ۲. مجموعه اقدامات برگزیده در محور قوچان - درگز

مقدار بودجه (میلیارد ریال)	شماره قطعه	مجموعه اقدامات برگزیده	مجموع هزینه (ریال)	مجموع منافع (ریال)	منفعت خالص (ریال)	درصد کاهش تصادف
۱	۱	انجام هیچ کار	۰	۰	۰	۰,۰۰
	۲	انجام هیچ کار	۰	۰	۰	۰,۰۰
	۳	انجام هیچ کار	۰	۰	۰	۰,۰۰
	۴	انجام هیچ کار	۰	۰	۰	۰,۰۰
	۵	B	۶۹۵,۰۰۰,۰۰۰	۲۳,۴۴۹,۲۶۸,۷۷۱	۲۲,۷۵۴,۲۶۸,۷۷۱	۰,۹۱
مجموع	---	---	۶۹۵,۰۰۰,۰۰۰	۲۳,۴۴۹,۲۶۸,۷۷۱	۲۲,۷۵۴,۲۶۸,۷۷۱	۰,۱۳
۵	۱	VC	۲,۰۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۰۲,۰۸۲,۱۷۹,۰۵۰	۱۰۰,۰۷۲,۱۷۹,۰۵۰	۲,۷۱
	۲	انجام هیچ کار	۰	۰	۰	۰,۰۰
	۳	RS	۲,۰۵۲,۰۰۰,۰۰۰	۱,۹۱۷,۲۷۷,۰۷۲,۸۶۹	۱,۹۱۵,۲۲۵,۰۷۲,۸۶۹	۶۲,۰۹
	۴	انجام هیچ کار	۰	۰	۰	۰,۰۰
	۵	B	۶۹۵,۰۰۰,۰۰۰	۲۳,۴۴۹,۲۶۸,۷۷۱	۲۲,۷۵۴,۲۶۸,۷۷۱	۰,۹۱
مجموع	---	---	۴,۷۵۷,۰۰۰,۰۰۰	۲,۰۴۲,۸۰۸,۵۲۰,۶۹۰	۲,۰۳۸,۰۵۱,۵۲۰,۶۹۰	۱۵,۶۱
۱۰	۱	RS	۵,۸۹۵,۰۰۰,۰۰۰	۲,۲۰۴,۰۲۸,۱۱۵,۶۶۱	۲,۱۹۸,۱۳۳,۱۱۵,۶۶۱	۵۸,۳۹
	۲	B	۶۲۶,۰۰۰,۰۰۰	۸,۲۴۴,۲۰۷,۹۴۹	۷,۶۱۸,۲۰۷,۹۴۹	۰,۴۷

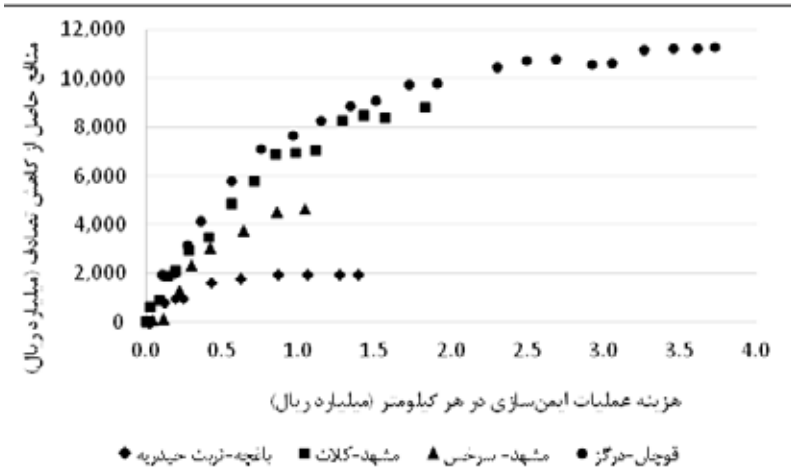
	۳	RS	۲,۰۵۲,۰۰۰,۰۰۰	۱,۹۱۷,۲۷۷,۰۷۲,۸۶۹	۱,۹۱۵,۲۲۵,۰۷۲,۸۶۹	۶۲,۰۹
	۴	انجام هیچ کار	۰	۰	۰	۰,۰۰
	۵	B	۶۹۵,۰۰۰,۰۰۰	۲۳,۴۴۹,۲۶۸,۷۷۱	۲۲,۷۵۴,۲۶۸,۷۷۱	۰,۹۱
مجموع	---	---	۹,۲۶۸,۰۰۰,۰۰۰	۴,۱۵۲,۹۹۸,۶۶۵,۲۵۰	۴,۱۴۳,۷۳۰,۶۶۵,۲۵۰	۳۱,۸۰
۲۰	۱	RS	۵,۸۹۵,۰۰۰,۰۰۰	۲,۲۰۴,۰۲۸,۱۱۵,۶۶۱	۲,۱۹۸,۱۳۳,۱۱۵,۶۶۱	۵۸,۳۹
	۲	VC	۲,۲۶۱,۰۰۰,۰۰۰	۶۸,۰۳۱,۸۴۵,۱۴۷	۶۵,۷۷۰,۸۴۵,۱۴۷	۳,۹۷
	۳	RS	۲,۰۵۲,۰۰۰,۰۰۰	۱,۹۱۷,۲۷۷,۰۷۲,۸۶۹	۱,۹۱۵,۲۲۵,۰۷۲,۸۶۹	۶۲,۰۹
	۴	RS	۵,۸۹۶,۰۰۰,۰۰۰	۱,۶۷۲,۲۷۶,۳۶۷,۴۹۹	۱,۶۶۶,۳۸۰,۳۶۷,۴۹۹	۶۳,۵۷
	۵	RS	۳,۴۶۷,۰۰۰,۰۰۰	۱,۲۴۸,۰۵۰,۵۳۳,۶۰۲	۱,۲۴۴,۵۸۳,۵۳۳,۶۰۲	۴۷,۴۴
مجموع	---	---	۱۹,۵۷۱,۰۰۰,۰۰۰	۷,۱۰۹,۶۶۳,۹۳۴,۷۷۸	۷,۰۹۰,۰۹۲,۹۳۴,۷۷۸	۵۱,۶۲
۵۰	۱	HC-VC-RS	۲۰,۲۴۴,۰۰۰,۰۰۰	۳,۱۸۰,۲۳۵,۱۲۵,۷۹۷	۳,۱۵۹,۹۹۱,۱۲۵,۷۹۷	۸۴,۲۷
	۲	HC-VC	۱۳,۱۷۳,۰۰۰,۰۰۰	۱,۲۵۴,۹۵۵,۴۶۸,۳۵۳	۱,۲۴۱,۷۸۲,۴۶۸,۳۵۳	۷۳,۱۷
	۳	VC-RS	۳,۳۰۸,۰۰۰,۰۰۰	۱,۹۴۲,۵۳۱,۸۹۲,۷۵۶	۱,۹۳۹,۲۲۳,۸۹۲,۷۵۶	۶۲,۹۱
	۴	HC	۸,۷۰۶,۰۰۰,۰۰۰	۲,۱۹۲,۰۳۹,۲۸۰,۰۷۳	۲,۱۸۳,۳۳۳,۲۸۰,۰۷۳	۸۳,۳۳
	۵	RS-B	۴,۱۶۲,۰۰۰,۰۰۰	۱,۲۶۰,۳۷۳,۶۱۴,۶۷۷	۱,۲۵۶,۲۱۱,۶۱۴,۶۷۷	۴۷,۹۱
مجموع	---	---	۴۹,۵۹۳,۰۰۰,۰۰۰	۹,۸۳۰,۱۳۵,۳۸۱,۶۵۶	۹,۷۸۰,۵۴۲,۳۸۱,۶۵۶	۷۲,۴۶
۱۰۰	۱	HC-VC-RS-B	۲۱,۰۱۳,۰۰۰,۰۰۰	۳,۱۸۳,۶۱۲,۵۰۵,۹۰۸	۳,۱۶۲,۵۹۹,۵۰۵,۹۰۸	۸۴,۳۶
	۲	HC-VC-B	۱۳,۷۹۹,۰۰۰,۰۰۰	۱,۲۵۷,۱۶۸,۵۴۵,۶۴۰	۱,۲۴۳,۳۶۹,۵۴۵,۶۴۰	۷۳,۳۰
	۳	HC-VC-RS-B	۱۷,۷۰۳,۰۰۰,۰۰۰	۲,۵۹۹,۳۵۲,۸۴۸,۷۸۷	۲,۵۸۱,۶۴۹,۸۴۸,۷۸۷	۸۴,۱۹
	۴	HC-RS-B	۱۵,۴۰۳,۰۰۰,۰۰۰	۲,۴۷۱,۶۶۳,۱۰۱,۹۰۴	۲,۴۵۶,۲۶۰,۱۰۱,۹۰۴	۹۳,۹۶
	۵	HC-VC-RS-B	۲۹,۰۷۸,۰۰۰,۰۰۰	۱,۷۸۸,۶۳۴,۲۶۱,۷۵۸	۱,۷۵۹,۵۵۶,۲۶۱,۷۵۸	۶۸,۰۰
مجموع	---	---	۹۶,۹۹۶,۰۰۰,۰۰۰	۱۱,۳۰۰,۴۳۱,۲۶۳,۹۹۷	۱۱,۲۰۳,۴۳۵,۲۶۳,۹۹۷	۸۲,۵۰

در ایـن مقالـه به‌عنـوان گامی فراتر در بررسـی آثار هزینـه و منافع پروژه‌های ایمن‌سـازی راه، بـه بررسـی رونـد تغییـرات معیارهـای کارایـی نسـبت به افزایـش هزینه‌ها پرداخته شـده اسـت. معیارهـای کارایـی موردبررسـی شـامل منافع اقتصادی، نسـبت فایده به هزینـه و ضریب کاهش

تصـادف در پـی اجـرای مجموعـه‌ای از اقدامات ایمن‌سـازی اسـت کـه به‌عنـوان اقدامات بهینه توسـط فرایند بهینه‌سـازی پیشـنهاد شـده اسـت. در شـکل‌های ۱ و ۲، نمودار تغییرات سه معیار مزبـور نسـبت بـه تغییرات میـزان پرداخـت هزینه‌های اجرایـی برای چهـار محـورِ دارای حجم عملیات ایمن‌سـازی بیشـتر نشـان داده شـده است.

شـکل ۱ نشـان‌دهنده تغییرات منافع به‌دسـت‌آمده از اجرای عملیات ایمن‌سـازی راه اسـت؛ ایـن شـکل به‌وضـوح نمودار مطلوبیت را برای عملیات ایمن‌سـازی نشـان می‌دهـد؛ به‌طوری‌که با افزایش صرف هزینه‌ها مطلوبیت ایمنی در محیط موردمطالعه افزایش می‌یابد. تابع مطلوبیت نشـان می‌دهـد کـه چگونه مطلوبیـت معیار اندازه‌گیـری رضایت خاطر از ثروت ناشـی اسـت. با افزایـش ثـروت، تابع مطلوبیت خوابیده‌تر و کم‌شـیب‌تر می‌شـود (منکیـو، ۱۳۹۱). در انتهای این نمـودار، شـیب تغییـرات مطلوبیت مانند شـکل غالب نمـودار مطلوبیت در اقتصـاد خرد، کاهش یافتـه و رشـد مطلوبیـت با تغییرات هزینه نسـبت به ابتدای نمودار سـرعت کمتـری می‌یابد. این امـر نشـان می‌دهـد کـه در ابتدای نمـودار، اجـرای کوچک‌ترین اقدامـی تأثیر بسـزایی در کاهش تصـادف دارد و بـا افزایـش ایـن اقدامـات، شـیب تأثیـر بر کاهـش تصادف کمتر می‌شـود. چنین نتیجـه‌ای را در مجموعـه مدیریـت کلان ایمنـی راه نیـز می‌تـوان مشـاهده کـرد؛ به‌طوری‌کـه در کشـورهای توسـعه‌یافته کـه در آن‌هـا بودجـه قابل‌توجهـی بـه ایمنـی راه تخصیص‌یافتـه، تلاش برای کاهش سـوانح جاده‌ای دشـوارتر از مناطق کمتر توسـعه‌یافته است. همچنین در این نمودار مشـاهده می‌شـود که در محورهای دارای مشـکلات ایمنی بیشتر، سطح نمودار مطلوبیت، بالاتر از محورهای توسـعه‌یافته‌تر قـرار دارد.

شکل ۱. تغییرات منافع ایمن‌سازی نسبت به هزینه‌های اجرایی



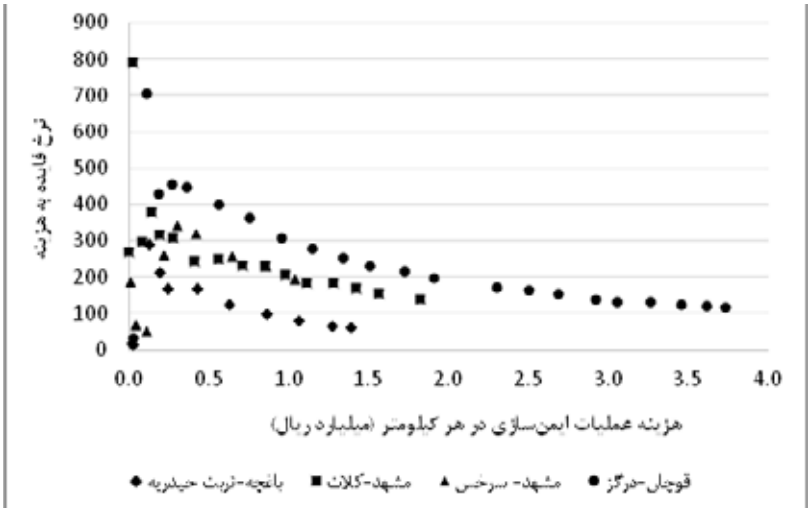
در شکل ۲ برای هر محور موردبررسی، نقطه اوج مقدار نرخ فایده به هزینه (BCR)[1] نشان داده شده است. مقدار این نرخ برای محورها با حجم عملیات مختلف متفاوت بوده است؛ ولی مشاهده می‌شود که این نقطه اوج متناظر با هزینه‌ای در حدود ۳۰۰ میلیون ریال در هر کیلومتر اتفاق افتاده است. البته مقدار نرخ BCR تنها معیار برای انتخاب سطح هزینه‌ها نیست و مهم‌تر از مقدار کاهش تصادف است که بر انتخاب سطح عملیات تأثیر می‌گذارد. در این نمودار نیز مشاهده می‌شود که برای محورهای دارای مشکلات بیشتر، سطح نرخ BCR برای هر هزینه مشخص بالاتر است.

بر اساس اصول اقتصاد خرد، نمودار تغییرات نرخ BCR به‌نحوی نمودار مطلوبیت نهایی را نشان می‌دهد. طبق تعریف، مطلوبیت نهایی اصطلاحی در علم اقتصاد است که به تغییرات مطلوبیت کل، حاصل از به‌دست‌آوردن مصرف یک یا چند واحد بیشتر از کالا یا خدمات اشاره دارد (بویز[2] و همکاران، ۲۰۱۲).

1.Benefit-Cost Ratio

2.Boyes

شکل ۲. تغییرات نرخ فایده به هزینه (BCR) نسبت به هزینه‌های اجرایی



نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه علاوه بر به‌کارگیری روشی اصولی برای تحلیل اقتصادی اقدامات، یک فرایند بهینه‌سازی باهدف بیشینه‌کردن منافع اقتصادی در برابر هزینه‌های اجرایی نیز مورداستفاده قرار گرفته است. با اجرای این فرایند برای بهینه‌سازی اقدامات ایمنی راه در مقاطع پرحادثه موجود در محورهای استان خراسان رضوی، روند تغییرات معیارهای کارایی نسبت به افزایش هزینه‌ها موردبررسی قرار گرفته است. با نگاهی گذرا بر نتایج مشاهده شده است که با سطح بودجه‌های کم، ایمن‌سازی پل‌های کم‌عرض شامل تأمین طول لازم گاردریل و تعریض پل، مؤثرترین راهکارها هستند. با افزایش سطح بودجه، دو راهکار تعریض خطوط سواره‌رو و تأمین ایمنی کناره راه با افزایش ناحیه خالی کناره راه می‌توانند به‌عنوان راهکارهای اثربخش مورداستفاده قرار گیرند.

اصلاح قوس‌های قائم با کاهش اختلاف شیب طولی و اصلاح قوس‌های افقی با افزایش شعاع قوس، دو راهکاری هستند که در صورت تأمین بودجه‌های بیشتر دارای اثربخشی بالایی خواهند بود. نمودار تغییرات منافع به‌دست‌آمده از اجرای عملیات ایمن‌سازی راه نسبت

بـه هزینه‌هـا یـا بودجـه اجرایی نمـودار مطلوبیـت را بـرای عملیات ایمن‌سـازی نشـان می‌دهد؛ به‌طوری‌کـه بـا افزایش صرف هزینه‌هـا، مطلوبیت ایمنی در محیط موردمطالعـه افزایش می‌یابد.

مقـدار نـرخ فایـده بـه هزینـه (BCR) بـرای محورهـا بـا حجـم عملیـات مختلـف متفاوت بـوده اسـت؛ ولـی مشـاهده می‌شـود که ایـن نقطـه اوج با هزینـه‌ای در حـدود ۳۰۰ میلیـون ریال در هـر کیلومتـر اتفـاق افتـاده اسـت. البتـه مقـدار نـرخ BCR، تنهـا معیـار بـرای انتخاب سـطح هزینه‌هـا نیسـت و مهم‌تـر از آن، مقـدار کاهـش تصـادف اسـت کـه بـر انتخـاب سـطح عملیات تأثیـر می‌گـذارد. در ایـن نمـودار نیز مشـاهده می‌شـود کـه برای محورهایی با مشـکلات بیشـتر، سـطح نرخ BCR برای هر هزینه مشـخص بالاتر اسـت. بر اسـاس اصول اقتصاد خرد، نمودار تغییـرات نـرخ BCR به‌نحـوی نمـودار مطلوبیت نهایی را نشـان می‌دهد. درنهایـت، با توجه به مجموعـه نتایـج عددی و تحلیلی به‌دسـت‌آمده از این تحقیق، پیشـنهادهای کاربـردی را می‌توان به شـرح زیر برشـمرد:

راهکارهـای کم‌هزینـه اثـر کاهـش تصادف کم‌تـری دارند؛ ولی جـزء کوچکـی از افزایش در ایـن اقدامـات تأثیـر قابل‌توجهی بر کاهش تصادفات خواهد داشـت. ازاین‌رو پیشـنهاد می‌شـود در قطعاتی از راه که کمتر توسـعه‌یافته اسـت، از راهکارهای کم‌هزینه شـروع کرده و به‌تدریج بر حجـم عملیـات افـزوده شـود تا حدی کـه به مقدار نسـبتاً ثابتی از بازدهی دسـت یابیم.

پیشـنهاد می‌شـود کـه با انجام تحلیل بهینه‌سـازی مبتنی بر تحلیـل اقتصادی، مطابـق آنچه در ایـن تحقیـق انجـام شـد، یـک بودجه بهینه جسـتجو شـود. ایـن بودجه سـقف کارایـی اقتصادی طرح‌هـای ایمن‌سـازی را مشـخص کـرده و تخصیـص مقادیـر فراتـر از آن بـه کاهش چشـمگیر تصادفـات کمکی نخواهـد کرد.

بـرای هـر نـوع اقـدام ایمن‌سـازی و یـا مجموعـه‌ای از آن‌هـا لازم اسـت کـه ضرایب کاهش تصـادف (CMF) به‌صـورت منفـرد و یا ترکیبی به‌عنوان اصلی‌ترین معیار انتخـاب راهکارهای ایمن‌سـازی مورداسـتفاده قـرار گرفتـه و در کنـار آن از نرخ فایده به هزینـه (BCR) به‌عنوان یک معیار تکمیلی اسـتفاده شود.

بـا توجـه بـه محدودیـت مـدل مورداسـتفاده در ایـن تحقیـق مؤکداً توصیه می‌شـود کـه توان تحلیلـی مـدل بـا اضافه‌کـردن جوانـب هندسـی، محیطـی و عملیاتـی دیگـر (ماننـد تقاطع‌هـا،

سیستم‌های هوشمند و تجهیزات ایمنی) گسترش یابد. برای این منظور لازم است تا طیف وسیعی از مطالعات در مورد مدل‌های پیش‌بینی تصادفات مورداستفاده قرار گرفته و ضرایب کاهش تصادف برای آن‌ها ارائه شود.

لازم به ذکر است که گسترش مدل و تحقیق در زمینه مطالعات انجام‌شده در این مقاله، بدون شک به توسعه کیفی پایگاه‌های اطلاعات تصادف نیاز دارد تا بر اساس آن بتوان فرایند اصولی غربالگری شبکه راه و معرفی شاخص‌های عملکردی را پیاده کرد.

منابع

- آیتی، اسماعیل. (۱۳۸۸). برآورد هزینه تصادفات: تئوری و کاربرد. پژوهشکده حمل‌ونقل.
- بانک توسعه آسیایی. (۱۳۸۵). مدیریت ایمنی راه (ترجمه مهران قربانی و محمد نوری امیر). معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری.
- بهنود، حمیدرضا؛ روزیخواه، حسین؛ شعبانی، شاهین. (۱۳۹۰). فرایند ارزیابی اقتصادی و بهینه‌سازی در ایمن‌سازی مشخصه‌های هندسی راه. مهندسی حمل‌ونقل، سال ۲ (۴).
- منکیو، گریگوری. (۱۳۹۱). کلیات علم اقتصاد (ترجمه حمیدرضا ارباب). چاپ اول، نشر نی.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2010). Highway Safety Manual, 1st Edition.
- Behnood, HR., Shabani, S., Rouzikhah, H. (2010). Determining the Accident Modification Factors Based on Iranian Road Accident Models. 4th International Symposium on Highway Geometric Design, June 2-5, Valencia, Spain.
- Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., Sørensen, M. (2009). The Handbook of Road Safety Measures. Second Edition, Emerald Group Publishing Limited.
- Izadpanah, P., Nichol, S., Hadayeghi, A. (2012). Configuration of Safety Analyst Software for Efficient and Effective Safety Management. Conference of the Transportation Association of Canada, Fredericton, New Brunswick.
- Harwood, D., W., Rabbani, E., R., Richard, K., R., McGee, H., W., Gittings,

G.L., (2003). Systemwide Impact of Safety and Traffic Operations Design Decisions for 3R Projects. NCHRP Report 486, Transportation Research Board, Washington D. C.

- Ogden, K., W. (2002). Safer Roads: A Guide to Road Safety Engineering, Ashgate Publishing Limited, UK.
- Maji, A., Mishra, S., Chittora, R., Tiwari, A. (2015). Optimization based Prioritization Model for Highway Safety 1 Countermeasure Implementation Strategy. 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board.
- Schultz, C.G., Johnson, E.S., Black, C.W. (2013). Modeling Safety in Utah. Western District Annual Meeting.
- Turner, D., Jones, S., Lou, Y. (2012). Implementation of the AASHTO Highway Safety Manual for the Alabama Department of Transportation. University Transportation Center for Alabama.
- Yannis, G., Papadimitriou, E., Evgenikos, P. (2012). Best Practices on Cost-Effective Road Safety Infrastructure Investments. 1st IRTAD sub-group meeting Safety Performance Evaluation of Road Infrastructure.