

بررسی نحوه عملکرد "سیستم اطلاعات برای محاسبه ضرایب کاهش تصادف"

غلامعلی شفافبخش^۱، عبدالحسین حداد^۲، مهدی اکبری^۳

دانشگاه سمنان، پردیس ۱، دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، تلفن: ۰۲۳۱-۳۳۳۴۲۰۱-۳۳۴۰ داخلی
mahdi.akbari80@gmail.com

خلاصه

طرح‌های ارتقای ایمنی راه، هزینه‌های بالایی دارند. اما از آنجا که بین برخی طرح‌ها از نظر شرایط و نوع مشکلات پیش آمده، تشابه وجود دارد، لذا می‌توان از تجربیات جمع‌آوری شده از پروژه‌های اجرا شده گذشته، بهره جست. از جمله پایگاه‌های اطلاعاتی کارآمد، "سیستم اطلاعات برای محاسبه ضرایب کاهش تصادف" می‌باشد. در این مقاله سعی شده تا علاوه بر تشریح مراحل انجام مطالعه به روش "استدلال مبتنی بر موقعیت"، نحوه عملکرد "سیستم اطلاعات برای محاسبه ضرایب کاهش تصادف" و روند اجرای آن بیان شود. همچنین به کاربردهای این سیستم در تحلیل‌های اقتصادی اقدامات ارتقای ایمنی و محاسبه ضرایب کاهش تصادف نیز اشاره شده است.

واژه‌های کلیدی: ارتقای ایمنی راه، سیستم اطلاعات برای محاسبه ضرایب کاهش تصادف، تحلیل اقتصادی.

مقدمه

با توجه به محدودیت‌های بودجه‌ای، اطمینان نسبت به بهره‌وری از بودجه تخصیص یافته جهت ارتقای ایمنی راه بسیار مهم است. افزایش آگاهی‌ها و نگرانی‌های مردمی نسبت به هزینه‌های بسیار بالای اجتماعی و اقتصادی تصادفات رانندگی که جامعه را تحت فشار می‌گذارد، باعث شده تا سازمان‌ها و نهادهای پاسخگو در این رابطه، طرح‌های بهبود ایمنی راه‌ها را در اولویت قرار دهند. اما با توجه به هزینه بالای اینگونه طرح‌ها، دستیابی به این اهداف بسیار سخت شده است. این امر باعث شده تا نسبت به بهره‌وری بهینه از بودجه تخصیص یافته، حساسیت ایجاد شود.

در بسیاری از پروژه‌های ارتقای ایمنی راه، هزینه‌های بالایی جهت مطالعه و بررسی نحوه بهبود ایمنی راه پرداخت می‌شود که تامین اعتبار برای تمام آنها، اجرای طرح‌ها را با مشکل مواجه می‌کند. آنچه که باید مورد توجه قرار گیرد آن است که، برای بکارگیری گسترده از مطالعات گذشته لازمست تا پایگاه اطلاعاتی و آماری جامع و دقیقی ایجاد شود. در این پایگاه اطلاعاتی بایستی علاوه بر نوع و وضعیت طرح‌های گذشته، مشخصات کلی و راهکارهای اعمال شده و همچنین بررسی‌های تعیین ضرایب کاهش تصادف نیز گردآوری شوند.

متخصصان ایمنی راه همیشه بدنبال روشی برای ارزیابی تأثیرات هزینه‌های پروژه‌های بهبود ایمنی راه بودند تا بر اساس آن، مزایای بهبود ایمنی راه برای تمام کاربران راه حداکثر شود. روش‌هایی که تحلیل‌های اقتصادی را در پروژه‌های بهبود ایمنی راه لحاظ می‌کنند، بسیار ساده هستند. اما این روش‌ها، مزایای بهبود

^۱ استادیار دانشکده مهندسی، دانشگاه سمنان ghshafabakhsh@semnan.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده مهندسی، دانشگاه سمنان ahadad@semnan.ac.ir

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشگاه سمنان mahdi.akbari80@gmail.com

ایمنی راه را بطور دقیق محاسبه نمی‌کنند. این ناتوانی در محاسبه دقیق مزایای بهبود ایمنی راه، موجب انتقاد شدید و کاهش اعتمادپذیری نسبت به اثرات حقیقی پروژه‌های بهبود ایمنی راه شده است.

در ارزیابی اثرات متقابل پروژه‌های بهبود ایمنی راه، عموماً بر مزایای کاهش تعداد و یا شدت تصادفات پیش‌بینی شده تکیه می‌شود. برای محاسبه کاهش تعداد تصادفات، از ضرایب کاهش یا تعدیل تصادف^۱ استفاده می‌شود. هرچند جهت تعیین وضعیت بهبود ایمنی راهها استفاده از ضرایب کاهش تصادف متداول است اما از این ضرایب نمی‌توان برای هر موقعیتی استفاده کرد و همچنین در بسیاری از مطالعات گذشته، از روش‌های ارزیابی و تطبیق احتمالاتی استفاده شده که در نتیجه نتایج حاصله را غیرقابل اعتماد کرده است. اما با استفاده از این سیستم اطلاعات می‌توان این ضعف را برطرف کرد. این ضرایب بر مبنای اطلاعات حاصله از مطالعات گذشته طرح‌های بهبود ایمنی تهیه می‌شوند. اما به دو دلیل بکارگیری این ضرایب می‌تواند موجب محاسبه نامطمئن تاثیرات بهبود ایمنی راه شود. مورد اول اینکه، نتایج مطالعات گذشته، در بسیاری حالات به مجموعه پیامدهای خاص محدود می‌شوند (مانند مشخصات موقعیتی خاص و شرایط اقلیمی ویژه). مورد دوم اینکه، نتایج مطالعات گذشته ممکن است غیردقیق و یا نامطلوب باشند. این بی‌دقتی، ممکن است ناشی از عدم محاسبه بسیاری از عواملی دخیل در ارزیابی ایمنی و یا بکارگیری روش ارزیابی نادرست باشد که نمونه تصادفات را بصورت تصادفی انتخاب می‌کند. بنابراین روشی مورد نیاز است که نتایج مطالعات قبلی را با توجه به کیفیت پیامدهای حاصله در نظر بگیرد.

یکی از این روش‌ها "سیستم اطلاعات برای محاسبه کاهش تصادف (ISECR)"^۲ می‌باشد. این سیستم، پایگاه اطلاعاتی هوشمندی است که نتایج تحقیقات گذشته ایمنی راه را با استفاده از روش "استدلال مبتنی بر موقعیت (CBR)"^۳ گردآوری می‌کند. قابلیت اصلی این سیستم آن است که با استفاده از روش استدلال مبتنی بر موقعیت و پس از بررسی خصوصیات ویژه آن منطقه، کاربردی بودن فعالیت‌های پیشنهادی را مشخص می‌کند و همچنین می‌تواند ضرایب کاهش تصادف مربوط به آن را تعیین کرده و میزان قابلیت اعتمادپذیری آن اقدامات را ارزیابی کند. سیستم اطلاعات برای محاسبه کاهش تصادف (ISECR)، با توجه به مشخصات خاص هر پروژه قابلیت بکارگیری نتایج را تعیین کرده و همچنین کیفیت نتایج را با تعیین رتبه کیفیت، در محاسبات لحاظ می‌کند. این سیستم می‌تواند به همان خوبی که برای تعیین ضرایب کاهش تصادف بکار رود، برای تعیین مقدار قابلیت اعتمادپذیری اثرات متقابل پیش‌بینی شده اقدامات بهبود ایمنی راه بکار برده شود.

سیستم اطلاعات برای محاسبه کاهش تصادف

سیستم اطلاعات برای محاسبه کاهش تصادف (ISECR)، با هدف حداقل کردن مراحل لازم در ارزیابی تاثیر اقدامات مختلف بهبود ایمنی راه بر مبنای رده پروژه، طراحی شده است. سیستم ISECR شامل اطلاعات تاریخچه‌ای است که از میان مطالعات قبلی گردآوری شده و تاثیر اقدامات مختلف را بر میزان بهبود ایمنی راه لحاظ می‌کند. این سیستم برای انجام تحلیل‌های خود از روش استدلال مبتنی بر موقعیت (CBR) استفاده می‌کند که شامل مراحل زیر می‌شود:

- ۱- معرفی پروژه: تعیین اجزا و تعریف خصوصیات پروژه و همچنین سازمان و ساختار پایگاه اطلاعات.
- ۲- فراخوانی پروژه: اعمال پارامترهای بازیابی اطلاعات^۴ برای فراخوانی پروژه‌ها از داخل پایگاه اطلاعات.
- ۳- بُعد پروژه: تعیین معیارهای محاسبه بعد پروژه برای هر یک از پروژه‌های فراخوان شده.
- ۴- تولید پاسخ: تعیین راهبردها برای تغییر و یا ترکیب پاسخ‌های فراخوان شده، جهت تولید پاسخ بهینه.

معرفی پروژه در سیستم ISECR

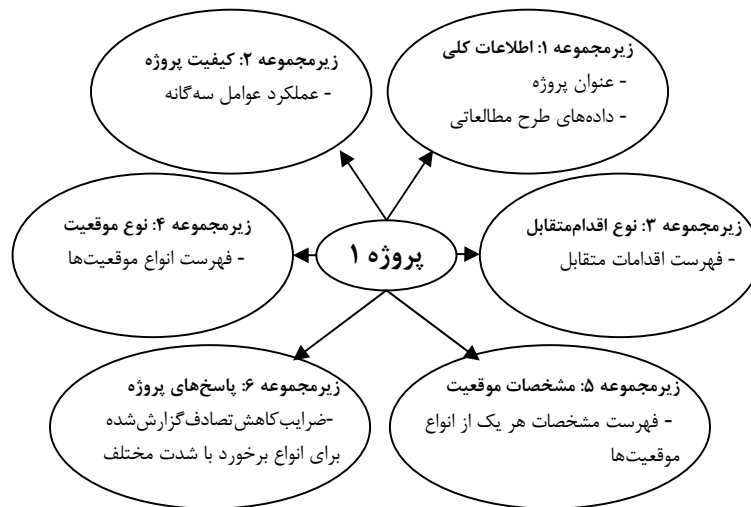
اجزا کلی هر پروژه به شش زیرمجموعه تقسیم می‌شود. در شکل ۱ این اجزا نشان داده شده است.

¹ Collision Reduction (or Modification) Factors-(CRFs)

² Information System for Estimating Crash Reductions-(ISECR)

³ Case-Based Reasoning-(CBR)

⁴ Query Parameters



شکل ۱: معرفی پروژه در سیستم اطلاعات برای محاسبه کاهش تصادف

زیرمجموعه ۱- اطلاعات کلی: این زیرمجموعه هر پروژه را با فهرست‌بندی نویسندگان یا محققان، عنوان و منابع طرح مطالعاتی (نشریات و...) مشخص می‌کند. زیرمجموعه ۲- کیفیت پروژه: این زیرمجموعه اطلاعات کیفی پروژه را ذخیره می‌کند. کیفیت پروژه با اندازه‌گیری تغییرات در حجم ترافیک، لحاظ کردن تأثیرات جانبی و بازگشت به میانگین RTM^۱ مشخص می‌شود.

زیرمجموعه ۳- نوع اقدام متقابل: این زیرمجموعه اطلاعات مربوط به نوع و گروه اقدامات را شامل می‌شود (مانند بهبود تقاطع، بهبود طرح هندسی و...). زیرمجموعه ۴- نوع موقعیت: این زیرمجموعه اطلاعات مربوط به محل‌هایی که تأثیر اقدامات در مورد آنها بررسی شده را گردآوری می‌کند (مانند تقاطعات چراغدار، تقاطعات بدون چراغ، قطعات راه و...).

زیرمجموعه ۵- مشخصات موقعیت: مشخصات موقعیت مربوط به پروژه داده شده از مطالعه ارزیابی استخراج شده و در این زیرمجموعه ذخیره می‌شود. زیرمجموعه ۶- پاسخهای پروژه: پاسخهای پروژه از جمله ضرایب کاهش تصادفات (CRFS) در این زیرمجموعه ارائه می‌شوند.

فراخوانی پروژه در سیستم ISECR

برای فراخوانی پروژه لازم است تا کاربر، مجموعه مقادیر و یا خصوصیتی که منحصراً برای توصیف پروژه طرح می‌توان بکار گرفت را وارد کند. این مشخصات به پارامترهای بازبایی که برای فیلتر کردن پروژه‌های پایگاه داده‌ها بکار می‌روند، تبدیل می‌شوند. هنگامی که از سیستم ISECR استفاده می‌شود، کاربر نوع و وضعیت اقدام پیشنهادی را تعیین می‌کند. این خصوصیات بعنوان پارامترهای بازخوانی بکار رفته و برای هر پروژه ذخیره شده در پایگاه اطلاعات، موارد مقدار-ویژگی^۲ آن انطباق داده می‌شود. اگر بین پارامترهای بازبایی انطباق کامل بود، آن پروژه از پایگاه داده‌ها فراخوانده می‌شود. هنگامی که بیش از یک پروژه از پایگاه داده‌ها فراخوان می‌شود، تعیین اینکه کدامیک برای پروژه طرح، بارزتر و مناسبتر است، بسیار مهم است. با استفاده از رتبه کیفیت و اهمیت پروژه می‌توان به این هدف دست یافت.

رتبه کیفیت

رتبه کیفیت مقداری کمی است که برای تعیین قابلیت اعتمادپذیری نتایج پروژه از آن استفاده می‌شود. در سیستم ISECR فرض بر آن است که کیفیت پروژه تحت تأثیر رفتار سه عامل موثر می‌باشد که در زیرمجموعه ۲ به آنها اشاره شد. این عوامل موثر عواملی هستند که می‌توانند درستی ارزیابی تأثیر بهبود ایمنی را مشخص کنند.

تحقیقات متعددی برای محاسبه تأثیر حضور عوامل موثر در مطالعات ارزیابی صورت گرفته است. یک روش برای مطالعات ارزیابی برپایه رفتار اینگونه عوامل، روش نسبت وزنی می‌باشد. بعنوان مثال (Elvik 1995, 1996) مطالعات ارزیابی کیفی را برپایه متغیرهای متعددی از عوامل موثر انجام داد. این متغیرها

¹ Regression to the Mean

² Attribute-Value

عواملی از جمله نوع طرح تحقیقی، دوره مطالعات، تغییرات حجم ترافیک و مقدار انحراف از معیار را شامل می‌شود [۲۰۳]. در این مقاله سه عامل موثر بحث شده است که از این قرار است: تغییر در حجم ترافیک، لحاظ کردن تاثیرات جانبی، بازگشت به میانگین (RTM).

محاسبه رتبه کیفیت

در سیستم ISECR رتبه کیفیت با استفاده از اطلاعاتی که در زیرمجموعه ۲ وجود دارد و رابطه ۱ محاسبه می‌شود [۱]. در رابطه ۱ مقادیر ۳ و صفر به ترتیب به جای $f_{i,max}^R$ و $f_{i,min}^R$ ، بعنوان تعداد عوامل موثر حداکثر و حداقل که برای هر پروژه قابل ذکر است، قرار می‌گیرند. ارزش خصوصیت $f_{i,k}^R$ بسته به هر پروژه و بر پایه تاثیر روی سه عامل موثر تعیین می‌شود. بطور مثال اگر دو مورد از سه عامل موثر در پروژه مدنظر باشد، مقدار ۲ به ارزش خصوصیت تخصیص می‌یابد [۱].

$$D_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot ABS\left(\frac{f_i^I - f_{i,k}^R}{f_{i,max}^R - f_{i,min}^R}\right)^2}{\sum_{i=1}^n W_i}} \quad (1)$$

D_k : بُعد پروژه طرح به پروژه k ام، n: تعداد خصوصیات ورودی، W_i : ضریب اهمیت خصوصیت k ام، ABS: قدرمطلق تابع، $f_{i,max}^R$: حداکثر ارزش خصوصیت k ام، $f_{i,min}^R$: حداقل ارزش خصوصیت k ام، f_i^I : ارزش خصوصیت k ام در پروژه طرح، $f_{i,k}^R$: ارزش خصوصیت k ام در پروژه k ام.

رتبه اهمیت

هنگام فراخوانی از سیستم ISECR، پروژه‌هایی که از پایگاه اطلاعاتی فراخوانده شده‌اند حتی اگر از نظر انواع اقدامات متقابل و موقعیت یکسان باشند، از نظر مشخصات موقعیتی تطابق یکسانی با پروژه طرح نخواهند داشت. برای مثال، اگر پروژه طرح در ارتباط با تقاطع چراغدار شهری با حجم ترافیک ورودی کلی AADT ۱۰۰۰ باشد، غیرمحمتم است که همه پروژه‌های فراخوانده شده خصوصیات مشابهی با پروژه طرح داشته باشند. بنابراین تعیین پروژه خاصی که تشابه بیشتری به پروژه طرح دارد، منطقی‌تر خواهد بود. رتبه اهمیت تعیین شده برای هر پروژه تحت تاثیر درجه تشابه مشخصات موقعیت مابین پروژه طرح و فراخوانده شده قرار دارد. زیرمجموعه ۴ از سیستم ISECR اطلاعاتی در مورد نوع موقعیت را ارائه می‌دهد و زیرمجموعه ۵ نیز اطلاعاتی در مورد مشخصات موقعیت هر یک از پروژه‌ها که در پایگاه اطلاعات ذخیره شده ارائه می‌کند. کاربر سیستم ISECR، نوع و مشخصات موقعیت پروژه خاص را تعیین می‌کند و این اطلاعات با اطلاعات پروژه‌ها متقابلاً تطبیق داده می‌شود تا رتبه اهمیت هر یک بدست آید.

محاسبه رتبه اهمیت

رتبه اهمیت برای هر پروژه فراخوانده شده نیز با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود. برای محاسبه رتبه اهمیت مقادیر $f_{i,max}^R$ و $f_{i,min}^R$ برای هر خصیصه پروژه بر اساس خصیصه خاص مورد مواجهه، تعیین می‌شود. هر خصیصه در رابطه ۱، بطور یکسان توزین می‌گردد، بطوریکه مقدار W_i به تعداد خصیصه‌های مطرح شده بستگی دارد. برای مثال، اگر دو خصیصه مطرح باشد، مقدار ۰/۵ لحاظ می‌شود. بطور مشابه اگر تعداد خصیصه‌های مطرح ۳، ۴ و ۵ باشد، برای W_i بترتیب مقادیر ۰/۳۳، ۰/۲۵ و ۰/۲۰ جایگزین می‌شود.

محاسبه بُعد پروژه در سیستم ISECR

بعد پروژه برای تعیین نسبت اهمیت هر یک از پروژه‌ها در مقایسه با پروژه‌ای دیگر تعیین می‌شود. هنگامی که بُعد پروژه D_k برای هر پروژه فراخوانده شده محاسبه می‌شود، کاربر می‌تواند تصمیم بگیرد که فقط رتبه کیفیت را لحاظ کند و یا ترکیبی از رتبه کیفیت و رتبه اهمیت را در نظر بگیرد. اگر کاربر تصمیم بگیرد که رتبه اهمیت را لحاظ نکند و فقط رتبه کیفیت را در نظر بگیرد، در آنصورت D_k معادل رتبه کیفیت محاسبه شده برای پروژه فراخوانده شده خواهد بود. اما چنانچه کاربر در تعیین D_k تصمیم به لحاظ هر دو رتبه بگیرد، هر دو رتبه بصورت یکسان طبق رابطه ۲ لحاظ می‌شود [۱].

$$D_k = \frac{D_k(Quality) + D_k(Relevance)}{2} \quad (2)$$

D_k : بعد پروژه برای k امین پروژه فراخوانده شده

تولید پاسخ سیستم ISECR

در سیستم ISECR پاسخ مشکلات مطرح را می‌توان با بکارگیری روش نزدیکترین همسایگی یا روش همبستگی تعیین کرد. روش نزدیکترین همسایگی، از نزدیکترین پروژه که کمترین بُعد پروژه را داراست، کمک می‌گیرد و از نتایج آن برای پاسخ به پروژه طرح مطالعاتی استفاده می‌کند. روش همبستگی، تعداد بیشتری از پروژه‌های فراخوانده‌شده را بکار می‌گیرد. این روش نتایج بسیاری از پروژه‌های فراخوانده‌شده را ترکیب می‌کند و سپس پاسخ‌های ترکیب‌شده را بعنوان پاسخ پروژه طرح در نظر می‌گیرد. در این روش از k مربوط به نزدیکترین همسایگی فراخوانده‌شده استفاده می‌شود که در اینجا، k تعداد پروژه‌های فراخوانده‌شده و بکار رفته در تولید پاسخ ترکیبی می‌باشد. استدلال کافی وجود ندارد تا بتوان نشان داد مقدار بهینه k برای ایجاد بهترین پاسخ، چقدر بایستی باشد.

سیستم ISECR هر دو پاسخ میانگین وزنی و غیروزی ضرایب کاهش تصادف CRFs را بر اساس نتایج بدست‌آمده از تمام پروژه‌های فراخوانده‌شده، تولید می‌کند. میانگین غیروزی یک میانگین حسابی ساده از ضرایب کاهش تصادف فراخوانده‌شده می‌باشد. درحالی‌که نتایج وزنی با نسبت‌دهی وزنی به ضرایب کاهش تصادف فراخوانده‌شده و با لحاظ کردن بُعد پروژه‌هایشان، حاصل می‌شوند. رابطه ۳ و ۴ در سیستم ISECR برای تعیین ضرایب کاهش تصادف غیروزی و وزنی استفاده می‌شوند [۳].

$$CRF_{Non-Weighted} = \frac{\sum_{k=1}^N CRF_k}{N} \quad (۳)$$

$$CRF_{Weighted} = \frac{\sum_{k=1}^N (1 - D_k) \cdot CRF_k}{\sum_{k=1}^N (1 - D_k)} \quad (۴)$$

$CRF_{Non-Weighted}$: پاسخ غیروزی CRFs، $CRF_{Weighted}$: پاسخ وزنی CRFs. N : تعداد پروژه‌های فراخوانده شده، D_k : بعد پروژه از k امین پروژه فراخوانده شده، CRF_k : CRF مربوط به k امین پروژه فراخوانده شده.

با تعیین واریانس طبق روابط ۵ و ۶، می‌توان دقت پاسخ‌های بالا را محاسبه کرد [۳].

$$Var_{CRF-Non-Weighted} = \frac{\sum_{k=1}^N (CRF_k - CRF_{Non-Weighted})^2}{N - 1} \quad (۵)$$

$$Var_{CRF-Weighted} = \frac{\sum_{k=1}^N (1 - D_k) \cdot (CRF_k - CRF_{Weighted})^2}{\sum_{k=1}^N (1 - D_k) \cdot (N - 1)} \quad (۶)$$

$Var_{CRF-Non-Weighted}$: واریانس پاسخ غیروزی، $Var_{CRF-Weighted}$: واریانس پاسخ وزنی.

پاسخ‌های وزنی برای محاسبه اهمیت کیفی و اهمیت پروژه تهیه می‌شود. بطوریکه پاسخ‌های بدست‌آمده از پروژه‌هایی که بعد پروژه کمتری دارند (کیفیت بالا و اهمیت بیشتر) وزن بیشتری خواهند داشت و همینطور بالعکس.

اعتبار سیستم ISECR

برای اعتبارسنجی نتایج تولید شده بوسیله سیستم ISECR، ضرایب کاهش تصادف پیش‌بینی‌شده بوسیله سیستم ISECR با نتایج بدست آمده از ۱۰ طرح بهبود ایمنی راه مقایسه شده است. این اقدامات جهت بهبود ایمنی راه بوده و بطور تصادفی از میان اقدامات لحاظ شده در سیستم ISECR انتخاب شدند. برای این مقایسه از بخش‌های مهم مربوط به چهار مرجع که اخیراً به چاپ رسیده، استفاده شده است که شامل این موارد می‌شوند: Tamburri and Smith (1971), McFarland et al. (1978), Terry & Watson (1982) و Creasey and Agent (1985) [۴، ۵، ۶، ۷]. شایان ذکر است که برای انجام مقایسه، این چهار مطالعه از پایگاه اطلاعات خارج شدند.

تحلیل‌های مقایسه‌ای نشان دادند که بین نتایج تحقیقات صورت‌گرفته و نتایج تولیدشده در سیستم ISECR مطابقت کلی وجود دارد. هنگامی که حجم بالایی از مطالعات برای لحاظ کردن اقدامات خاص در دسترس وجود دارند، در برآورد میزان کاهش تصادفات، پیش‌بینی‌های سیستم ISECR با اعتبارتر است. البته برای انجام مطالعات آتی بسیار مهم است که نتایج مطالعات ارزیابی جدید وارد پایگاه اطلاعات سیستم ISECR شوند تا این پایگاه ارتقا پیدا کرده

و موجب افزایش اعتمادپذیری نسبت به نتایج سیستم گردند. اما در مورد بعضی اقدامات ضروری است که تعداد مطالعات در پایگاه داده‌ها محدود شوند. با این حال، برای اکثر اقدامات تعیین‌شده در پایگاه اطلاعات، سیستم ISECR نتایج معتبری ارائه می‌کند.

کاربردهای سیستم ISECR

کاهش در تعداد تصادفات پیش‌بینی‌شده

مزایای بهبود ایمنی راه را با کاهش تعداد تصادفات مورد انتظار می‌توان نشان داد. این مزایا با تعیین ضریب کاهش تصادفات CRF و تعداد تصادفات پیش‌بینی‌شده، تعیین می‌شود. سیستم ISECR با محاسبه ضرایب کاهش تصادفات، سطح پروژه را تعیین کرده و همچنین در تعیین عوامل ناشناخته در تصادفات نیز بکار می‌رود. با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی تصادفات برای منطقه مورد نظر، تعداد تصادفات پیش‌بینی‌شده N و واریانس آن تعیین می‌شود [۸،۹]. با در اختیار داشتن مقادیر تعداد تصادفات پیش‌بینی‌شده N ، مقدار ضریب کاهش تصادفات CRF و واریانس مربوط به هر یک از آنها، می‌توان تعداد کاهش تصادفات پیش‌بینی‌شده $E(Z)$ و واریانس مربوط به آن $Var(Z)$ را با استفاده از روابط ۷ و ۸ محاسبه کرد [۸].

$$E(Z) = N.CRF \quad (7)$$

$$Var(Z) = N^2.Var_{CRF} + CRF^2.Var_N \quad (8)$$

تحلیل‌های اقتصادی

روش‌های متعددی برای ارزیابی هزینه‌های اقتصادی بهبود ایمنی راه وجود دارد. یکی از پرکاربردترین روش‌های ارزیابی، نسبت سود به هزینه BCR^۱ می‌باشد که با محاسبه نسبت بین ارزش فعلی منافع به ارزش فعلی هزینه‌های اقدامات تعیین می‌شود. اقدامات بهبودی که دارای BCR بیشتر از ۱ هستند، دارای مزایای اقتصادی هستند. با استفاده از مقدار پیش‌بینی‌شده و واریانس مربوط به کاهش تصادفات Z که قبلاً تعیین شده است، عوامل ناشناخته مربوط به BCR را می‌توان محاسبه کرد. مقدار پیش‌بینی‌شده BCR برای اقدامات صورت‌گرفته را می‌توان از رابطه ۹ تعیین کرد [۸].

$$E(BCR) = \frac{(Col.Cost).(P/A, i, t)}{Cost_{implementation}}.E(Z) = k.E(Z) \quad (9)$$

$E(BCR)$: مقدار پیش‌بینی شده CBR، میانگین هزینه تصادفات، t : دوره بازگشت سرمایه(سال)، i : نرخ تنزیل یا بهره، $(P/A, i, t)$: فاکتور ارزش فعلی با دوره بازگشت سرمایه و نرخ تنزیل معین. با فرض اینکه در رابطه ۱۰ تنها متغییر تصادفی، Z می‌باشد (k مقداری ثابت است)، پس واریانس BCR با رابطه ۱۰ قابل بیان است.

$$Var(BCR) = k^2.Var(Z) \quad (10)$$

با استفاده از مقدار پیش‌بینی‌شده و واریانس مربوط به ضریب کاهش تصادفات، تابع چگالی احتمال^۲ ضریب کاهش تصادفات را می‌توان بدست آورد. برای مدل‌سازی نسبت سود به هزینه می‌توان از توزیع‌های آماری متعددی کمک گرفت، از جمله توزیع نرمال، بتا و گاما. در این مقاله برای مدل‌سازی نسبت سود به هزینه از تابع توزیع بتا استفاده شده است. تابع توزیع گاما برای مدل‌سازی متغییرهای تصادفی پیوسته مناسب بوده و شکل‌های متنوع زیادی را می‌تواند ارائه کند [۱۰]. پارامترهای توزیع گاما که شامل α, β می‌شود و تابع چگالی احتمال BCR از روابط ۱۱ و ۱۲ محاسبه می‌شوند [۱۰].

$$\beta = \frac{E(BCR)}{Var(BCR)}, \quad \alpha = E(BCR).\beta \quad (11)$$

$$f(BCR; \alpha, \beta) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)}(BCR)^{\alpha-1}.e^{(-\beta.(BCR))} \quad (12)$$

α, β : پارامترهای توزیع گاما، $f(BCR; \alpha, \beta)$: تابع چگالی احتمال BCR. پس از آنکه تابع چگالی احتمال BCR تعیین شد، می‌توان تابع توزیع تجمعی آنرا از رابطه ۱۳ بدست آورد [۱۰].

$$F(BCR; \alpha, \beta) = \int_0^1 f(BCR; \alpha, \beta).d(BCR) \quad (13)$$

$F(BCR; \alpha, \beta)$: تابع توزیع تجمعی BCR.

¹ Benefit-Cost Ratio

² Probability Density Function

با رسم تابع توزیع تجمعی برای اقدامات ارتقای ایمنی راه، می‌توان احتمال دستیابی به BCR خاص را تعیین کرد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی شد تا نحوه عملکرد سیستمی که تحت عنوان "سیستم اطلاعات برای محاسبه کاهش تصادفات ISECR" شناخته می‌شود، بررسی شود. سیستم ISECR یک پایگاه آماری ضابطه‌مند و هوشمند است که برای انواع اقدامات بهبود ایمنی راه، میزان و کیفیت درصد کاهش تصادفات را مشخص می‌کند. با استفاده از روش استدلال مبتنی بر موقعیت، سیستم ISECR به کاربران اجازه می‌دهد تا نسبت به فراخوانی اطلاعات سیستم برای پروژه‌هایی که تا حدودی مشابه موقعیت مورد مطالعه هستند، اقدام شود. این پروژه‌ها بر اساس کیفیت توزین می‌شوند. سپس سیستم، پاسخ‌های پروژه‌های فراخوانده‌شده را برای محاسبه دامنه و میزان اعتمادپذیری مربوط به اثربخشی بهبود ایمنی راه، تعیین می‌کند. با استفاده از خروجی سیستم ISECR می‌توان تعداد کاهش تصادف پیش‌بینی‌شده و عوامل ناشناخته آمیخته با آن را برای اقدامات خاص بهبود ایمنی راه تعیین کرد. این نتایج را می‌توان در تعیین احتمال دستیابی به نسبت سود به هزینه خاص برای هر یک از اقدامات بهبود ایمنی راه خاص، بکار برد. با استفاده از سیستم ISECR و انجام مراحل تشریح‌شده در این مقاله، می‌توان اعتمادپذیری و اتفاق نظر نسبت به مزایای پیش‌بینی‌شده اقدامات بهبود ایمنی راهها را افزایش داد. این سیستم برای انجام مقایسه مناسب بین پاسخ‌های بدست‌آمده از سیستم ISECR با پاسخ‌های بدست‌آمده از پروژه‌های واقعی، بایستی تعداد مناسبی از مطالعات گذشته از پایگاه اطلاعات فراخوانده شود. همچنین برای بهبود پایگاه اطلاعاتی سیستم ISECR لازمست تا متخصصان و کاربران سیستم، نسبت به اعتبارسنجی و تحلیل اطلاعات گردآوری‌شده از تحقیقات گذشته اقدام نمایند.

مراجع

1. Yeh, I. C. (1997) Case-based approaches for preliminary design of steel building frames. *Microcomput. Civ. Eng.*, 12, pp. 327–337.
2. Elvik, R. (1995) *Meta-analysis of evaluations of public lighting as accident countermeasure*. Transportation Research Record 1485, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 112–123.
3. Elvik, R. (1996) *Evaluations of road accident blackspot treatment: a case of the iron law of evaluation studies?*, *Accid. Anal Prev.*, pp. 685–694.
4. Tamburri, T. N., and Smith, R. N. (1971) *The safety index: a method of evaluating and rating safety benefits*. Highway Research Record 332, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 28–43.
5. McFarland, W. F., Griffin, L. I., Rollins, J. B., Stockton, W. R., Phillips, D. T., and Dudek, C. L. (1978) *Assessment of techniques for cost-effective of highway accident countermeasures*. Rep. No. FHWARD-79-53, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
6. Terry, D. A., and Watson, J. E. (1982) *Post-implementation evaluation system methodology and output*. Traffic and Safety Division, New York State Department of Transportation.
7. Creasey, T., and Agent, K. R. (1985) *Development of accident reduction factors*. Research Rep. No. UKTRP-85-6, Kentucky Transportation Cabinet, Federal Highway Administration, Lexington, Ky.
8. Hauer, E. (1992) *Empirical Bayes approach to the estimation of "unsafety": the multivariate regression method.* *Accid. Anal Prev.*, pp. 457–477.
9. Sayed, T., and Rodriguez, F. (1999) *Accident prediction models for urban unsignalized intersections in British Columbia*. Transportation Research Record 1665, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 93–99.
10. Bury, K. V. (1999) *Statistical distributions in engineering*. Cambridge University Press, New York.