ارتقای الگوریتم تخصیص بهینه منابع در پروژه‌های 3R

اسماعیل آیتی، استاد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
حمیدرضا بهنود، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
E-mail: esmaeel@ayati.co.uk

چکیده

در سال ۲۰۰۳، در گزارش NCHRP 486 مرکز تحقیقاتی TRB روندی برای تخصیص منابع در پروژه‌های روکشی، بازسازی و بازیابی (3R) ارایه شد که نرم افزار RSRAP به منظور اجرای این روند طراحی شده بود.

در تحقیق حاضر ضمن معرفی روند مزبور، آثار دیگری از پروژه‌های 3R که می‌توان به دنبال اجرای این گونه طرح‌ها مشاهده کرد، مورد بررسی قرار گرفته است. این آثار شامل کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه، توسعه اقتصادی کاربری‌های اطراف راه و آثار زیست‌محیطی می‌شود. علاوه بر آن در این تحقیق، کلیه مراحل موجود در فرآیند گذشته مورد بازنگری قرار گرفته است و از مهم‌ترین آنها می‌توان به محاسبه افزایش سرعت وسایل نقلیه ناشی از اجرای پروژه‌های 3R اشاره کرد که در اینجا افزایش سرعت ناشی از اصلاح مشخصات هندسی نیز در کنار اثر ناشی از بهبود سطح رویه مورد بررسی قرار گرفته است. این امر منجر به ارایه محاسبه جدیدی از زمان کاهش یافته شده است. علاوه بر این موارد، تأثیر اصلاح قوس‌های قائم و پل‌های کم عرض و نصب بازتاب‌های میانی در قوس‌های افقی بر میزان تصادفات، که در مطالعات TRB به آن توجهی نشده بود، در کنار سایر مشخصه‌های هندسی پیشین مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت روند ده مرحله‌ای ارایه شده در گزارش NCHRP 486 به فرآیندی چهارده مرحله‌ای جهت بهینه‌سازی فعالیت‌های بهسازی و ایمن‌سازی در پروژه‌های 3R و تخصیص منابع در این‌گونه پروژه‌ها تبدیل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پروژه‌های 3R، تخصیص منابع، ایمنی، ضرایب AMF، زمان سفر، هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه، توسعه اقتصادی، آثار زیست‌محیطی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱. مقدمه

بسیاری از پروژه‌های ایمن‌سازی، اصلاح جزییاتی از راه، بدون نیاز به بازسازی کامل راه و با صرف هزینه‌هایی بسیار کمتر از هزینه‌های بازسازی را در بر می‌گیرد، به طوری که با همین اصلاحات جزیی قسمت عمده‌ای از ایمنی راه تأمین می‌شود. هنگامی‌که قطعه‌ای از راه نیاز به روکش آسفالت پیدا می‌کند، بدون توجه به آثار این روکش بر افزایش سرعت وسایل نقلیه و در نتیجه میزان ایمنی آن قطعه از راه و همچنین بدون توجه به نیاز به همراهی اصلاحات هندسی در پروژه‌های روکشی، در اکثر مواقع صرفاً اقدام به اصلاح رویه با لایه‌ای از آسفالت و نهایتاً خط‌کشی مجدد رویه می‌شود. حال آن که با اصلاح آگاهانه عناصری از طرح هندسی مقاطع عرضی، کناره‌های راه و سایر پارامترها، با کم کردن هزینه‌های ناشی از تصادفات می‌توان به نرخ بازگشت قابل توجهی دست یافت.

با معرفی پروژه‌های روکشی، بازسازی و بازیابی (3R)[1] در ایالات متحده آمریکا در دهه ۱۹۷۰ میلادی، این مطلب شکل منسجم‌تری به خود گرفت و با تصویب کنگره این کشور مبنی بر الزام تخصیص اعتبارات فدرال به این پروژه‌ها اهداف زیر دنبال شد [۱]:

- انتخاب و تعیین آن دسته از اصلاحات در راه‌های موجود که بیشترین بازگشت سرمایه را در ازای صرف هزینه‌ها به دنبال دارد.

*تاریخ دریافت: ۸۵/۷/۲۴ - تاریخ پذیرش: ۸۶/۸/۶

- تعیین روند کلی انتخاب، طراحی و ساخت پروژه‌های 3R به
- طوری که بیشترین بهره را از فرصت‌های نهفته در اصلاحات ایمنی به دست آورد،
- تعیین میزان اعتباری که باید برای پروژه‌های روکشی و سایر تعمیرات رویه صرف شود تا عمر بهره برداری از راه‌های موجود را حفظ کرده و گسترش دهد.

در این راستا الگوریتمی برای پیگیری روند تخصیص منابع طراحی شده است که هدف آن ارایه امکان بیشتر به سازمانهای تصمیم‌گیرنده برای بیشینه کردن هزینه کارآیی اعتبارات اختصاص یافته به پروژه‌های 3R از طریق بهبود سطح ایمنی در تاسیسات غیرآزادراهی، ضمن حفظ پیوستگی سازه‌ای و کیفیت عبور روسازی راه‌هاست. به این منظور نرم‌افزار RSRAP[۲] جهت اجرای الگوریتم تخصیص منابع یادشده تهیه شده است.

۲. مروری بر مطالعات گذشته

در این بخش عنوان برخی از مراجعی ارایه شده است که در آنها به مباحث آثار اصلاحات هندسی بر ایمنی، آثار روکشی راه بر ایمنی، آثار ترافیکی پروژه‌های ایمن‌سازی و چگونگی تخصیص اعتبارات به منظور بهینه ساختن پروژه‌های ایمن‌سازی و ارتقاء کیفیت راه پرداخته شده است. برخی از این مراجع به عنوان خط‌مشی اصلی و یا مکمل تحقیقات در مطالعه حاضر مورد استفاده قرار گرفته است.

- **گزارش ویژه TRB214** : طراحی راه‌های ایمن‌تر [۱]

این گزارش که در سال ۱۹۸۷ توسط انجمن تحقیقات حمل‌ونقل (TRB)[۳] ایالات متحده آمریکا انتشار یافت، اولین مرجع جامعی است که تمامی اطلاعات موجود در آن زمان در زمینه پروژه‌های روکشی، بازسازی و بازیابی (3R) را گردآوری کرده و ملاک عمل فعالیت‌های بعدی در این زمینه قرار گرفته بود.

- **گزارش NCHRP486[۴] (TRB)**: اثر گسترده تصمیم‌گیری‌های طراحی ایمنی و ترافیکی در پروژه‌های 3R [۲]

دیدگاه اصلی تحقیق حاضر از این مرجع گرفته شده است و نتایج آن شکل تکمیل یافته و در عین حال خلاصه‌تری از آن است. با انتشار گزارش NCHRP 486 در سال ۲۰۰۳ در کنار ارایه معیارهای مورد نظر در پروژه‌های 3R، روش‌های تحلیل منفعت ـ هزینه و برنامه‌ریزی عدد صحیح معرفی شدند که این دو روش ساختار روند تخصیص منابع در این نوع پروژه‌ها را تشکیل می‌دهد.

- **گزارش FHWA –RD–99–207[۵]**: پیش بینی رفتار ایمنی مورد انتظار در راه‌های دو خطه برون‌شهری [۳]

این گزارش الگوریتمی را برای پیش‌بینی رفتار ایمنی راه‌های دوخطه برون‌شهری ارایه می‌دهد که اساس مدول پیش‌بینی تصادف را در مدل طراحی متعامل ایمنی راه (IHSDM)[۶] تشکیل می‌دهد. این الگوریتم اثر رفتار ایمنی پارامترهای یک قطعه از راه یا یک تقاطع را ارزیابی می‌کند.

۳. اهداف و چارچوب‌ها

در تحقیق حاضر برآنیم تا با ارایه پارامترهای دقیق و معتبر، جهت هرچه کامل‌تر کردن تحلیل منفعت- هزینه و تکمیل و ویرایش آثار اصلاح هندسی راه، روند تخصیص منابع موجود را گسترش دهیم و برای ایجاد زمینه کاربرد در ایران، تغییرات و ویرایش‌های لازم را در اقلام سود و هزینه اعمال کنیم. به این‌ترتیب، اهداف این پژوهش به شرح زیر بیان می‌شود:

- تعیین سایر سودها و هزینه‌های احتمالی ناشی از انجام پروژه‌های روکشی، بازسازی و بازیابی (3R) و ارتقای اعتبار مقدار سود خالص هر یک از راهکارها و گزینه‌های اصلاحی جهت مقایسه با یکدیگر در تحلیل منفعت – هزینه.
- در نظر گرفتن هزینه‌های ساخت، ارزش ریالی زمان، سود ایمنی تصادفات کاهش یافته و سایر اقلام سود و هزینه بر حسب شرایط موجود در ایران.
- افزودن سایر اصلاحات هندسی راه و برآورد آثار آنها بر ایمنی معابر و تقاطع‌ها و ویرایش کلیه روابط موجود در تعیین اصلاحات هندسی بر ایمنی.

فرآیند تخصیص منابع در این مطالعه برای سایت‌های متعدد از پیش انتخاب شده در نظرگرفته می‌شود. از این‌رو، با توجه به این که هدف از این تحقیق «تخصیص بهینه منابع» است، در هر سایت باید یک و فقط یک راهکار از بین چند راهکار پیشنهادی انتخاب شود. به این‌ترتیب، بحث مورد نظر با بحث «اولویت‌بندی» که هدف آن چیدن و اولویت‌بندی سایت‌ها بر حسب نیاز به اعتباردهی است تفاوت اساسی دارد. در اینجا بودجه مشخصی را که از جانب دولت در اختیار سازمان مسئول قرار گرفته است بین تمامی سایت‌ها به نحوی توزیع می‌کنیم که:

- با استفاده از سهم تعلق گرفته به هر سایت، بهترین اصلاحات

ممکن در چارچوب یک راهکار برتر از بین چند راهکار انتخاب شود، به طوری که بهترین سود خالص را نتیجه دهد و در نهایت مجموع سودهای خالص در تمامی سایت‌ها به حداکثر مقدار خود برسد،

- مجموع هزینه‌های اجرای راهکارهای انتخاب شده در تمامی سایت‌ها از بودجه کل بیشتر نشود.

در این تحقیق علاوه بر تحلیل اقتصادی منفعت – هزینه برای یافتن سود خالص هر راهکار، از تحلیل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح برای یافتن «راهکار برتر» در هر سایت استفاده می‌شود.

٤. الگوریتم تخصیص منابع

با شناسایی منافع و هزینه‌هایی که می‌توان در پروژه‌های 3R مشاهده کرد و همچنین گنجاندن این آثار در چارچوب تحلیل منفعت- هزینه، این نوع تحلیل با رویکردهای تصمیم‌گیری گوناگون به عنوان مبنای ارزیابی اقتصادی در فرآیند تخصیص منابع مورد نظر گنجانده می‌شود و گزینه‌هایی برای ارایه بهترین راهکار ممکن در بهسازی 3R یک قطعه راه مشخص جستجو می‌شود. در این تحقیق ویرایش جدیدی از فرآیند تخصیص منابع ارایه شده در گزارش NCHRP 486 [2] مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به یادآوری است که در گزارش یادشده صرفاً به تأثیر پروژه‌های 3R بر ایمنی و کاهش زمان سفر پرداخته شده بود، در حالی که در تحقیق حاضر آثار هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه و تا حدی آثار توسعه اقتصادی و آثار زیست‌محیطی ناشی از پروژه‌های 3R نیز در ارزیابی اقتصادی و در پی آن فرآیند تخصیص منابع گنجانده می‌شود. همچنین در آثار ایمنی و زمان سفر نیز اصلاحاتی به‌عمل آمده‌است.

٥. بازنگری مراحل موجود در الگوریتم ارایه شده در گزارش NCHRP 486

نتیجه فرآیند ارایه شده در گزارش NCHRP 486، تعیین راهکار بهسازی برای هر مقطع از راه است که از این طریق حداکثر سود خالص به دست می‌آید، به طوری که از بودجه موجود تجاوز نکند. پیگیری این روند مستلزم شناسایی برترین اولویت بهسازی است که در طی دوره ساخت بعدی باید به اجرا درآید. ساختار این فرآیند طوری تنظیم شده است که بتوان آن را در دو قالب متفاوت مورد استفاده قرار داد. این دو روش شامل موارد زیر می‌شود [۲]:

گزینه ۱- بهینه‌سازی اصلاحات ایمنی: هدف از این گزینه انتخاب آن دسته از اصلاحات ایمنی و ترافیکی است که باید در مجموعه مشخصی از موقعیت‌ها به اجرا درآمده و پیش از این در آنها برنامه‌ریزی برای انجام روکش آسفالت در یک سال خاص صورت پذیرفته باشد. این گزینه برای سازمانی مناسب است که اعتبارات مربوط به اصلاحات ایمنی را جدا از اعتبارات روکش آسفالت تخصیص می‌دهد و میل به بیشینه کردن منافع خالصی دارد که از اجرای آن اصلاحات هندسی حاصل می‌شود.

گزینه ۲- بهینه‌سازی هر دو اصلاحات روکشی و ایمنی: هدف این گزینه انتخاب راهکار در پروژه‌هایی است که در آنها هنوز هیچ تصمیمی برای روکش کردن آسفالت اتخاذ نشده است. در این گزینه ضمن تصمیم‌گیری برای انجام روکش آسفالت، تصمیماتی برای انتخاب اصلاحات هندسی برای به حداکثررساندن سود خالص از این انتخاب نیز گرفته می‌شود.

فرآیند تخصیص منابع پروژه‌های 3R که در گزارش مزبور معرفی شده است مراحل دهگانه زیر را در بر می‌گیرد که در هر مرحله، تغییرات و بازنگری‌های انجام شده در این تحقیق شرح داده می‌شود.

٥-١ گام ١: شناسایی سایت‌های مورد نظر

برای این که روند یادشده را تا حد ممکن آسان سازیم، بهترین حالت این است که هر مقطع مورد نظر از راه از نظر نوع منطقه، متوسط ترافیک سالانه (ADT) و هندسه مقطع عرضی، همگن بوده و تنها تغییراتی جزیی در مقطع یک قطعه از راه می‌تواند قابل قبول باشد. در عین حال، هرجا که زیرقطعه‌های معینی با مقاطع عرضی متفاوت وجود داشته باشد، معمولاً تقسیم آنها به سایت‌های جداگانه حالت مطلوب‌تری دارد. حدود سایت نیز باید بر اساس ملاحظات نوع و شرایط روسازی تعیین شود که به این ترتیب می‌توان تمهیدات متفاوت روکشی را گوشزد کرد. این فرآیند فقط تاسیسات غیرآزادراهی را در بر می‌گیرد.

٥-٢ گام ٢: شناسایی راهکارهای بهسازی موردنظر

گام بعدی در این روند عبارت از تعریف مجموعه‌ای از راهکارهای اصلاحی است که باید برای هر سایت مورد توجه قرار گیرد. اصلاحات برگزیده، بسته به شرایط موجود در سایت، از سایتی به سایت دیگر تغییر می‌کند. هدف از این گام در این

فرآیند در نظر گرفتن تمام راهکارهایی است که می‌تواند به طور بالقوه صحیح‌ترین اصلاح در سایت باشد، به گونه‌ای که حتی‌الامکان جامع بوده و در عین حال در چارچوب پروژه‌های واجد شرایط برای منبع اعتباری مورد نظر قرار گیرد.

۵-۳ گام ۳: تبدیل هزینه‌ها و منافع آینده به ارزش‌های فعلی

تمامی هزینه‌ها و سودهای موجود در روند بهینه‌سازی برای مقایسه به ارزش‌های فعلی خود تبدیل می‌شود. هزینه‌ها و سودها در سال خاصی از آینده با استفاده از ضریب ارزش فعلی تک مقداری به مقادیر فعلی خود کاهش می‌یابد:

$$(P/F, i, n) = \frac{1}{(1+i)^n} \qquad (۱)$$

به طوری که:

(P/F, i, n) = فاکتور ارزش فعلی تک مقداری برای تبدیل مقداری در سالی مشخص از آینده به ارزش فعلی خود،

i = نرخ تنزیل،

n = تعداد سال‌ها تا زمانی که مقدار مورد نظر پرداخت یا دریافت می‌شود.

سودها و هزینه‌های آینده‌ای که به طور سالیانه در طول عمر بهره‌برداری عملیات اصلاحی روی می‌دهد، توسط ضریب ارزش فعلی سری‌های یکنواخت به ارزش فعلی خود تبدیل می‌شود:

$$(P/A, i, n) = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \qquad (۲)$$

به طوری که:

(P/A, i, n) = فاکتور ارزش فعلی سری‌های یکنواخت جهت تبدیل مجموعه‌هایی از مقادیر یکنواخت سالانه به ارزش حاضرشان،

n = تعداد سال‌هایی که مقادیر یادشده طی آن پرداخت می‌شود.

با توجه به مبنا بودن سال ۱۳۸۳ برای انجام تحلیل‌های اقتصادی در این تحقیق، جهت تعیین نرخ تنزیل، از میانگین نرخ سود مورد انتظار تسهیلات بانک‌های دولتی و غیردولتی در سال ۱۳۸۳ استفاده شده است [٤] و نرخی معادل ۲۱ درصد به دست آمده است. همچنین با حذف اثر تورم ۱۳ درصدی در این سال، نرخ بهره تورم‌زدایی‌شده‌درایران به اندازه ۷/۰۸ درصد به دست می‌آید:

$$(1+i) = (1+i')(1+f) \qquad (۳)$$
$$1.21 = (1+i') \times (1.13)$$
$$i' = 0.0708 = \%7.08$$

تعداد سال‌ها، تا پرداخت یا دریافت مقادیر نیز عمر تأثیر بهسازی‌های ایمنی را نشان می‌دهد و نباید آن را با عمر بهره‌برداری روسازی اشتباه گرفت.

۵-٤ گام ٤: برآورد هزینه ساخت هر راهکار اصلاحی (CC)

هزینه‌های ساخت، هزینه‌های موجود در آغاز دوره تحلیل را نشان می‌دهد، از این رو نیازی به تبدیل آنها به ارزش فعلی وجود ندارد. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های تعریض خط و شانه، روکشی، بازسازی کامل، روکش آسفالت، هزینه اصلاحات هندسی و ترکیبی از این موارد است. معادلات مخصوص هزینه‌های ساخت بر اساس نوع عملیات اصلاحی مورد نظر تشکیل می‌شود.

۵-۵ گام ۵: برآورد منافع ایمنی برای هر راهکار اصلاحی (PSB)

برآورد منافع ایمنی با علامت PSB[۹]، برای هر راهکار اصلاحی مورد نظر در هر سایت در این روند تخصیص منابع تعیین شده است. روش‌های پیش‌فرض در گزارش NCHRP 486 [۲] برای مجموعه‌ای از جوانب بهسازی شامل موارد زیر ارایه شده است:

- تعریض خطوط،
- تعریض شانه‌ها،
- روسازی شانه‌ها،
- ایجاد خطوط گردشی چپگرد در تقاطع‌ها،
- ایجاد خطوط گردشی راستگرد در تقاطع‌ها،
- ایجاد تغییرات جزیی در قرارگیری افقی به منظور افزایش شعاع قوس،
- ارتقای شرایط کناره راه.

مشخصه‌های هندسی که در تحقیق حاضر به موارد فوق افزوده می‌شود نیز شامل فعالیت‌های زیر است:

- بهسازی قوس‌های قائم،
- بهسازی پل‌های کم عرض،
- نصب بازتاب‌های برجسته میانی.

کاهش‌های مورد انتظار در درصد تصادفات که با عنوان ضرایب

تصحیح تصادف (AMF)[10] نیز شناخته می‌شود، برای هر رویکرد اصلاحی فوق، برای راه‌های برون‌شهری، درون‌شهری، دوخطه و چندخطه قابل دستیابی است. آثار جزء به جزء ایمنی حاصل از عناصر خاص طرح هندسی و کنترل ترافیکی توسط ضرایب AMF مشخص می‌شود. ضریب AMF مربوط به مقدار اسمی یا پایه هر جلوه از طرح هندسی یا کنترل ترافیکی دارای ارزشی معادل ۱/۰ است. هر جلوه‌ای که با رویارویی با تصادفات بیشتری نسبت به شرایط اسمی یا پایه همراه باشد دارای ضریب AMF بالاتر از ۱/۰ و هر جلوه‌ای که با رویارویی با تصادفات کمتری نسبت به شرایط اسمی یا پایه همراه باشد دارای ضریب AMF کمتر از ۱/۰ خواهد بود [۲ و۳].

در گزارش NCHRP 486 [2] ضرایب AMF مربوط به تعریض خطوط تردد، تعریض و تغییر نوع شانه، اصلاح قوس‌های افقی، اصلاح کناره‌های راه و اصلاح تقاطع‌های هم‌سطح موردبررسی قرار گرفته است. در تحقیق حاضر ضرایب AMF مربوط به مشخصه‌های دیگری از راه ارایه می‌شود که شامل اصلاح قوس‌های قائم گنبدی، پل‌های کم‌عرض و نصب بازتاب‌های برجسته میانی می‌شود. در ادامه، ضرایب AMF جدید ارایه شده در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۵-۵-۱ ضرایب AMF ارایه شده در این تحقیق

در این بخش، ضرایب AMF برای آن دسته از مشخصه‌های هندسی مورد بررسی قرار می‌گیرد که در گذشته بررسی نشده و در چارچوب تخصیص منابع پروژه‌های 3R گنجانده نشده بود. این مشخصه‌ها شامل قوس‌های قائم گنبدی، پل‌های کم‌عرض و بازتاب‌های برجسته میانی می‌شود که دراین تحقیق به عنوان امکاناتی جدید به روند تخصیص منابع اضافه می‌شود.

- **قوس‌های قائم**

شرایط اسمی یا پایه برای قرارگیری قائم شامل قطعه راهی بدون قوس قائم فرض می‌شود. ضریب AMF مربوط به یک قوس قائم می‌تواند رفتاری را نشان دهد که در آن تفاوت میزان تصادفات با شرایط عدم حضور هیچ‌گونه قوس قائمی نشان داده می‌شود. این ضریب AMF کلیه انواع تصادفات یک قطعه راه را نشان می‌دهد.

روند ارایه شده در این تحقیق جهت محاسبه AMF مربوط به قوس‌های قائم گنبدی به صورت زیر خلاصه می‌شود [۵]:

$$AMF_6 = (\frac{L_r}{L_{vc}}).F_{ar} + 1 \quad (٤)$$

$$L_r = SSD_{nec} - SSD_{ex} \quad (٥)$$

$$SSD_{nec} = 0.0163S^2 + 0.401S + 2.9 \quad (٦)$$

$$SSD_{ex} \le L_{vc} : SSD_{ex} = \sqrt{\frac{404L_{vc}}{A}} \quad (٧)$$

$$SSD_{ex} > L_{vc} : SSD_{ex} = \frac{1}{2}(L_{vc} + \frac{404}{A}) \quad (٨)$$

که در روابط فوق:

SSD_{nec}= مسافت دید توقف لازم (متر)

SSD_{ex}= مسافت دید توقف موجود (متر)

S= سرعت عملکردی موجود در قوس (کیلومتر بر ساعت)

L_{vc}= طول قوس قائم موجود (متر)

A= اختلاف جبری شیب‌های طولی دوطرف قوس (درصد)

L_r= طول محدودیت دید در قوس قائم (متر)

F_{ar}= ضریب نرخ تصادف

AMF_6= ضریب تصحیح تصادف برای قوس قائم گنبدی

- **پل‌های کم‌عرض**

یکی از مشکلات بزرگ در اکثر راه‌های ایران که منجر به خطرات وحوادث بسیار سنگین می‌شود، اختلاف عرض پل با عرض سواره رو راه است و هرچه این اختلاف بیشتر باشد، احتمال بروز خطر بیشتر خواهد بود. پاره‌ای از عوامل مؤثر بر ایمنی پل‌ها شامل فاصله دید،حجم ترافیک، سرعت آمدوشد، وضعیت محیط و میزان تمرکز حواس رانندگان می‌شود. به طور کلی وضعیت ایمنی یک پل را می‌توان با شاخص ایمنی BSI[11] آن پل نشان داد که بررسی‌های به عمل آمده در مورد نحوه تعیین یا تعریف یک شاخص ایمنی برای یک پل منجر به رابطه زیر شده است. در این شاخص و براساس رابطه زیر مجموعاً ۱۰ ضریب مختلف مؤثر است [٦].

$$BSI = \sum_{i=1}^{10} F_i \quad (٩)$$

F_i = ضریب موثر در شاخص ایمنی پل

مناسب‌ترین شرایط در محل یک پل، منجر به مقدار ۹۵ برای این شاخص و پرخطرترین محل دارای مقدار کمتر از ۲۰ خواهدبود. در یکی از مطالعاتی که اخیراً صورت پذیرفته [۷] شاخص ایمنی BSI برای شرایط موجود در راه‌های ایران مورد بررسی قرار گرفته‌است. ضریب AMF ارایه شده در تحقیق حاضر با استفاده

از رویکردهای مورد اشاره در مطالعه مزبور به دست آمده است. برای پلی با مشخصات هندسی که منجر به شاخص ایمنی BSI می‌شود، ضریب AMF برابر خواهد بود با [۵]:

$$AMF_B = \frac{95}{BSI} \qquad (۱۳)$$

- **نصب بازتاب‌های برجسته میانی**

تأثیر ایمنی نصب بازتاب‌های برجسته میانی معمولاً در قوس‌های افقی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این تحقیق شرایط اسمی یا پایه برای بررسی این بازتاب‌ها، مسیری بدون حضور بازتاب‌های میانی پیشنهاد می‌شود.

تحلیل‌های انجام شده بر روی بازتاب‌های برجسته نشان داده است که در راه‌های غیرآزادراهی و دوخطه، نصب آنها جز در مورد قوس‌های با انحنای کم و حجم ترافیک بالا باعث ایجاد کاهش قابل‌توجهی در تصادفات شب‌هنگام نمی‌شود. همچنین، نتایج تحلیلی نشان داده اند که انتخاب موقعیت نصب این‌گونه بازتاب‌ها با ملاحظات دقیقی از حجم ترافیک و هندسه مسیر (درجه قوس) صورت می‌پذیرد. در واقع در مسیرهای کم‌تردد (که در آنها ترافیک متوسطه روزانه AADT کمتر از ۵۰۰۰ وسیله در روز است) نصب بازتاب می‌تواند آثاری منفی را به بار آورد که با حضور قوس‌های تیز این آثار تشدید می‌شود. جدول ۱ ضرایب AMF مربوط به نصب بازتاب‌های برجسته در قوس‌های افقی برای تصادفات شب هنگام را نشان می‌دهد [۸].

جدول ۱. ضرایب AMF برای تصادفات شبانه [۸]

AADT (veh/day)	AMF هنگامی که DOC* ≤ 3.5	AMF هنگامی که DOC > 3.5
۵۰۰۰-۰	۱/۱۶	۱/۴۳
۱۵۰۰۰-۵۰۰۱	۰/۹۹	۱/۲۶
۲۰۰۰۰-۱۵۰۰۱	۰/۷۶	۱/۰۳

* DOC = درجه قوس (Degree of Curvature)

در نهایت در صورتی که P_{na} نسبت تعداد تصادفات شبانه به کل تصادفات باشد، در این تحقیق ضریب AMF برای کل تصادفات یک قطعه راه مطابق رابطه زیر پیشنهاد می‌شود:

$$AMF_R = (AMF_{na} - 1.0)\, P_{na} + 1.0 \qquad (۱۰)$$

که در این رابطه:

AMF_R = ضریب تصحیح تصادف برای بازتاب‌های میانی نسبت به کل تصادفات

AMF_{na} = ضریب تصحیح تصادف برای بازتاب‌های میانی نسبت به تصادفات شبانه (جدول ۱)

P_{na} = نسبت تصادفات شبانه به کل تصادفات

۵-۵-۲ محاسبه منافع ایمنی PSB

ارزش فعلی منافع ایمنی برای هر راهکار اصلاحی به صورت زیر محاسبه می‌شود [۲]:

(۱۱)

$$PSB_{jk} = [\sum_{m=1}^{2}\sum_{s=1}^{3} N_{jm}(1 - AMF_{mk})\, RF_{ms}.AC_s](P/A, i, n)$$

به طوری که:

PSB_{jk} = ارزش فعلی منافع ایمنی برای راهکار k در سایت j،

N_{jm} = فراوانی تصادف سالانه مورد انتظار برای موقعیت نوع m در سایت j،

AMF_{mk} = ضریب تصحیح تصادف برای راهکار اصلاحی k در موقعیت نوع m که به صورت اعشاری بیان می‌شود،

RF_{ms} = نسبت کل تصادفات در سطح شدت s (فوتی، جرحی یا خسارتی) و موقعیت نوع m (تقاطعی یا غیرتقاطعی) (جدول ۲)

AC_s = مقدار هزینه‌های صرفه‌جویی شده در هر تصادف کاهش یافته برای شدت تصادف s،

(P/A, i, n) = ضریب ارزش فعلی سری‌های یکنواخت برای تبدیل مجموعه‌هایی از مقادیر یکنواخت سالانه به ارزش فعلی خود.

جدول ۲. توزیع پیش‌فرض سطح شدت تصادف برای استفاده در محاسبه سود PSB [۳]

سطح شدت تصادف	نسبت کل تصادفات	
	قطعات راه	تقاطع‌ها
فوتی	۱/۳	۱/۱
جرحی	۳۰/۸	۳۸/۶
فقط خسارتی	۶۷/۹	۶۰/۳

۵-۵-۳ هزینه تصادفات

در پژوهش حاضر، به دلیل دسترسی نداشتن به اطلاعات جدید پیرامون برآورد هزینه تصادفات، با تبعیت از رویکرد مورد استفاده در مرجع [۹] و باتوجه به مبنا بودن سال ۱۳۸۳ برای تعیین سودها و هزینه‌ها، و همچنین درنظرگرفتن نرخ تورم در بین سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۳ [۱۰] مقدار هزینه تصادفات جاده‌ای ایران در سال ۱۳۸۳ قابل محاسبه است.

در این جا می‌توان تغییرات هزینه درمان مجروحان و معلولیت‌های موقت و همچنین هزینه اوقات تلف شده را متناسب با تعداد مجروحان، تغییرات هزینه کشته‌شدگان و معلولیت‌های دائم و غم و غصه و جراحات روانی را متناسب با تعداد کشته‌شدگان و بالاخره تغییرات هزینه تجهیزات و ماشین آلات از بین رفته و خسارت‌دیده و همچنین تغییرات هزینه‌های اداری را متناسب با تعداد تصادفات دانست.

در این پژوهش با تحلیل اطلاعات مربوط به تلفات، جراحات و خسارت‌های جاده‌ای، هزینه متوسط هر سطح تصادف به شرح زیر به دست آمده است [۵]:

هزینه یک تصادف فوتی = AC_1 = میلیون ریال ۵۱۸۹/۱

هزینه یک تصادف جرحی = AC_2 = میلیون ریال ۲۷۳/۰

هزینه یک تصادف خسارتی = AC_3 = میلیون ریال ٤٦/٥

۵-٦ گام ٦: برآورد زیان ناشی از عدم روکشی راه (PNR)[12]

اگر روکشی قطعه‌ای از راه برای مدتی طولانی به تعویق بیفتد، این قطعه ممکن است به ایجاد لایه ضخیم‌تر (و گران‌تر) احتیاج پیدا کند. تعویق روکشی تا روی دادن گسیختگی ممکن است منجر به نیاز به تعویض کامل سازه روسازی تا سطح بستر شود. برای این که وزن مناسبی به نیاز برای روکشی در روند تخصیص منابع اختصاص دهیم، زیانی برای عدم روکشی (بر حسب ایجاد لایه روسازی در آینده یا هزینه‌های تعویض) به راهکار "هیچ کار" اختصاص می‌دهیم. این مقدار بر حسب وضعیت فعلی مقطع راه تغییر می‌کند. هرجا که وضعیت فعلی روسازی بدتر باشد این رقم نیز بیشتر می‌شود. زیان ناشی از عدم روکشی قطعه‌ای از راه برای تعداد سال‌های مشخص (هرگاه که به تعویض کامل نیاز داشته باشد) می‌تواند با استفاده از ارزش فعلی هزینه تعویض روسازی در آینده مشخص شود [2]:

(۱۲)

$$PNR_{jk} = \begin{cases} -a.RB_j & \text{برای راهکار هیچکار} \\ 0 & \text{برای سایر راهکارها} \end{cases}$$

به طوری که:

PNR_{jk} = ارزش فعلی عدم روکشی راهکار اصلاحی k در سایت j (هزینه تعویض روسازی در آینده)

RB_j = هزینه وارده برای تعویض کامل روسازی در سایت j،

a = ضریبی بر اساس تعداد سال‌ها تا گسیختگی روسازی (تعداد سال‌ها و مقادیر پیش فرض a در جدول ۳ ارایه شده است).

جدول ۳. ضریب a برای تعیین هزینه ناشی از عدم روکشی راه [٤]

تعداد سال‌ها تا خرابی کامل راه	مقادیر پیش‌فرض a
۱ سال یا کمتر	۱
۲ سال	۰/۸
۳ سال	۰/٦
٤ سال	۰/٤
٥ سال	۰/۲
٦ سال یا بیشتر	۰

۵-۷ گام ۷: برآورد زیان ایمنی برای هر راهکار بهسازی که شامل روکشی راه بدون اجرای اصلاحات هندسی می‌شود (PRP)[13]

تحقیق انجام یافته توسط‌هاور، تری و گریفیت [11] نشان داده است که روکش کردن یک راه باعث افزایش سرعت می‌شود که این به نوبه خود می‌تواند منجر به افزایش تصادفات شود، اما دارای دوره‌ای نسبتاً کوتاه است (۳۰ ماه برای تصادفات غیرتقاطعی و ۱۲ ماه برای تصادفات تقاطعی). زیان ناشی از این افزایش تصادفات توسط معادله (۱۳) بیان می‌شود.

(۱۷)

$$PRP_{jk} = \begin{cases} 0 & \text{برای انجام هیچ کار و راهکارهای با عرض خط بیش از ۳/۳۵ متر و عرض شانه بیش از ۱/۸ متر} \\ [0.21\sum_{s=1}^{3} Nj1.ACs + 0.35\sum_{s=1}^{3} Nj1.ACs](P/F,i,1) & \text{برای سایر راهکارها:} \\ +(0.21\sum_{s=1}^{3} ACs.Nj1)(P/F,i,2) & \\ +(0.105\sum_{s=1}^{3} ACs.Nj1)(P/F,i,3) & \end{cases}$$

به طوری که:

PRP_{jk}=ارزش فعلی زیان ایمنی کوتاه مدت برای روکشی بدون در نظر گرفتن اصلاحات ایمنی برای راهکار اصلاحی k در سایت j،

N_{jm} = فراوانی تصادفات سالانه مورد انتظار برای موقعیت نوع m در سایت j،

AC_s = هزینه‌های صرفه‌جویی شده در هر کاهش تصادف برای سطح شدت تصادف s (در تحقیقات گذشته دو سطح شدت فوتی- جرحی و خسارتی تعریف شده بود، اما در این تحقیق سه سطح جداگانه فوتی، جرحی و خسارتی تعریف می‌شود).

۵-۸ گام ۸: برآورد منافع حاصل از کاهش زمان سفر برای هر راهکار بهسازی (PTOB)[۱۴]

در پیگیری فرآیند تخصیص منابع می‌توان منافع ترافیکی حاصل از روکش و اصلاح هندسی قطعه‌ای از راه را مورد بررسی قرار داد. باتوجه به افزایش سرعت حاصل از راهکارهای مختلفی که برای هر سایت درنظرگرفته می‌شود، مقدار زمان صرفه‌جویی در زمان سفر را می‌توان به دست آورد. این افزایش سرعت با DS نشان داده می‌شود. طبق مطالعات انجام شده در گزارش NCHRP 486 [۲] در مسیری که در آن صرفاً به عملیات روکشی پرداخته می‌شود، این افزایش سرعت معادل ۱/٦ کیلومتربرساعت است که کاهش زمان سفر متناسب با همین افزایش سرعت خواهد بود. در این حالت سود به دست آمده از صرفه‌جویی در زمان سفر، بخشی از زیان و هزینه ناشی از افزایش تصادفات بر اثر عدم اجرای اصلاحات هندسی را خنثی می‌کند. اما اگر در همین مسیر ضمن انجام روکشی راه، مشخصات هندسی راه نیز اصلاح شود، علاوه بر سود ایمنی حاصل از کاهش تعداد تصادفات، شاهد سود ترافیکی حاصل از کاهش زمان سفر نیز هستیم و آشکار است که دراین حالت براثر افزایش سرعت بیشتر ناشی از تدابیر هندسی کاهش زمان سفر بیشتری هم نسبت به حالت قبل مشاهده می‌شود. در تحقیق حاضر افزایش سرعت ناشی از اصلاح مشخصه‌های هندسی راه نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت افزایش سرعت کل را می‌توان به صورت مجموع مقادیر افزایش ناشی از بهبود کیفیت سطح رویه (DS_r=1.6 km/h) و افزایش ناشی از اصلاح هندسی (DS_g) درنظر گرفت.

همچنین در این تحقیق، ارزش یک ساعت زمان سفر براساس درآمدهای سالانه خانوار در ایران مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این روش که برای تعیین زمان تلف‌شده بر اثر تصادفات جاده‌ای نیز به کار رفته‌است [۹]، ارزش یک ساعت زمان سفر به صورت درصدی از دستمزد ساعتی افراد محاسبه می‌شود، به طوری که این درصد براساس ماهیت سفر افراد سنجیده می‌شود. با توجه به این فرضیات، رقمی معادل ۲۲۲۵ ریال برای ارزش یک ساعت زمان سفر هر فرد در ایران به دست آمده است.

در نهایت، ارزش فعلی منافع حاصل از کاهش تأخیر و زمان سفر برای هر راهکار اصلاحی توسط رابطه زیر کمیت‌سازی می‌شود [۵]:

(۱٤)

$$PTOB_{jk} = \left[\frac{L\cdot\Delta S}{Speed\cdot(Speed+\Delta S)}\right]\times ADT\times 365\times TC\times c\times[(P/F,i,1)+(P/F,i,2)+0.5(P/F,i,3)]$$

در رابطه فوق:

$PTOB_{jk}$: ارزش فعلی منافع حاصل از کاهش زمان سفر برای راهکار اصلاحی k در سایت j (ریال)

Speed: سرعت متوسط فعلی وسایل نقلیه (کیلومتر بر ساعت)

L= طول پروژه (کیلومتر)

DS = مجموع افزایش سرعت ناشی از روکشی (۱/٦ کیلومتر بر ساعت) و اصلاح هندسی (DS_g) راه (کیلومتر بر ساعت)

ADT= تردد متوسط روزانه (وسیله در روز)

TC= ارزش یک ساعت زمان سفر صرفه‌جویی شده برای سرنشینان وسایل نقلیه (ریال بر ساعت) (مقدار پیش‌فرض در برنامه = ۲۲۲۵ ریال بر ساعت)

c= تعداد متوسط سرنشینان وسایل نقلیه

(P/F, i, 1) = فاکتور تبدیل ارزش زمان کاهش یافته در پایان سال اول به ارزش فعلی

(P/F, i, 2) = فاکتور تبدیل ارزش زمان کاهش یافته در پایان سال دوم به ارزش فعلی

0.5(P/F, i, 2) = فاکتور تبدیل ارزش زمان کاهش یافته در پایان سی ماه به ارزش فعلی

۵-۹ گام ۹: تعیین سود خالص برای هر راهکار بهسازی (NB)[۱۵]

گام بعدی در برآورد تخصیص منابع، تعیین منافع خالص برای هر راهکار اصلاحی در هر سایت است. فرمول‌بندی منافع خالص بستگی به گزینه‌های تحلیلی دارد که توسط کاربر انتخاب می‌شود. در واقع اهداف و سیاست‌هایی که در یک پروژه تخصیص مدنظر است، تعیین‌کننده نوع رویکردهایی است که در تحلیل منفعت ـ هزینه برای محاسبه سود خالص بکار می‌رود. در این تحقیق با حفظ چارچوب کلی روند تخصیص، سودها و هزینه‌هایی که در این بخش به عنوان آثار ازپیش منظور شده و در

بخش آتی به عنوان آثار جدید وارد شده در تحلیل منفعت- هزینه مورد بررسی قرار می‌گیرد و به منظور تعیین و محاسبه سود خالص هر راهکار اصلاحی با یکدیگر ترکیب می‌شود.

معالات سود خالص مورد استفاده برای هر گزینه انتخاب شده به شرح زیر می‌باشد:

- گزینه 1A- منافع ایمنی با درنظرگرفتن فقط اصلاحات ایمنی:

$$NB_{jk} = PSB_{jk} - PRP_{jk} - CC_{jk} \quad (۱۵)$$

- گزینه 2A- منافع ایمنی بادرنظرگرفتن روکشی و اصلاحات ایمنی:

$$NB_{jk} = PSB_{jk} - PNR_{jk} - PRP_{jk} - CC_{jk} \quad (۱۶)$$

- گزینه 1B- منافع ایمنی،کاهش زمان سفر (سود عملکرد ترافیکی) و کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه (منافع کاربران) با درنظرگرفتن فقط اصلاحات ایمنی:

$$NB_{jk} = PSB_{jk} + PTOB_{jk} + PBVOC_{jk} - PRP_{jk} - CC_{jk} \quad (۱۷)$$

- گزینه 2B- منافع ایمنی، کاهش زمان سفر (سود عملکرد ترافیکی) و کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه (منافع کاربران) با درنظرگرفتن روکشی و اصلاحات ایمنی:

$$NB_{jk} = PSB_{jk} + PTOB_{jk} + PBVOC_{jk} - PNR_{jk} - PRP_{jk} - CC_{jk} \quad (۱۸)$$

- گزینه 1C- کلیه آثار ممکن با درنظرگرفتن فقط اصلاحات ایمنی:

$$NB_{jk} = PSB_{jk} + PTOB_{jk} + PBVOC_{jk} - PRP_{jk} + PBED_{jk} - PEI_{jk} - CC_{jk} \quad (۱۹)$$

- گزینه 2C- کلیه آثار ممکن بادرنظرگرفتن روکشی و اصلاحات ایمنی:

(۲۰)

$$NB_{jk} = PSB_{jk} + PTOB_{jk} + PBVOC_{jk} - PNR_{jk} + PBED_{jk} - PEI_{jk} - PRP_{jk} - CC_{jk}$$

به طوری که در روابط فوق:

NB_{jk}= سود خالص برای راهکار اصلاحی k در سایت i

PSB_{jk}= ارزش فعلی منافع ایمنی حاصل از راهکار اصلاحی k در سایت i (با استفاده از ضرایب AMF) (منظور شده از قبل)

$PTOB_{jk}$= ارزش فعلی منافع حاصل از کاهش زمان سفر برای راهکار اصلاحی k در سایت j (منظور شده از قبل)

$PBVOC_{jk}$= ارزش فعلی منافع حاصل از کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه برای راهکار اصلاحی k در سایت j (در این تحقیق جدید اضافه شده و در مطالعات TRB وجود نداشته است).

$PBED_{jk}$= ارزش فعلی منافع حاصل از توسعه اقتصادی کاربری‌های اطراف راه برای راهکار اصلاحی k در سایت j (در این تحقیق جدید اضافه شده و در مطالعات TRB وجود نداشته است).

PEI_{jk}= هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از راهکار اصلاحی k در سایت j (در این تحقیق جدید اضافه شده و در مطالعات TRB وجود نداشته است).

PNR_{jk}= ارزش فعلی زیان ناشی از عدم روکشی برای راهکار اصلاحی k در سایت j (فقط برای راهکار هیچ کار می‌تواند مخالف صفر باشد) (منظور شده از قبل)

PRP_{jk}= ارزش فعلی زیان ایمنی کوتاه مدت برای روکشی بدون اجرای اصلاحات هندسی برای راهکار اصلاحی k در سایت j (در صورت وجود اصلاحات هندسی برابر صفر است) (منظور شده از قبل)

CC_{jk}= هزینه‌های ساخت برای راهکار اصلاحی k در سایت j (منظور شده از قبل)

لازم به یادآوری است که درتمامی روابط فوق، عبارت مربوط به هر سود یا هزینه به ارزش فعلی آن تبدیل شده است به غیر از هزینه‌های ساخت که در طبیعت خود هزینه‌های فعلی را جای‌می‌دهد.

۵-۱۰ گام ۱۰: انتخاب مناسب‌ترین راهکار بهسازی برای هر سایت در چارچوب بودجه موجود و با استفاده از منطق بهینه‌سازی

در نهایت پس از انتخاب رویکرد موردنظر در قالب اهداف و سیاست‌های پروژه تخصیص و محاسبه سود خالص هر راهکار اصلاحی در چارچوب این رویکرد، جهت انتخاب مناسب‌ترین راهکار اصلاحی برای هر سایت تحت یک بودجه مشخص از روش برنامه‌ریزی عددی صفر- یک استفاده می‌شود. یادآوری

می‌شود که مناسب‌ترین راهکار، راهکاری است که دارای بیشترین سود خالص مثبت باشد. برنامه عددی برای ارایه ترکیب بهینه‌ای از راهکارهای اصلاحی در y سایت مستقل از یکدیگر به شرح زیر است [۲]:

$$TB = \sum_{j=1}^{y}\sum_{k=1}^{z} NB_{jk} \cdot X_{jk} \quad \text{Maximize} \qquad (۲۱)$$

با درنظرگرفتن محدودیت‌های زیر:

$$\sum_{k=1}^{z} X_{1k} = 1 \qquad (۲۲)$$

$$\sum_{k=1}^{z} X_{2k} = 1 \qquad (۲۳)$$

$$\sum_{k=1}^{z} X_{3k} = 1 \qquad (۲۴)$$

$$\vdots$$

$$\sum_{k=1}^{z} X_{yk} = 1 \qquad (۲۵)$$

$$\sum_{j=1}^{y}\sum_{k=1}^{z} CC_{jk} X_{jk} \le B \qquad (۲۶)$$

به طوری که:

TB= کل منافع حاصل از تمامی راهکارهای انتخاب شده در کلیه سایت‌ها (ریال)

y= تعداد کل سایت‌ها

z= تعداد کل راهکارهای اصلاحی برای هر سایت

X_{jk}= مقدار تعیین‌کننده‌ای که اگر راهکار اصلاحی k در سایت j به عنوان بخشی از تخصیص بهینه اعتبارات انتخاب شود ارزش آن برابر ۱ است و اگر راهکار اصلاحی k در سایت j به عنوان بخشی از تخصیص بهینه اعتبارات انتخاب نشود ارزش آن برابر صفر است (این شاخص نشان می‌دهد که در هر سایت فقط و فقط یک راهکار می‌تواند انتخاب شود).

B= بودجه بهسازی یا حداکثر اعتبار موجود برای بهسازی کلیه سایت‌های موردنظر (ریال)

CC_{jk}= هزینه‌های ساخت برای راهکار اصلاحی k در سایت j (ریال)

معادله (۲۱) تابع هدف برنامه عددی است و کل منافعی را نشان می‌دهد که باید به حداکثر برسد. مقادیر NB_{jk} سودهای خالصی است که بسته به اهداف موردنظر در تحلیل مسأله تخصیص منابع از طریق یکی از روابط ۱۵ تا ۲۰ محاسبه می‌شود.

قیدهای به کار رفته در حل بهینه مسأله توسط معادلات و نامعادلاتی نشان داده می‌شود که در زیر تابع هدف ارایه شده‌است. این قیدها حل مسأله را به انتخاب یک و فقط یک راهکار اصلاحی برای هر سایت محدود می‌سازد. آخرین نامعادله ارایه شده نیز کل مخارج فعالیت‌های بهسازی را مقید می‌سازد تا کوچک‌تر یا مساوی بودجه موجود باشد.

حل بهینه برنامه عددی دسته‌ای از راهکارهای اصلاحی است که حداکثر سود خالص کل را باتوجه به محدودیت‌های ارایه شده نتیجه می‌دهد. این حل بهینه شامل آن دسته از راهکارهای اصلاحی می‌شود که در هر سایت ارزش X_{jk} آن در برنامه عدد صحیح صفر- یک برابر ۱ می‌شود. منابع خالص کل برای این دسته از راهکارها توسط تابع هدف (رابطه ۲۱) تعیین می‌شود و کل مخارج هزینه شده در اصلاحات موردنیاز جهت دستیابی به آن منافع را می‌توان از طریق معادله به کار رفته در محاسبه قید هزینه (رابطه ۲۶) به دست آورد.

۶. مراحل اضافه شده در روند جدید تخصیص منابع ارایه شده در تحقیق حاضر

در این بخش با دنبال کردن رویکرد معرفی شده در بخش ٤، مبنی بر طبقه بندی آثار در دو دسته آثار مستقیم بر کاربران و آثار غیرمستقیم بر جامعه اطراف، چهار مرحله اضافه شده به روند ده مرحله‌ای تخصیص منابع پروژه‌های 3R مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به این مراحل اضافه شده، روند مزبور به روندی چهارده مرحله‌ای تغییر می‌یابد که به شرح زیر ارایه می‌شود.

۱) شناسایی سایت‌های موردنظر (گام ۱ در روند پیشین)

۲) شناسایی راهکارهای بهسازی مورد نظر (و ترکیباتی از این راهکارها) در هر سایت (گام ۲ در روند پیشین)

۳) تبدیل هزینه‌ها و منافع آینده به ارزش‌های فعلی (گام ۳ در روند پیشین همراه با محاسبه نرخ تنزیل تورم زدایی شده در ایران)

٤) برآورد هزینه ساخت هر راهکار اصلاحی (گام ٤ در روند پیشین همراه با محاسبه هزینه‌های ساخت در ایران)

۵) برآورد منافع ایمنی برای هر راهکار اصلاحی (گام ۵ در روند پیشین همراه با اصلاح ضرایب AMF معرفی شده در مطالعات گذشته با توجه به تبدیل واحدها، اضافه شدن ضرایب AMF مربوط به قوس‌های قائم، پل‌های کم عرض و بازتاب‌های میانی، و محاسبه هزینه هر سطح شدت تصادف در ایران)

٦) برآورد زیان ناشی از عدم روکشی راه (گام ٦ در روند پیشین)

۷) برآورد زیان ایمنی برای هر راهکار بهسازی که شامل روکشی راه بدون اجرای اصلاحات هندسی می‌شود (گام ۷ در روند پیشین با در نظر گرفتن تفکیک بین تصادفات فوتی و جرحی)

۸) برآورد افزایش سرعت ناشی از روکشی و اصلاحات هندسی راه (اضافه شده به روند تخصیص منابع)

۹) برآورد منافع حاصل از کاهش زمان سفر برای هر راهکار بهسازی (گام ۸ در روند پیشین همراه با محاسبه ارزش زمان سفر در ایران و در نظر گرفتن افزایش سرعت ناشی از اصلاحات هندسی)

۱۰) برآورد منافع حاصل از کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه (اضافه شده به روند تخصیص منابع)

۱۱) برآورد منافع حاصل از توسعه اقتصادی کاربری‌های اطراف راه (اضافه شده به روند تخصیص منابع)

۱۲) برآورد هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از بهسازی راه (اضافه شده به روند تخصیص منابع)

۱۳) تعیین سود خالص برای هر راهکار بهسازی (گام ۹ در روند پیشین با در نظر گرفتن کلیه مقادیر سود و هزینه محاسبه شده در طول این تحقیق)

١٤) انتخاب مناسب‌ترین راهکار بهسازی برای هر سایت در چارچوب بودجه موجود و با استفاده از منطق بهینه‌سازی (گام ۱۰ در روند پیشین با توجه به منافع خالص جدید محاسبه شده در گام ۱۳)

با پذیرش روند فوق به عنوان الگوریتم جدید تخصیص منابع در این تحقیق، گام‌های ۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ در ادامه مطالب شرح داده می‌شود.

٦-۱ گام ۸ روند جدید: برآورد افزایش سرعت ناشی از روکشی و اصلاحات هندسی راه (DS)

به دنبال ارتقاء کیفیت عبور سطح رویه بر اثر روکش کردن راه و اجرای اصلاحات هندسی مسیر، افزایشی در سرعت متوسط وسایل نقلیه ایجاد می‌شود که مقدار این افزایش برای روکشی راه معادل با ١/٦ کیلومتر بر ساعت و برای اصلاح هندسی راه به مقدار DS_g در نظرگرفته می‌شود. اکنون پس از مشخص شدن ابعاد هندسی لازم برای تأمین ایمنی در هر راهکار، افزایش سرعت DS_g حاصل از ابعاد انتخابی را می‌توان طبق ضرایب تطبیقی ارایه شده در راهنمای گنجایش راه (HCM)[16] ویرایش سال 2000 [۱۲]، برای تأثیر پارامترهای هندسی بر سرعت جریان‌های آزاد در راه‌های دوخطه و چندخطه به شرح زیر به دست آورد:

برای راه‌های دوخطه:

$$\Delta S_g = (f_{Ls,1} - f_{Ls,2}) + (f_{A,1} - f_{A,2}) \qquad (۲۷)$$

و برای راه‌های چندخطه:

$$\Delta S_g = (f_{Lw,1} - f_{Lw,2}) + (f_{Lc,1} - f_{Lc,2}) + (f_{M,1} - f_{M,2}) + (f_{A,1} - f_{A,2}) \qquad (۲۸)$$

در روابط فوق پارامترهای f_{Ls} ، f_A ، f_{Lw} ، f_{Lc} و f_M به ترتیب مقادیر تطبیقی منسوب به عرض خط و شانه در راه‌های دو خطه، تراکم نقاط دسترسی، عرض خط در راه‌های چندخطه، وضوح دید جانبی کناره‌های راه و نوع میانه است. زیرنویس‌های ۱ و ۲ نیز به ترتیب مربوط به شرایط قبل و بعداز اجرای تدابیر اصلاحی می‌شود. در نهایت افزایش سرعت کلی که براثر اجرای پروژه 3R حاصل خواهدشد و مدت دوام این افزایش ۳۰ ماه درنظر گرفته می‌شود برابر است با:

$$\Delta S = \Delta S_g + 1.6 \qquad (۲۹)$$

٦-۲ گام ۱۰ روند جدید: برآورد منافع حاصل از کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل‌نقلیه (PBVOC)[17]

درنظرگرفتن منافع حاصل از کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه رویکرد دیگری است که در این تحقیق در میان اهداف اجرای پروژه‌های 3R گنجانده می‌شود. این کاهش هزینه به دنبال بهبود کیفیت عبور سطح رویه راه و باتوجه به سرعت افزایش یافته ناشی از انجام عملیات بهسازی مسیر روی می‌دهد. باتوجه به فرضیات قبلی در زمینه تأثیر ۳۰ ماهه بهبود کیفیت سطح رویه پس از انجام عملیات روکشی، در اینجا نیز کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه برای همین مدت محاسبه می‌شود.

مقدار کمّی این سود در این تحقیق بر اساس مطالعات ارایه شده در نشریه ۲۹٦ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی [۱۳] برای سال ۱۳۸۳ به شرح زیر به دست می‌آید.

(۳۰)

$$PBVOC_{jk} = ADT \times 365 \times \left(\frac{1.93L}{1000}\right) \times (0.2508 Speed^2 + 219.775 Speed - 0.8681 \Delta S^2 - 715.3583 \Delta S - 1.7362 Speeed \times \Delta S + 10930.48) \times [(P/F, i, 1) + (P/F, i, 2) + \frac{1}{2}(P/F, i, 3)]$$

در رابطه فوق:

$PBVOC_{jk}$= ارزش فعلی کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه در طی ۳۰ ماه پس از بهسازی راه (ریال)

ADT= ترافیک متوسط روانه (وسیله در روز)

L = طول مسیر (کیلومتر)

Speed = سرعت عملکردی متوسط وسایل نقلیه در قبل از بهسازی (کیلومتر بر ساعت)

DS= افزایش سرعت وسایل نقلیه براثر انجام تدابیر اصلاحی در پروژه بهسازی (کیلومتر بر ساعت)

(P/F, i, 1) = فاکتور تبدیل ارزش هزینه کاهش یافته در پایان سال اول به ارزش فعلی

(P/F, i, 2) = فاکتور تبدیل ارزش هزینه کاهش یافته در پایان سال دوم به ارزش فعلی

0.5(P/F, i, 2) = فاکتور تبدیل ارزش هزینه کاهش یافته در پایان سی ماه به ارزش فعلی

مقدار هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه برای هزینه‌های مصرف سوخت، مصرف روغن موتور، هزینه استهلاک لاستیک و هزینه تعمیر و نگهداری وسایل نقلیه بیان شده است.

٦-٣ گام ١١ روند جدید: برآورد منافع حاصل از توسعه اقتصادی کاربری‌های اطراف راه (PBED)[18]

آثار توسعه اقتصادی که در این فرآیند تخصیص منابع در نظر گرفته می‌شود، در قالب افزایش درآمد کاربری‌های اطراف راه به دنبال بهسازی مسیر، بهبود کیفیت تردد و تسهیل دسترسی به بازارهای موردنیاز تعریف می‌شود. مدت زمان تأثیر این اثر، کل دوره ارزیابی (n) درنظرگرفته می‌شود که به صورت تبدیل میانگین سود سالانه به ارزش فعلی آن بیان می‌شود. اگرچه این اثر اقتصادی، در واقع سود کاربری‌های خصوصی اطراف راه را در بر می‌گیرد اما باتوجه به فرض اساسی موردنظر در تحلیل منفعت ـ هزینه به کاررفته در این تحقیق، در قالب کلیه منافع اقتصادی حاصل از بهسازی راه گنجانده می‌شود.

در این تحقیق، ارزش فعلی سود حاصل از توسعه اقتصادی کاربری‌های اطراف راه از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

(۳۱)

$$PBED_{jk} = \left\{\sum_{i=1}^{3} P_i \cdot a_i (k_i - 1)\right\} \times [P/A, i, n]$$

در این رابطه:

$PBED_{jk}$= ارزش فعلی سود ناشی از توسعه اقتصادی (ریال)

i= بخش کاربری i (۱= تولیدی، ۲= تجاری و ۳= توریستی)

P_i= تعداد واحدهای اقتصادی فعال در بخش i

a_i= درآمد متوسط سالانه واحدهای شاغل در بخش i (ریال)

k_i= شاخص نشان‌دهنده تأثیر پروژه بهسازی بر درآمدهای بخش i

(P/A, i, n)= عامل تبدیل‌کننده درآمدهای سالانه یکنواخت به ارزش فعلی

٦-٤ گام ١٢ روند جدید: برآورد هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های بهسازی راه (PEI)[19]

در این تحقیق جهت برآورد هزینه‌های زیست‌محیطی پروژه‌های 3R از روش نرخ‌های جبرانی استفاده می‌شود. در این روش آثار ناشی از یک فعالیت انجام شده مطابق با مقادیر جریمه، دیه و پرداخت‌های حقوقی به خاطر انجام آن فعالیت درنظر گرفته می‌شود. به طور مثال، برای برآورد هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از احداث یک کارگاه صنعتی در منطقه‌ای جنگلی، کلیه خسارت‌هایی که از طریق قوانین سازمان منابع طبیعی کشور برای این اقدام تعیین می‌شود به عنوان هزینه‌ها و آثار زیست‌محیطی احداث کارگاه ثبت می‌شود. در اینجا نیز با چنین رویکردی می‌توان مقادیر موردنظر را با توجه به حجم تخریب‌های زیست‌محیطی انجام شده نظیر قطع درختان، دپوی مصالح زاید در مراتع و جنگل‌ها و یا تغییر مسیر جریان روخانه‌ها و به طور کلی هر تخریب ناشی از انجام پروژه‌های 3R در محیط‌های فیزیکی و بیولوژیکی و همچنین مقادیر واحد جریمه خسارت مربوط به هر نوع تخریب که از جانب سازمان منابع طبیعی کشور تعیین می‌شود به دست آورد.

$$PEI_{jk} = \left\{\sum d_i \times C_i\right\} \times (P/A, i, n) \qquad (۳۲)$$

PEI_{jk}= هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های بهسازی راه (ریال)

d_i = ابعاد تخریب انجام شده از نوع i

C_i= خسارت واحد تعیین شده برای تخریب نوع i

(P/A, i, n)= عامل تبدیل‌کننده هزینه‌های سالیانه یکنواخت به ارزش فعلی

در انتها، توصیه می‌شود جهت توسعه روند مزبور تغییرات برشمرده در این تحقیق را در نرم‌افزار RSRAP نیز وارد کرده، ویرایش جدیدی از این نرم‌افزار را ارایه کرد.

۷. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ضمن معرفی پروژه‌های 3R و ماهیت آنها در ایران، روند ارایه شده در گزارش NCHRP 486 در سال ۲۰۰۳ مورد بازنگری قرار گرفته است که در نتیجه این بررسی، ضمن تغییر و تطابق هر یک از مراحل گنجانده شده در این روند، مراحل جدیدی نیز به آن اضافه شده است. افزودن مقادیر جدید سود و هزینه به روند مزبور، باعث ارایه پاسخ‌هایی واقعی‌تر از آینده اقتصادی پروژه‌ها می‌شود و توصیه می‌شود ضمن بررسی بیشتر اقلام اضافه شده در این تحقیق، مقادیر جدیدی از سودها و زیان‌های ناشی از اجرای پروژه‌های TR، و به طور کلی هرگونه پروژه بهسازی مورد شناسایی و کمّیت‌یابی قرار گیرد.

۸. مراجع

1. Special Report 214 (1987) "Designing safer roads, practices for resurfacing, restoration and rehabilitation", Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.

2. Harwood, D.W., Rabbani, E.R., Richard, K.R., McGee, H.W. and 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.

3. Harwood, D.W., Council, F.M., Hauer, E., Hughes, W.E., and Vogt, A. (1997) "Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways", Report No. FHWA-RD-99-207.

٤. بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران(١٣٨٤)" شاخص‌های عمده اقتصادی"، شماره ٤٢، سه ماهه سوم سال١٣٨٤.

٥. بهنود، ح.ر(١٣٨٥) " ارتقاء الگوریتم تخصیص بهینه منابع در پروژه‌های روکشی، بازسازی و بازیابی و ارتقاء نرم‌افزار RSRAP"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

٦. آیتی، اسماعیل(١٣٨٢) "نگهداری و مدیریت راه"، انتشارات گل نشر، مشهد.

٧. واحدی، ج.ر. (١٣٨٢) بررسی ایمنی ترافیکی در محل پل‌ها با مطالعه بر روی بیش از بیست‌وپنج پل مهم استان خراسان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

8. Bahar, G., Mollet, C., Persaud, B., Lyon, C., Smiley, A., Smahel, T. and McGee, H. (2004) "Safety evaluation of permanent raised pavement markers", NCHRP Report 518, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C.

٩. آیتی، اسماعیل(١٣٨١) "هزینه تصادفات ترافیکی ایران"، انتشارات دانشگاه فردوسی، شماره ٣٤٥، چاپ دوم.

١٠. بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران(١٣٨٤)"خلاصه تحولات اقتصادی کشور١٣٨٣"، اداره بررسی‌ها و سیاست‌های اقتصادی.

11. Hauer, E., Terry, D. and Griffith, M.S.(1994) "Effect of resurfacing on the safety of two-lane rural roads in New York State, in Transportation Research Record 1467, Transportation Research Board, National Research Council.

12. Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, 2000.

١٣. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی (١٣٨٣) "راهنمای بهسازی رویه‌های آسفالتی و شنی"، نشریه شماره ٢٩٦، تهران، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی.

پانویس‌ها

1. Resurfacing Safety Resource Allocation Program
2. Transportation Research Board
3. National Cooperative Highway Research Program
4. Federal Highway Administration
5. Interactive Highway Safety Design Model
6. Cost-Benefit Analysis
7. Integer Programming
8. Present Value of Safety Benefits
9. Accident Modification Factors
10. Bridge Safety Index
11. Penalty for Not Resurfacing
12. Present Value of Resurfacing safety Penalty
13. Present Value of Traffic Operation Benefits
14. Net Benefit

15. Highway Capacity Manual
16. Present Value of Benefits due to reduction of Vehicle Operating Costs
17. Present Value of Benefits due to Economic Development
18. Present Value of Environmental Impacts
19. Resurfacing, Restoration and Rehabilitation Projects
20. Resurfacing Safety Resource Allocation Program
21. Transportation Research Board
22. National Cooperative Highway Research Program
23. Federal Highway Administration
24. Interactive Highway Safety Design Model
25. Cost-Benefit Analysis
26. Integer Programming
27. Present Value of Safety Benefits
28. Accident Modification Factors
29. Bridge Safety Index
30. Penalty for Not Resurfacing
31. Present Value of Resurfacing Safety Penalty
32. Present Value of Traffic Operation Benefits
33. Net Benefit
34. Highway Capacity Manual
35. Present Value of Benefits due to Reduction of Vehicle Operating Costs
36. Present Value of Benefits due to Economic Development
37. Present Value of Environmental Impacts

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی