اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی در نقاط پرتصادف بر اساس روش HSM

مقاله علمی - پژوهشی

محمد کوهی*، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
محمود صفارزاده، استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.koohhi@gmail.com
دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۱- پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵
صفحه ۱۶۰-۱۵۱

چکیده

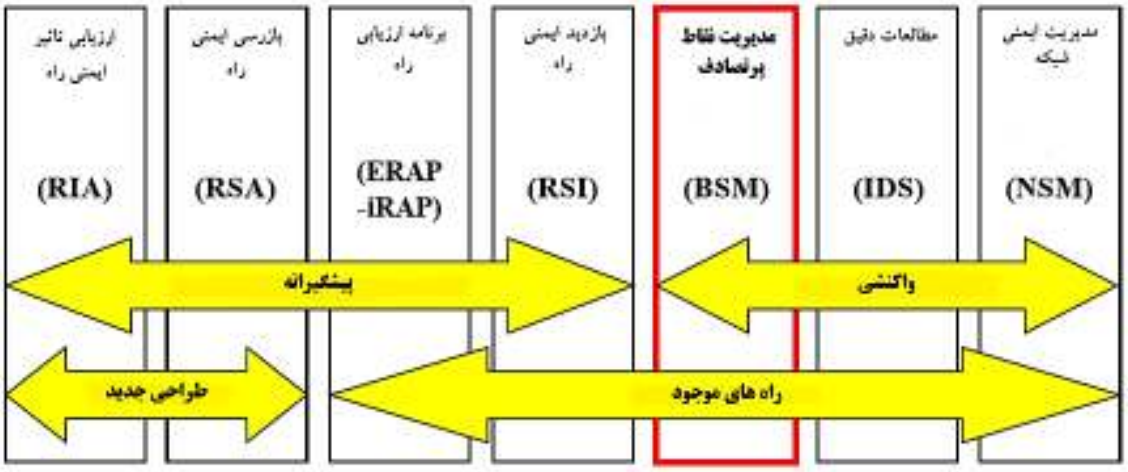
محققان در این تحقیق به دنبال اولویت بندی اقدامات اصلاحی، با توجه به کاهش در تصادفات و هزینه اجرای آنها در یکی از تقاطع‌های مهم شهرستان دره شهر(استان ایلام) هستند. به منظور ایمن سازی، با توجه به کاربری‌های اطراف و نوع تقاطع، چهار اقدام اصلاحی شامل نصب چراغ راهنما، نصب سرعتگاه در رویکرد فرعی، خط‌کشی توقف در رویکرد فرعی+تابلو و ایجاد نوارلرزاننده عرضی در رویکرد اصلی و فرعی برای این تقاطع در نظر گرفته شده است. روش بکاررفته در تحقیق، روش ارزیابی اقتصادی راهنمای ایمنی راه (HSM) است که در سال ۲۰۱۰ توسط AASHTO به چاپ رسیده است. در ارزیابی اقتصادی اقدامات، هزینه‌های تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی برای سال ۱۳۹۹ محاسبه شده است. همچنین تصادفات مورد انتظار قبل و بعد از اجرای اقدامات و کاهش در فراوانی و شدت تصادفات ناشی از اجرای اقدامات نیز تخمین زده شده است. با محاسبه منافع سالانه کاهش در تصادفات و محاسبه ارزش فعلی منافع با فرض نرخ تنزیل ۳ درصد و عمر خدمت ۱۰ سال برای اقدامات اصلاحی، تحلیل فایده-هزینه و اثربخشی هزینه اجرای اقدامات انجام شده است. نتایج تحقیق نشان میدهد که طبق روش نسبت فایده-هزینه (B/C) به ترتیب خط‌کشی توقف در رویکرد فرعی+تابلو، ایجاد نوار لرزاننده عرضی در رویکرد اصلی و فرعی، نصب سرعتگاه در رویکرد فرعی و نصب چراغ راهنما دارای اولویت هستند. همچنین برای هر میلیون ریال صرف هزینه در اجرای خط کشی توقف در رویکرد فرعی+تابلو، نسبت فایده به هزینه آن طی عمر ۱۰ ساله برابر ۳۹۶۵۰۸/۵ به ۱ است.

واژه‌های کلیدی: اولویت بندی اقدامات اصلاحی، ارزیابی اقتصادی، اثربخشی هزینه، نسبت فایده- هزینه

۱-مقدمه

مدیریت نقاط پرتصادف، روشی سیستماتیک برای شناسایی، تجزیه و تحلیل، اصلاح و ارزیابی اقدامات اصلاحی مورد استفاده در نقاط پرتصادف شبکه راه است. به گفته مراجع معتبر دنیا شناسایی، تحلیل و اصلاح نقاط پرتصادف روشی اثبات شده برای کاهش تعداد و شدت تصادفات در شبکه راه است. تقریبا می‌توان گفت که اقدامات اصلاحی، مقرون بصرفه‌ترین سرمایه‌گذاری است که یک متولی راه می‌تواند اتخاذ کند (Regional Black Spot Management Guidelines, 2015). در دستورالعمل اتحادیه اروپا، مدیریت نقاط پرتصادف قسمتی از مدیریت ایمنی راه است (Guide to Cost-Benefit Analysis of European Investment Projects, 2014)(شکل ۱). می‌توان براحتی در شکل (۱) مشاهده کرد که مدیریت نقاط پرتصادف یک روش واکنشی است که باید برای راه‌های موجود اتخاذ شود. خروجی مدیریت نقاط پرتصادف، پیشنهاد یک یا تعدادی اقدام اصلاحی است که ریسک تصادف در مکان‌های اصلاح شده را کاهش

می‌دهد. در نتیجه خروجی مدیریت نقاط پرتصادف بهبود ایمنی راه است که هم در نواحی شهری و هم در نواحی برون شهری همواره از اهداف اصلی مهندسان حمل و نقل و ترافیک در سراسر دنیا بوده و هست (Sheikhfard; Haghighi & Azmoodeh, 2020). از سال ۲۰۱۰ که AASHTO کتاب راهنمای ایمنی راه (HSM[1]) که محتوای آن مدیریت نقاط پرتصادف است را منتشر کرد، در اکثر کشورهای دنیا روش مدیریت نقاط پرتصادف بر پایه فرآیند ذکر شده در این کتاب شکل گرفت. طبق HSM فرآیند حذف یا اصلاح نقاط پرتصادف متشکل از چندین فعالیت است، این فعالیت‌ها در نمودار شکل (۲) ارایه شده است.



شکل ۱. مدیریت نقاط پرتصادف به عنوان قسمتی از مدیریت ایمنی راه

(Regional Black Spot Management Guidelines, 2015)

شکل ۲. فرآیند مدیریت نقاط پرتصادف (HSM, 2010)

همانگونه که در شکل (۲) مشخص شده است، یکی از مراحل مهم در فرآیند مدیریت نقاط پرتصادف، اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی است. اولویت بندی از آن جهت دارای اهمیت است که بطور معمول سازمان‌های ذی‌ربط در خصوص ایمن‌سازی راه‌های برون شهری و معابر درونشهری بودجه کمی برای ایمن‌سازی نقاط پرتصادف دارند. این مورد حتی برای استان‌های با امکانات کم مهمترین بخش از فرآیند مدیریت نقاط پرتصادف است. لذا، انتخاب بهینه ترین اقدام اصلاحی یا تخصیص منابع به شکلی بهینه، از اهمیت بسزایی برخوردار است. تخصیص منابع فرآیندی از تصمیم گیری است که طی آن دو بحث تحلیل اقتصادی و تحلیل ریاضی مورد بررسی قرار می گیرد. در تحلیل اقتصادی، تشکیل گزینه‌ها و راهکارها از طریق شناسایی منافع، زیان‌ها و هزینه‌ها، و به دنبال آن تعیین منفعت خالص هر راهکار یا گزینه مورد بحث قرار می‌گیرد. تحلیل ریاضی که از آن با عنوان «بهینه سازی» نیز یاد

می‌شود، به مقایسه بین گزینه‌ها و راهکارهای تشکیل یافته در ارزیابی اقتصادی می‌پردازد (Behnood; Roozikhah & Shabani, 2011). در واقع منظور از فرآیند تخصیص بهینه منابع و یا اولویت بندی اقدامات اصلاحی، یافتن بهترین اقدام اصلاحی طبق معیارهای اقتصادی و بر اساس تاثیرات ایمنی تخمینی و همچنین محدودیت‌های بودجه است که اساس آن روشهای ارزش خالص فعلی، نسبت فایده–هزینه و اثربخشی هزینه هستند (HSM, 2010). مدیریت نقاط پرتصادف و در نتیجه اولویت‌بندی اقدامات اصلاحات در معابر درونشهری پیچیده تر از راه‌های برون شهری است، زیرا نهاد مسئول ایمن سازی معابر درونشهری شهرداریها هستند که باید بودجه خود را صرف همه کارهای مدیریت شهری کنند و شاید در برخی استان‌ها، ایمن‌سازی معابر در برابر سایر الزامات مدیریت شهری اولویت بالایی نداشته باشد. نقاط پرتصادف شهری عمدتا شامل تقاطع‌ها هستند. جریان‌های مستقیم و گردشی در تقاطع با ایجاد تداخل بین وسایل نقلیه با هم، وسایل نقلیه با عابرین پیاده و یا وسایل نقلیه با دوچرخه، تصادف را ممکن می‌سازد. به همین علت تقاطع‌ها می‌توانند یکی از نقاط دارای پتانسیل برای رخ دادن تصادف باشند (Aghabeyk & Ahmadpoor, 2016). بر اساس نتایج مطالعه کسیمبا و سیریلو(Kuciemba & Cirillo, 1992) بیش از ۵۰٪ تصادفات مناطق شهری و ۳۰٪ تصادفات مناطق برون شهری در تقاطع‌ها رخ می‌دهند. هرچند که این مطالعه مربوط به حدود ۲۵ سال پیش است، اما تحقیقات جدید نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهد، برای مثال طبق گزارش اداره ملی ایمنی ترافیک بزرگراه (NHTSA, 2013)، ۴۷٪ کل تصادفات و ۲۷٪ تصادفات فوتی در ایالات متحده، در تقاطع‌ها رخ می‌دهد. FHWA تخمین زده است که تصادفات مربوط به تقاطع‌ها، سالانه بالغ بر۴۰ میلیارد دلار هزینه بر جامعه تحمیل می‌کند (FHWA, 2011). موارد فوق به خوبی نمایان می‌سازد که جلوگیری و یا کاهش تصادفات در تقاطع‌های شهری چه منافع اقتصادی و اجتماعی بزرگی را می‌تواند برای جامعه به دنبال داشته باشد. منافع اقتصادی نه فقط مستقیما بعنوان نتیجه‌ای از بهبود شرایط ایمنی راه ناشی می‌شود بلکه بطور غیرمستقیم نیز حاصل می‌شود. در هر دو مورد، این منافع باید در تجزیه و تحلیل اقتصادی محاسبه شوند. ایمنی عمدتا اشاره به پرهیز از تصادف دارد. منافع ایمنی عمدتاً ناشی از کاهش هزینه‌ها است. در تصادفات دو نوع هزینه وجود دارد (هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم). هزینه‌های مستقیم شامل هزینه‌های توانبخشی پزشکی، در زمان تصادف و نیز هزینه‌های احتمالی آینده، طول عمر باقیمانده برای برخی از انواع جراحات، هزینه‌های اداری برای پلیس، دادگاه، تحقیقات مربوط به تصادف، فوریت‌های پزشکی، هزینه‌های بیمه و غیره می‌باشد (Guide to Cost-Benefit Analysis of European Investment Projects, 2014). هزینه‌های غیرمستقیم شامل کاهش تولید خالص جامعه (یعنی کالا و خدماتی که می‌توانست بوسیله شخص تولید شود، اگر تصادف روی نمی‌داد) می‌باشد. ضرر و زیان‌ها از زمان تصادف تا زمان بازنشستگی جوانترین قربانی ادامه خواهد داشت. در مورد کشته شدگان، ارزیابی تولید از دست رفته با مفهوم "ارزش عمر آماری" (VOSL) صورت می‌گیرد که معادله آن بصورت معادله (۱) است(Guide to Cost-Benefit Analysis of European Investment Projects, *2014*).

$$VOSL = \sum_t^T \frac{L_t}{(1+i)^t} \qquad (۱)$$

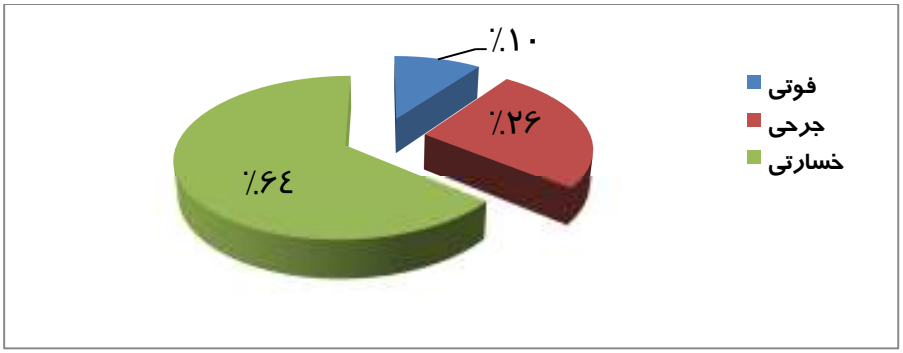
که T عمر باقیمانده، L_t درآمد شغلی، و i نرخ تنزیل جامعه است.

ارزیابی‌های اقتصادی باید بر روی گزینه‌های اقدامات اصلاحی برای تایید اقتصادی بودن یک پروژه انجام شوند، به این معنی که منافع بیش از هزینه‌ها باشند. روش ارزش خالص فعلی و روش نسبت فایده/هزینه دو روش برای ارزیابی اثربخشی اقتصادی و امکان پذیری پروژه‌های بهبود ایمنی در یک سایت ویژه هستند. همچنین شاخص اثربخشی هزینه را می‌توان وقتی بیان منافع در عبارات پولی امکانپذیر نباشد، به کار برد (FHWA, 2010). اشتو در HSM دو نوع تجزیه و تحلیل فایده–هزینه را پیشنهاد می‌کند: تجزیه و تحلیل ارزش خالص فعلی(NPV) و تجزیه و تحلیل نسبت فایده – هزینه (B/C). تجزیه و تحلیل NPV تفاوت بین ارزش فعلی منافع حاصل از یک اقدام اصلاحی و هزینه‌های پروژه را مشخص می‌کند. مقدار مثبت NPV نشان می‌دهد که منافع بیش از هزینه‌های پروژه است. نسبت *B/C*، نسبت ارزش فعلی منافع به هزینه‌های پروژه است. مقدار *B/C* بیش از ۱ نشان می‌دهد که منافع بیشتر از هزینه‌های پروژه است. هدف تجزیه و تحلیل اثربخشی هزینه، تعیین هزینه سالیانه بدست آمده از

یک واحد کاهش در فراوانی تصادف است، که به‌عنوان شاخص اثربخشی هزینه نیز شناخته می‌شود.

۲- مطالعه موردی

تحقیق حاضر به منظور اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی ممکن در تقاطع خیابان شهید نوروزی با خیابان امام حسین در شهرستان انجام خواهد گرفت. این تقاطع به دلیل مسیر ارتباطی روستاهای تابعه با شهرستان، یکی از تقاطع‌های پرخطر شهرستان محسوب می‌شود که دارای حجم تردد بالایی در طول روز است. اطلاعات این تقاطع از معاونت عمرانی شهرداری شهرستان اخذ شده که بر اساس آن میزان AADT راه اصلی برابر ۳۴۷۰۰ وسیله نقلیه و AADT راه فرعی برابر ۲۱۰۰ وسیله نقلیه در سال ۱۳۹۸ بوده و وضعیت شدت تصادفات در این تقاطع بصورت نمودار شکل (۳) بوده است. نمایی از این تقاطع در شکل (٤) نشان داده شده است.



شکل ۳ . وضعیت شدت تصادفات تقاطع مورد مطالعه در سال ۱۳۹۸

شکل ٤. تقاطع خیابان شهید نوروزی با خیابان امام حسین در یک روز تعطیل در شهرستان دره شهر

۳-تحلیل اقتصادی

گام نخست در عددی کردن منافع حاصل از یک اقدام اصلاحی، محاسبه کاهش مورد انتظار در فراوانی تصادفات ناشی از اقدام اصلاحی است. HSM روشی برای پیش‌بینی تغییرات در فراوانی تصادفات فراهم کرده است. روش پیش‌بینی HSM از ضریب اصلاح تصادف (CMF) برای عددی کردن تاثیر اقدامات اصلاحی در کاهش فراوانی تصادف استفاده می‌کند. کاهش سالانه در فراوانی تصادفات، با استفاده از هزینه‌های اجتماعی تصادفات مبتنی بر شدت، سبب کسب درآمد است.

۳-۱ محاسبه فراوانی تصادف مورد انتظار بدون اقدام اصلاحی

تابع عملکرد ایمنی پیشنهاد شده توسط HSM برای تقاطع‌های شهری با کنترل توقف به منظور محاسبه فراوانی تصادف مورد انتظار در معادله (۲) ارایه شده است.

(۲)

$$N_{TWSC} = e^{[a+b\,ln(AADT_{major})+c\,ln(AADT_{minor})]}$$

همچنین با اعمال ضرایب رگرسیونی مخصوص تقاطع شهری چهارشاخه با کنترل توقف (HSM, 2010)، معادله (۲) به معادله (۳) تبدیل خواهد شد.

(۳)

$$N_{TWSC} = e^{[-8.9+0.82\,ln(AADT_{major})+0.25\,ln(AADT_{minor})]}$$

که:

N_{TWSC} : فراوانی تصادفات مورد انتظار برای تقاطع با کنترل توقف

$AADT_{major}$: AADT راه اصلی

$AADT_{minor}$: AADT راه فرعی

با اعمال داده‌های مورد نیاز در معادله (۸)، فراوانی تصادف مورد انتظار برای تقاطع مورد نظر بدست خواهد آمد که درخصوص تقاطع مورد مطالعه در این تحقیق پس از اعمال AADT راه اصلی و فرعی برابر ٤/۹ تصادف در سال به دست آمد.

۳-۲- محاسبه فراوانی تصادف مورد انتظار با وجود اقدام اصلاحی

فراوانی تصادفات مورد انتظار اگر اقدام اصلاحی مدنظر وجود داشت(N_C) بصورت معادله (٤) به دست می‌آید (HSM, 2010).

$$N_C = CMF_C \times N_{TWSC} \qquad (٤)$$

که:

N_C : فراوانی تصادفات مورد انتظار در صورت وجود اقدام اصلاحی

CMF_C : ضریب بهبود تصادف برای اقدام اصلاحی است.

از آنجایی که تقاطع مورد مطالعه، تقاطع شهری بوده و بسیاری از اقدامات اصلاحی متداول در این تقاطع قابل اجرا نیست (به دلیل اینکه اکثر اقدامات نیاز به فضای کافی داشته و این درحالیست که کاربری‌های اطراف تقاطع مالکان حقیقی داشته و خرید آنها هزینه‌های فراوانی را در پی دارد)، لذا اقدامات اصلاحی قابل اجرا با توجه به بودجه‌های اندک ایمن سازی سازمان های مربوطه، تنها شامل نصب چراغ راهنما، نصب سرعت گیر در رویکرد فرعی، خطکشی توقف در رویکرد فرعی + تابلو و ایجاد نوار لرزاننده عرضی در رویکرد اصلی و فرعی در نظر گرفته شد. در جدول (۳) ضریب بهبود تصادف(CMF) مربوط به اقدامات اصلاحی مدنظر (مطابق HSM)، مقدار N_{TWSC} و مقدار N_C بدست آمده از معادله (۹) برای هر کدام از اقدامات اصلاحی ارایه شده است. همچنین با بدست آوردن مقدار N_{TWSC} و N_C، می‌توان از تفاضل آنها مقدار کاهش در فراوانی تصادفات ناشی از اجرای اقدامات اصلاحی را بصورت $\Delta N_C = N_{TWSC} - N_C$ تخمین زد. مقادیر ΔN_C در ستون مربوطه جدول (۱) درج شده است. بر اساس داده‌های شدت تصادف در سال ۱۳۹۸، نسبت شدت‌های مختلف تصادف بصورت ۱۰ درصد فوتی، ۲٦ درصد جرحی و ٦٤ درصد خسارتی بوده است. کاهش در فراوانی تصادفات به تفکیک شدت را می‌توان با ضرب مقدار N_C در درصد شدت تصادفات مشاهده شده محاسبه کرد که این مقدار نیز برای اقدامات اصلاحی مدنظر در ستون مربوطه جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. مقدار CMF و N_C بدست آمده برای اقدامات اصلاحی مدنظر

اقدام اصلاحی	CMF	N_{TWSC}	N_C	ΔN_C	فوتی ΔN_C	جرحی ΔN_C	خسارتی ΔN_C
نصب چراغ راهنما	۰/۹۵	٤/۹	٤/٦	۰/۳	۳	۷/۸	۱۹/۲
نصب سرعت گیر در رویکرد فرعی	۰/٦	٤/۹	۲/۹	۲	۲۰	۵۲	۱۲۸
خط کشی توقف در رویکرد فرعی + تابلو	۰/٤۵	٤/۹	۲/۲	۲/۷	۲۷	۷۰/۲	۱۷۲/۸
ایجاد نوار لرزاننده عرضی در رویکرد اصلی و فرعی	۰/۵۵	٤/۹	۲/۷	۲/۲	۲۲	۵۷/۲	۱٤۰/۸

۳-۳- محاسبه منافع سالانه حاصل از کاهش در تصادفات

منافع سالانه حاصل از کاهش در تصادفات بدلیل اجرای اقدامات اصلاحی از معادله (۵) محاسبه می شود(HSM, 2010).

$$A_C = \left(\Delta N_C^{\text{فوتی}} \times \text{هزینه تصادف فوتی}\right) + \left(\Delta N_C^{\text{جرحی}} \times \text{هزینه تصادف جرحی}\right) + \left(\Delta N_C^{\text{خسارتی}} \times \text{هزینه تصادف خسارتی}\right) \quad (۵)$$

که:

A_C : منافع سالانه حاصل از کاهش در فراوانی تصادف ناشی از اجرای اقدام اصلاحی

$\Delta N_C^{\text{فوتی}}$: کاهش در فراوانی تصادفات فوتی

$\Delta N_C^{\text{جرحی}}$: کاهش در فراوانی تصادفات جرحی

$\Delta N_C^{\text{خسارتی}}$: کاهش در فراوانی تصادفات خسارتی است.

برای بکارگیری معادله (۵) نیاز به هزینه تصادفات به تفکیک شدت است. از آنجاییکه بعضی اوقات اطلاعات از سال‌های مختلفی جمع آوری می شوند، ارزش ریالی چنین سال‌هایی نمی‌تواند به صورت مستقیم مقایسه شود. معمولاً تمام مقادیر ریالی تبدیل به مقادیر فعلی یا به آن سال‌هایی می‌شود که در طول آنها تجزیه و تحلیل اقتصادی اتخاذ می‌شود. ابزار اقتصادی مانند تنزیل و مرکب شدن برای پردازش واحدهای زمانی پولی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مرکب‌شدن، واحدهای زمانی پولی را به زمان حال تبدیل می‌کند. معادله برای مرکب شدن به صورت معادله (٦) است (Oskoonejad, 2018):

$$FV = PV(1+i)^n \quad (٦)$$

که FV ارزش آینده، PV ارزش فعلی، i نرخ تنزیل، و n تعداد سال‌ها است. با استفاده از این فرمول می‌توانیم ارزش ریالی مقادیری که در گذشته محاسبه شده، به زمان حال تبدیل کنیم. بهنود و همکاران (Behnood et al, 2016) طی پژوهشی که در زمینه بررسی اقتصادی پروژه‌های ایمن سازی داشتند بیان کردند که با احتساب تورم سالانه مقدار هزینه هر تصادف فوتی، جرحی و خسارتی در سال ۱۳۹۲ به ترتیب برابر با ۸۲۸۷۳، ۲۱۹٤، و ۸۸ میلیون ریال است. با استفاده از معادله (٦) می‌توانیم مقادیر ذکر شده را تبدیل به ارزش ریالی فعلی کنیم. اگر FV بیان کننده سال ۱۳۹۹ باشد و PV بیان کننده سال ۱۳۹۲ باشد، N برابر ۷ خواهد بود. در این مورد، ممکن است درست‌تر این باشد که PV "ارزش قدیمی‌تر" و FV "ارزش جدیدتر" در معادله مرکب شدن نامگذاری شوند. نرخ تنزیل عمومی در تجزیه و تحلیل اقتصادی پروژه‌ها و اقدامات اصلاحی درسراسر دنیا نرخ ۳ درصد یا ۰/۰۳ است که می‌توان در تحقیقات اخیر (Schatter, et al., 2016; IDOT 2015) نیز مشاهده نمود. با اعمال نرخ تنزیل (i) ۳ درصد یا ۰/۰۳، هزینه انواع تصادف در سال ۱۳۹۹ به تفکیک شدت مطابق جدول (۲) خواهد بود.

جدول ۲. هزینه برای یک تصادف به تفکیک شدت برای سال ۱۳۹۹

نوع تصادف	هزینه تصادف
فوتی	۱۰۱۹۲۳ میلیون ریال
جرحی	۲٦۹۸ میلیون ریال
خسارتی	۱۰۸ میلیون ریال

پس از محاسبه هزینه‌های تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی، با اعمال معادله (۵) منافع سالانه حاصل از کاهش در فراوانی تصادف ناشی از اجرای هر اقدام اصلاحی به تفکیک در جدول (۳) ارایه شده است.

جدول ۳. مقدار منافع سالانه حاصل از کاهش در فراوانی تصادف ناشی از اجرای هر اقدام اصلاحی

اقدام اصلاحی	A_C (میلیون ریال)
نصب چراغ راهنما	۳۲۸۸۸٦
نصب سرعت گیر در رویکرد فرعی	۲۱۹۲۵۸۰
خط کشی توقف در رویکرد فرعی + تابلو	۲۹۵۹۹۸۲
ایجاد نوار لرزاننده عرضی در رویکرد اصلی و فرعی	۲٤۱۱۸۳۷

۳-٤- محاسبه ارزش فعلی منافع و هزینه‌های اقدامات اصلاحی

ارزش فعلی منافع با فرض نرخ تنزیل ۳ درصد و عمر خدمت ۱۰ سال برای اقدامات اصلاحی از معادله (۷) و ارزش

فعلی هزینه‌های سرمایه‌گذاری و نگهداری سالانه طی عمر خدمت ۱۰ ساله اقدامات اصلاحی از معادله (۸) محاسبه می شود(HSM, 2010).

$$PV_B^C = \left[\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}\right] A_C \qquad (۷)$$

که PV_B^C ارزش فعلی منافع، A_C منافع سالانه حاصل از کاهش در فراوانی تصادف ناشی از اجرای اقدام اصلاحی، i نرخ تنزیل و n عمر خدمت اقدام اصلاحی است.

$$PV_c^C = C_A + \left[\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}\right] C_B \qquad (۸)$$

که:

PV_C^C : ارزش فعلی هزینه‌های اقدام اصلاحی

C_A : هزینه سرمایه گذاری اولیه

C_B : هزینه نگهداری سالانه است.

در اینجا فرض شده با توجه به اینکه تقاطع مورد مطالعه درونشهری بوده، هزینه‌های اقدامات اصلاحی، تنها شامل هزینه‌های سرمایه اولیه اجرای اقدامات و هزینه نگهداری سالانه است. هزینه‌های نصب و نگهداری سالانه اقدامات اصلاحی موردنظر در این مطالعه با مراجعه و درخواست هزینه تقریبی از شهرداری شهرستان، بصورت جدول (٤) به دست آمد. از آنجایی که برآورد ممکن است در نقاط مختلف متفاوت باشد، هزینه‌های جدول (٤) به نزدیکترین عدد رند، گرد شده اند. ذکر این نکته نیز ضروری است که هزینه‌های ارایه شده مربوط به اجرای اقدامات در شهرستان مورد مطالعه است و باید توجه داشت که هزینه‌های مربوطه از جمله خرید مصالح، حمل و کارگر نصاب و اجرا کننده در نقاط مختلف کشور متفاوت است. در نهایت با بکارگیری معادله‌های (۷) و (۸) ارزش منافع و هزینه‌های فعلی اقدامات در جدول (۵) ارایه شده است.

جدول ٤. هزینه‌های کلی اجرایی و معمول نصب و نگهداری اقدامات

اقدام اصلاحی	هزینه اولیه(ریال)	هزینه نگهداری سالانه(ریال)
نصب چراغ راهنما	٤٢٠/٠٠٠/٠٠٠	٥٢/٠٠٠/٠٠٠
نصب سرعت کاه در رویکرد فرعی	٣٠٤/٠٠٠/٠٠٠	٣٠/٠٠٠/٠٠٠
خط کشی توقف در رویکرد فرعی + تابلو	١٢/٦٠٠/٠٠٠	٦/٠٠٠/٠٠٠
ایجاد نوار لرزاننده عرضی در رویکرد اصلی و فرعی	٣٠٤/٠٠٠/٠٠٠	٣٠/٠٠٠/٠٠٠

جدول ۵. ارزش منافع و هزینه های فعلی اقدامات

اقدام اصلاحی	PV_B^C (میلیون ریال)	PV_C^C (میلیون ریال)
نصب چراغ راهنما	٢٨٢٨٤٢٠	٨٦٧/٢
نصب سرعت کاه در رویکرد فرعی	١٨٨٥٦١٨٨	٥٦٢
خط کشی توقف در رویکرد فرعی + تابلو	٢٥٤٥٥٨٤٥	٦٤/٢
ایجاد نوار لرزاننده عرضی در رویکرد اصلی و فرعی	٢٠٧٤١٧٩٨	٥٦٢

۳-۵- محاسبه مقادیر *NPV*، *B/C* و شاخص اثربخشی هزینه

مقادیر *NPV* ، *b/c*، و شاخص اثربخشی هزینه به صورت معادله‌های (۹) تا (۱۱) محاسبه می‌شوند(HSM, 2010).

$$NPV = PV_B - PV_C \qquad (۹)$$

$$B/C = \frac{PV_B}{PV_C} \qquad (۱۰)$$

$$\text{شاخص اثربخشی هزینه} = \frac{PV_C}{\Delta N_C} \qquad (۱۱)$$

که: NPV ارزش خالص فعلی، PV_B ارزش فعلی منافع، PV_C ارزش فعلی هزینه‌ها، نسبت فایده به هزینه و ΔN_C کاهش در فراوانی تصادفات ناشی از اجرای اقدامات اصلاحی است. نتایج شاخص‌های اقتصادی محاسبه شده برای اقدامات اصلاحی مدنظر در جدول (٦) ارایه شده است.

جدول ٦. نتایج شاخص‌های ارزیابی اقتصادی به تفکیک اقدامات اصلاحی

اقدام اصلاحی	ارزش خالص فعلی (میلیون ریال طی ۱۰ سال)	نسبت فایده به هزینه (نسبت در هر میلیون ریال صرف هزینه)	شاخص اثربخشی هزینه (صرفه میلیون ریال در هر تصادف)
نصب چراغ راهنما	۲۸۲۷۵۵۲/۸	۳۲٦۱/۵	۲۸۹۰/٦
نصب سرعت کاه در رویکرد فرعی	۱۸۸۵۵٦۲٦	۳۳۵۵۱/۹	۲۸۱
خط کشی توقف در رویکرد فرعی + تابلو	۲۵٤۵۵۷۸۰/۸	۳۹٦۵۰۸/۵	۲۳/۸
ایجاد نوار لرزاننده عرضی در رویکرد اصلی و فرعی	۲۰۷٤۱۲۳٦	۳٦۹۰۷/۱	۲۵۵/۵

بر اساس نتایج به دست آمده که در جدول (٦) ارایه شده است، می‌توان اقدامات اصلاحی را اولویت‌بندی کرد. این اولویت‌بندی کمک می‌کند که سازمان‌های مربوطه بودجه ایمن سازی خود را به درستی و با درک بالا از نتایج حاصل، صرف کنند. به طور معمول در اکثر نقاط دنیا از نسبت فایده به هزینه (B/C) برای اولویت بندی اقدامات اصلاحی استفاده می‌شود. لذا، در این تحقیق نیز نتیجه نهایی اولویت بندی برای اقدامات اصلاحی مدنظر در تقاطع خیابان شهید نوروزی با خیابان امام حسین (مطالعه موردی تحقیق) که بر مبنای روش نسبت فایده به هزینه ارایه شده در HSM محاسبه و به دست آمده، در جدول (۷) ارایه شده است.

جدول ۷. اولویت بندی اقدامات اصلاحی بر اساس نسبت فایده به هزینه (B/C)

ردیف	اقدام اصلاحی
۱	خط کشی توقف در رویکرد فرعی + تابلو
۲	ایجاد نوار لرزاننده عرضی در رویکرد اصلی و فرعی
۳	نصب سرعت کاه در رویکرد فرعی
٤	نصب چراغ راهنما

٤-نتیجه‌گیری

این تحقیق به منظور اولویت بندی اقدامات اصلاحی ممکن برای اجرا در یک تقاطع پرتصادف درونشهری صورت گرفت. با توجه به شرایط موجود تقاطع، چهار اقدام اصلاحی شامل نصب چراغ راهنما، نصب سرعت‌کاه در رویکرد فرعی، خط‌کشی توقف در رویکرد فرعی + تابلو و ایجاد نوار لرزاننده عرضی در رویکرد اصلی و فرعی در نظر گرفته شد. مطابق روش ارزیابی اقتصادی ارایه شده در *HSM* (*AASHTO, 2010*) چهار اقدام اصلاحی مورد نظر مورد تحلیل قرار گرفتند. تحلیل اقتصادی شامل تحلیل فایده-هزینه و تحلیل اثربخشی هزینه بود. همچنین ارزش خالص فعلی نصب هر کدام از اقدامات اصلاحی طی ۱۰ سال عمر در نظر گرفته شده برای آنها نیز محاسبه شد. یافته‌های حاصل از این پژوهش در ادامه بصورت خلاصه بیان می‌شود:

۱-اثربخشی هزینه برای یک اقدام اصلاحی متفاوت از تحلیل هزینه فایده آن است.

۲-تحلیل اثربخشی هزینه علاوه بر تحلیل هزینه – فایده، بینشی عمیق تر نسبت به صرفه اقتصادی اقدام اصلاحی ارایه می‌دهد.

۳-منافع اقتصادی حاصل از اجرای اقدامات اصلاحی بصورت قابل توجهی بیش از هزینه‌های اجرای آنها است.

٤-طبق روش نسبت فایده به هزینه (B/C) به ترتیب خط کشی توقف در رویکرد فرعی + تابلو، ایجاد نوار لرزاننده عرضی در رویکرد اصلی و فرعی، نصب سرعت‌کاه در رویکرد فرعی و نصب چراغ راهنما دارای اولویت هستند.

۵-برای هر میلیون ریال صرف هزینه در اجرای خط‌کشی توقف در رویکرد فرعی + تابلو، نسبت فایده به هزینه طی عمر ۱۰ ساله برای این اقدام برابر ۳۹٦۵۰۸/۵ به ۱ است.

با توجه به نتایج دقیق عددی این پژوهش، پیشنهاد می‌گردد که اولاً در تحلیل اقتصادی یک اقدام اصلاحی علاوه بر تحلیل فایده-هزینه، یک تحلیل اثربخشی نیز انجام شود. ثانیاً پیشنهاد می‌گردد که مسئولین با بکارگیری روش به کار رفته در این پژوهش برای سایر نقاط پرتصادف و همچنین سایر اقدامات اصلاحی، منافع اقتصادی دقیق حاصل از اجرای اقدامات اصلاحی را به راحتی تبدیل به مقادیر عددی کنند تا

تصمیم‌گیری در زمینه اولویت‌بندی اقدامات به‌راحتی انجام گیرد.

۵-پی‌نوشت‌ها

1. Highway Safety Manual
2. Net Present Value
3. Benefit-Cost Ratio
4. Crash Modification Factor

٦-مراجع

-آقابیگ، ک. احمدپور، ط.، (۱۳۹۵)، "مروری بر اقدامات ایمنی جهت کاهش تصادفات در تقاطع‌های بدون چراغ"، فصلنامه علمی-ترویجی جاده، دوره ۲٤، شماره ۸۳، ص. ۱۱-۳۰.

-اسکونژاد، م.، (۱۳۹٦)، "اقتصاد مهندسی (ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی)"، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

-بهنود، ح.ر. آیتی، ا. محمدزاده مقدم، ا. رئیسیان‌زاده، ح. اسماعیل‌زاده نوقابی، ج. مدیرخازنی، س.م.، (۱۳۹۵)، "بررسی اثر افزایش هزینه اقدامات ایمن‌سازی راه بر میزان کاهش تصادفات راه‌های اصلی استان خراسان رضوی"، فصلنامه مطالعات پژوهشی راهور، سال پنجم، شماره شانزدهم، ص. ٦۳-۸۱.

-بهنود، ح.ر. روزیخواه، ح. و شعبانی، ش.، (۱۳۹۰)، "فرآیند ارزیابی اقتصادی و بهینه‌سازی در ایمن سازی مشخصه‌های هندسی راه"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال دوم، شماره چهارم، ص. ۳۷۵-۳۹۱.

-شیخ فرد، ع.، حقیقی، ف.ر.، آزموده، م.، (۱۳۹۸) "ایمن سازی تردد دانش‌آموزان با اجرای اقدامات ترافیکی (مطالعه موردی: بابل)"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال یازدهم، شماره دوم، ص. ۵۲۵-۵۳۷.

-Asian Development Bank, (2017), "Guidelines For The Economic Analysis of Projects", Mandaluyong City, Philippines.

-Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects, (2014), “Economic Appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020”, Publication office of the European Union.

-Highway Safety Improvement Program: User’s Manual Benefit-Cost Tool, (2015), “Illinois Department of Transportation (IDOT)”, Illinois Department of Transportation, Springfield, IL.

-Highway Safety Manual (HSM), (2010), “American Association of State Highway & Transportation Officials (AASHTO)”.

-Highwy Safety Improvement Program Manual, (2010), “FHWA-SA-09-029, Prepared by Cambridge Systematics Inc., Chicago, Illinois”.

-Kerrie L. Schattler, Trevor Hanson, and Krishnanand Maillacheruvu, (2016), "Effectiveness Evaluation of a Modified Right-Turn Lane Design at Intersections", Illinois Center for Transportation Department of Civil and Environmental Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign.

-Kuciemba, S. R., and J. A. Cirillo., (1992), "Safety Effectivenees of Highway Design Features", Volume V: Intersection, FHWA-RD-91-048, Federal Highway Administration.

-National Agenda for Intersection Safety, (2011), “Publication FHWA-SA-02-007. FHWA, U.S. Department of Transportation”.

-National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)., (2013), “Traffic Safety Facts 2011, Publication DOT HS 811 754”, NHTSA, U.S. Department of Transportation.

-Regional Black Spot Management Guidelines, (2015), “TRACECA Regional Road Safety Project, Safety Engineering Team”, EU funded road safety project.

Prioritization of Countermeasures in Black Spots Based On HSM Method

Mohammad Kohi, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering, Payam Noor University (PNU), Tehran, Iran.

Mahmoud Saffarzadeh, Professor, Faculty of Civil & Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

E-mail: m.koohhi@gmail.com

Received: August 2021-Accepted: February 2022

ABSTRACT

In this research, researchers are looking to prioritize countermeasures in one of the important intersections of Darrehshahr city. The four countermeasures including installing a traffic signal, installing a speed hump in the minor approach, drawing a stop line in the minor approach +sign and creating a rumble stripe in the major and minor approach for this intersection are considered. The research method is the economic evaluation method in HSM. In the economic evaluation of countermeasures, the costs of fatal crashes, injuries and damages for the year 1399 have been calculated. Also, the expected crashes before and after the implementation of the countermeasures and the reduction in the frequency and severity of the crashes caused by the implementation of the countermeasures have been estimated. By calculating the annual benefits of crashes reduction and calculating the current value of benefits, assuming a 3 percent discount rate and a service life of 10 years for countermeasures, cost-benefit analysis and cost-effectiveness of countermeasures have been performed. The results show that according to the Benefit-Cost Ratio method, the stop line in the minor approach +sign, the creation of the rumble stripe in the major and minor approach, the installation of the speed hump in the minor approach and the installation of the traffic signal have priority, respectively. Also, for every million Rials spent on the implementation of the stop line in the minor approach +sign, the ratio of benefit to cost during the 10-year lifespan is 396508.5 to 1.

Keywords: Prioritization of Countermeasures, Economic Evaluation, Cost-Effectiveness, Benefit-Cost Ratio