یادداشت پژوهشی

فرایند ارزیابی اقتصادی و بهینه‌سازی در ایمن‌سازی مشخصه‌های هندسی راه

حمیدرضا بهنود، دانشجوی دکتری(مسئول مکاتبات)، مرکز تحقیقات فنی و اقتصادی ایمنی جاده‌ای، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
حسین روزیخواه، کارشناس ارشد، پژوهشکده حمل‌ونقل، تهران، ایران
شاهین شعبانی، عضو هیات علمی، پژوهشکده حمل‌ونقل ، تهران، ایران
E-mail: hr.behnood@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۱۲

چکیده

در تصمیم‌گیری برای بهینه‌سازی طرحهای ایمن‌سازی راه لازم است فرآیندی منظم برای انتخاب مناسب‌ترین اقدامات در قالب هر پروژه مشخص پیش‌بینی می‌شود. با استفاده از مدل ارایه شده، بودجه مشخصی که از جانب دولت در اختیار سازمان مسئول قرار گرفته است بین تمامی موقعیتهای از پیش تعیین شده راه به نحوی توزیع می‌شود که: (۱) با استفاده از سهم تعلق گرفته به هر موقعیت مکانی، بهترین اصلاحات ممکن در چارچوب یک راهکار برتر از بین چند راهکار انتخاب شود، به طوری که بهترین منفعت خالص را نتیجه دهد و در نهایت مجموع منافع خالص در تمامی موقعیتها به حداکثر مقدار خود برسد و (۲) مجموع هزینه‌های ساخت مربوط به راهکارهای انتخاب شده در تمامی موقعیتهای مکانی از بودجه کل بیشتر نشود. جوانب هندسی و محیطی مورد بررسی در این تحقیق شامل مطالعه عرض خط تردد، نواحی خطر کناره راه، قوسهای افقی، قوسهای قائم و پلهای کم‌عرض است. در تشکیل این فرآیند از روش تحلیل هزینه- فایده برای ارزیابی اقتصادی و از روش برنامه‌ریزی عدد صحیح صفر- یک برای روند بهینه‌سازی استفاده شده است. در نهایت فرآیندی ۸ مرحله‌ای ارایه می‌شود که در آن شناسایی، ارزش‌گذاری، تنزیل و مقایسه منافع و هزینه‌ها شرح داده شده است.

واژه‌های کلیدی: ایمن‌سازی راه، اصلاح هندسی، ارزیابی اقتصادی، بهینه‌سازی، ضرایب تعدیل تصادف.

۱. مقدمه

مهندسی ایمنی راه به عنوان فرآیندی مبتنی بر تحلیل اطلاعات مربوط به تصادفهای جاده‌ای و ترافیکی تعریف می‌شود که برای شناسایی عناصر طراحی راه یا رویکردهای مدیریت ترافیک به‌کاربرد اصول مهندسی نیاز دارد تا بتواند با کارآیی بهینه هزینه‌ها، هزینه تصادفهای جاده‌ای را کاهش دهد. همچنین، مدیریت ایمنی راه را در قالب سیستم مدیریت ایمنی (SMS)[1] می‌توان به صورت مجموعه‌ای از رویکردهای مدیریتی، راهبردها، سیاستها و برنامه‌های پیوسته تعریف کرد. تصمیم‌گیران و به دنبال آن طراحان ایمنی راهها ناگزیر از به خدمت گرفتن ابزارهایی مناسب برای اولویت‌بندی و انتخاب بهینه یک یا مجموعه‌ای از فعالیتها از میان کلیه اقدامات ممکن در قالب یک سطح بودجه از پیش تعیین شده اند. در واقع، هزینه این اقدامات گوناگون بسیار متفاوت بوده و الزاماً گران‌ترین اقدامات، مؤثرترین آنها نخواهد بود. به‌این دلیل، لازم است راه‌حلهای بهینه که با صرف کمترین امکانات بیشترین نتایج را داشته باشد، جستجو شود. در این بین لازم است فرآیندی منظم برای انتخاب مناسب‌ترین اقدامات در قالب هر پروژه مشخص پیش‌بینی شود و در اختیار تصمیم‌گیران و طراحان ایمنی راههای کشور قرار داده شود.

۲. اهداف پژوهش

بالاترین سطح هدف مورد انتظار در پی دریافت نتایج این تحقیق را می‌توان دستیابی به اهداف لازم برای رسیدن به ایمنی جاده‌ای به عنوان جنبه‌ای از رفاه عمومی شهروندان بیان کرد. اهداف این تحقیق در راستای تأمین نیازهای سیاستگذاران و مدیران در رده‌های میانی را نیز می‌توان ایجاد زمینه‌ای برای ارایه گزارشهای ارزیابی پروژه‌های ایمن سازی راه تلقی کرد.

هدف نهایی قابل دستیابی با ارایه این تحقیق به این شرح بیان می‌شود: با استفاده از مدل ارایه شده در این تحقیق، بودجه مشخصی را که از سوی دولت در اختیار سازمان مسئول قرار گرفته است بین تمامی موقعیتهای از پیش تعیین شده به نحوی توزیع می‌کنیم که:

– با استفاده از سهم تعلق گرفته به هر موقعیت مکانی، بهترین اصلاحات ممکن در چارچوب یک راهکار برتر از بین چند راهکار انتخاب شود، به گونه ای که بهترین سود خالص را نتیجه دهد و در نهایت مجموع سودهای خالص در تمامی موقعیتها به‌حداکثر مقدار خود برسد، و

– مجموع هزینه‌های ساخت مربوط به راهکارهای انتخاب شده در تمامی موقعیتهای مکانی از بودجه کل بیشتر نشود.

۳. گستره تحقیق

به منظور تبیین محدوده و مرز فعالیتهای مورد نظر و قابل اجرا در این تحقیق، موارد زیر به عنوان گستره تحقیق ارایه می‌شود:

– نوع پروژه‌های اصلاح مشخصات فنی راه در این تحقیق باعنوان پروژه‌های ایمن‌سازی تعبیر می‌شود. به این ترتیب، تعاریف و چارچوبهای مورد استفاده در آن با پروژه‌های بهسازی متداول در ایران متفاوت است.

– در ارزیابی اقتصادی پروژه‌های ایمن‌سازی مورد بحث در این تحقیق، صرفاً منافع ایمنی حاصل از کاهش تصادفهای جاده‌ای در مقابل هزینه‌ها برآورد می‌شود و سایر اقلام منافع اقتصادی نظیر کاهش زمان سفر و کاهش هزینه‌های عملکرد وسایل نقلیه در نظر گرفته نمی‌شود.

– در این تحقیق صرفاً مسیرهای آسفالت و غیرآزادراهی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. همچنین نوع راههای مورد مطالعه در این پژوهش از نظر طبقه‌بندی وظیفه‌ای و ترافیکی عمدتاً شامل راههای دوخطه برون‌شهری می‌شود. اما در صورت یافتن ضرایب تصحیح مناسب برخی دیگر از انواع راهها شامل راههای چندخطه جدا شده یا جدا نشده و همچنین راههای درون‌شهری و حومه‌شهری در گستره تحقیق قرار می‌گیرد.

– تشخیص لزوم اجرای پروژه ایمن‌سازی در یک یا چند محور بر اساس افزایش بی‌رویه تصادفها صورت می‌گیرد، نه بر مبنای افزایش نرخ تردد. به عبارت دیگر، در تحلیلهای مدنظر این تحقیق نرخ تردد وسایل نقلیه در دوره تحلیل ثابت است.

٤. پیشینه پژوهش

با توجه به اهداف و چارچوب تعریف شده برای این پژوهش و با داشتن اطلاعات و پیش‌زمینه مرتبط با مبانی مدیریت دارایی در پروژه‌های راه، در این بخش سعی بر آن است تا مرتبط‌ترین مطالب و تحقیقات ارایه شده در گذشته در زمینه مباحث مربوط به تخصیص منابع و ارزیابی و بهینه‌سازی پروژه‌های ایمن‌سازی راه به عنوان بخشی از سیستم مدیریت دارایی در پروژه‌های راه مورد بررسی قرار گیرد. در ادامه مراجع و مبانی اصلی ارایه شده در زمینه تحقیق حاضر معرفی می‌شود:

– گزارش FHWA-RD-99-207 در ایالات متحده آمریکا [هاروود و همکاران، ۱۹۹۷]: در این گزارش مدلهای پیش‌بینی تصادف با استفاده از مدلهای پایه و ضرایب تعدیل تصادف در راهها دوخطه ارایه شده است.

– گزارش NCHRP 486 (TRB): [هاروود و همکاران، ۲۰۰۷] در این گزارش روندی برای تخصیص منابع برای بیشینه کردن کارآیی پروژه‌های 3R[۲] در ارتقای ایمنی و عملکرد ترافیکی در تاسیسات غیرآزادراهی که همچنان حفظ پیوستگی سازه‌ای و کیفیت عبور روسازی راه را مدنظر دارد، ارایه شده است.

– مدل اداره ایمنی حمل‌ونقل زمینی (LTSA): در نیوزیلند [بلیس و همکاران،۱۹۹۷] در این گزارش فعالیتهای ارتقای ایمنی در حمل‌ونقل زمینی با استفاده از سطح معقولی از هزینه‌ها پوشش داده شده است. این مدل دارای سه بخش مدل عمومی، مدل اعمال قانون و مدل ایمنی راه است.

– برنامه‌ریزی اقدامات ایمن‌سازی در پروژه‌های روکشی، نوسازی و بهسازی [گریل و همکاران، ۲۰۰۵]: این مقاله نتایج پژوهشهای کاربردی مربوط به تحلیل بهینه‌سازی در پروژه‌های روکش و ایمن‌سازی را در قالب مطالعات موردی چند منطقه با استفاده از نرم‌افزار RSRAP ارایه می‌کند.

– روش بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی اقدامات ایمن‌سازی [پال و سینها، ۱۹۹۸]: در این مقاله مدل کاملی مختص بهینه‌سازی هزینه‌های اجرایی در پروژه‌های ایمن‌سازی راه ارایه شده است. این مدل تعداد کل تصادفها را در محدودهٔ مورد مطالعه و در دورهٔ زمانی تحلیل با در نظر گرفتن قید محدودیت منابع سرمایه‌ای به‌حداقل می‌رساند.

– تلفیق مدارک کمّی و کیفی برای تحلیل تصادف در برنامه‌ریزی مبتنی بر ریسک راه [لمبرت، پیترسون و جوشی، ۲۰۰۶]: هدف از این مقاله نشان دادن و شرح ترکیب مدارک و شواهد کمّی و کیفی مرتبط با تحلیل تصادفها برای طراحی بخشی از پروژه‌های سرمایه‌گذاری در راههاست. در این تحلیل اطلاعات نرخ تصادفها، ترافیک متوسط روزانه، تخمین هزینه‌های اجرایی و دورنمای محلی پروژه‌ها بکار می‌رود.

آن چه طی پژوهش و بررسی در ایران، در رابطه با موضوع یادشده جستجو شد، فاقد مدل و شیوه‌ای اصولی که حاوی ابزاری برای ارزیابیهای اقتصادی و تخصیص بهینه منابع مالی در طرحهای ایمن‌سازی راه باشد، بوده است. از این رو، به منظور بررسی مطالعات گذشته در ایران، آن دسته از مراجعی معرفی و تشریح شده اند که می‌توانند ما را جهت دستیابی به مدلی مطلوب در راستای هدف بیان شده یاری کنند. مهم‌ترین مراجع مورد استفاده در این راستا مدلهای تصادفهای ارایه شده در مراجع علمی و پژوهشی مختلف در ایران بوده است.

۵. مبانی نظری؛ تحلیل اقتصادی هزینه- فایده و تحلیل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح

روند تخصیص منابع یک فرآیند بهینه‌سازی است که در خود ارزیابی اقتصادی گزینه‌های ممکن برای هر پروژه مشخص را دارد. به عبارت دیگر، روند تخصیص منابع را می‌توان فرآیندی از تصمیم‌گیری دانست که طی آن دو بحث تحلیل اقتصادی و تحلیل ریاضی مورد بررسی قرار می‌گیرد. 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 «بهینه‌سازی» نیز یاد می‌شود، به مقایسه بین گزینه‌ها و راهکارهای تشکیل یافته در ارزیابی اقتصادی می‌پردازد. این عمل از طریق مقایسه بین نتایج حاصل از هر راهکار امکان‌پذیر است که این امر نیازمند شناسایی

روشهای «پژوهش عملیاتی» و به عبارتی روشهای بهینه‌سازی است.

تحلیل هزینه- فایده (CBA)[۳] یکی از قدیمی‌ترین روشهای تخصیص منابع است. این روش به محاسبه تمامی منافع و هزینه‌های موجود در هر راهکار مورد نظر نیاز دارد. در مباحث مربوط به این نوع تحلیل، تمامی هزینه‌ها و منافع از قبیل منافع ایمنی و ترافیکی، در حالتهای پولی بیان می‌شود. آشکار است که مطلوب‌ترین اصلاحات آنهایی است که دارای بیشترین نسبت منفعت به هزینه و یا بیشترین بازگشت خالص باشد. تمامی منافع و هزینه‌ها باید به طور ثابت بر یک پایه سالانه یا ارزش فعلی بیان شود. تبدیل سودها و هزینه‌ها به مبنای سالانه یا ارزش فعلی به‌برآورد دوره بهره‌برداری پروژه اصلاحی و یک نرخ تنزیل نیاز دارد. در این پژوهش از روش تحلیل هزینه- فایده می‌توان به‌عنوان یکی از روشهای قابل کاربرد در ارزیابی و توجیه اقتصادی پروژه‌های ایمن‌سازی راه یاد کرد. استفاده از این روش نیازمند جستجوی کمیّتهای منسوب به آثار هر طرح ایمن‌سازی در سطح جامعه است. بدون شک، هزینه‌های اجرایی و ساخت پروژه‌های ایمن‌سازی راه را می‌توان به عنوان عنصر اساسی هزینه‌ها در این نوع ارزیابی دانست. از سوی دیگر، کاهش هزینه و یا به عبارتی هزینه صرفه‌جویی شده حاصل از کاهش تصادفها در پی اجرای این نوع پروژه‌ها به عنوان منفعت ریالی آنها شناخته می‌شود. بنابراین شاخص تصمیم‌گیری در این نوع ارزیابی را می‌توان به‌صورت منفعت خالص و یا نسبت منفعت به هزینه بیان شده معرفی کرد.

برنامه‌ریزی خطی از جمله قوی‌ترین روشهایی است که مدیران می‌توانند در حل مسایل مختلف خود با توجه به شرایط مساله بکار گیرند. برنامه‌ریزی خطی، مدلی ریاضی برای جستجو و انتخاب بهترین برنامه (روش انجام کار) از میان مجموعه راهها ممکن است. از آنجا که تمامی روابط ریاضی موجود در این مدل از نوع درجه یک است، مدل خطی نامیده می‌شود. برنامه‌ریزی خطی با بهینه کردن (حداکثر یا حداقل کردن) متغیر وابسته‌ای که به صورت خطی با مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل مرتبط می‌شود و با در نظر گرفتن تعدادی محدودیت خطی تشکیل یافته از متغیرهای مستقل، در ارتباط است. برنامه‌ریزی عدد صحیح یک واژه عام برای مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی با شرط عدد صحیح بودن متغیرها است. در بعضی از مدلها مانند مدل بکار رفته در این پژوهش، متغیرهای عدد صحیح محدود به انتخاب مقادیر صفر یا یک است. این مدلها، مدل‌های صفر- یک نام دارد.

٦. ارزیابی اقتصادی و مولفه‌های هزینه- فایده

بالاترین سطح هدف مورد انتظار در پی دریافت نتایج این پژوهش را می‌توان دستیابی به اهداف لازم جهت رسیدن به ایمنی جاده‌ای به عنوان جنبه‌ای از رفاه عمومی شهروندان بیان کرد. اهداف این تحقیق در راستای تأمین نیازهای سیاستگذاران و مدیران در رده‌های میانی را نیز می‌توان ایجاد زمینه‌ای جهت ارایه گزارشهای ارزیابی پروژه‌های ایمن سازی راه تعبیر کرد.

هدف نهایی قابل دستیابی با ارایه این تحقیق به این شرح بیان می‌شود: با استفاده از مدل ارایه شده در این تحقیق، بودجه مشخصی که از جانب دولت در اختیار سازمان مسئول قرار گرفته است بین تمامی موقعیتهای از پیش تعیین شده به نحوی توزیع می‌شود که:

- با استفاده از سهم تعلق گرفته به هر موقعیت مکانی، 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 موقعیتها به‌حداکثر مقدار خود برسد، و
- مجموع هزینه‌های ساخت مربوط به راهکارهای انتخاب شده در تمامی موقعیت‌های مکانی از بودجه کل بیشتر نشود.

با استفاده از روش تحلیل هزینه- فایده در این طرح به عنوان روش مطلوب ارزیابی اقتصادی، معیار «منفعت خالص[۴]» به عنوان شاخص کارآیی و مقایسه طرحها و گزینه‌ها با یکدیگر معرفی می‌شود. در این پروژه منفعت کل[۵] به صورت ارزش فعلی منافع سالانه حاصل از کاهش تصادفها در طول افق طرح تعریف می‌شود. هزینه‌های کل نیز شامل هزینه‌های اجرایی بازسازی و

بهسازی هندسی مسیر نظیر هزینه تعریض خطوط تردد و اصلاح قوس‌های افقی و قائم می‌شود. به این ترتیب، منفعت خالص را می‌توان به عنوان یک متغیر وابسته از عناصر مؤثر بر کاهش میزان تصادفها جاده‌ای و هزینه‌های ساخت مربوط به آنها تعبیر کرد. این منفعت خالص در هر قطعه راه به طور جداگانه و مستقل از قطعات دیگر مورد محاسبه قرار می‌گیرد. دو مؤلفه منفعت و هزینه را می‌توان به صورت توابعی از متغیرهای دیگر تعریف کرد. مقدار منافع کل در هر قطعه راه تابعی از تصادفهای کاهش یافته سالانه در آن قطعه است. از طرفی تعداد تصادفهای کاهش یافته نیز بستگی به شرایط هندسی قبل و بعد از عملیات اصلاح مسیر دارد. هزینه‌های اجرایی مربوط به هر دسته عملیات ایمن‌سازی مشخص نیز به عنوان تابعی از حجم این عملیات و به صورت مجموع هزینه‌های مربوط به کل اقدامات و گزینه‌های اصلاحی منسوب به آن محاسبه خواهد شد. پس از معرفی عناصر دخیل در محاسبه منافع حاصل از کاهش تعداد تصادفها می‌توان رابطه مربوط به محاسبه منفعت خالص 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 (۱) تعریف می‌شود.

$$NB_i = AN(1-AMF_{ti})(r_F \cdot AC_F + r_I \cdot AC_I + r_{PDO} \cdot AC_{PDO})(P/A,r,N) - C_i \quad (۱)$$

در این رابطه:

NB_i = منافع کل حاصل از اجرای دسته عملیات ایمن‌سازی شماره i

AN = تعداد کل تصادفها در شرایط فعلی محور مورد مطالعه

AMF_{ti} = ضریب تعدیل تصادف برای اجرای دسته عملیات ایمن‌سازی شماره i

r_I ، r_F و r_{PDO} = به ترتیب نسبت تصادفها فوتی، جرحی و خسارتی به کل تصادفها (ضرایب توزیع شدت تصادف)

AC_I ، AC_F و AC_{PDO} = به ترتیب هزینه متوسط هر تصادف فوتی، جرحی و خسارتی

r = نرخ تنزیل

N = دوره ارزیابی

C_i = مجموع هزینه‌های اجرایی مربوط به هر دسته عملیات ایمن‌سازی شماره i

در رابطه ۱، عبارت داخل پرانتز دوم در اصل مقدار میانگین وزنی هزینه هر تصادف را با هر سطح شدتی بیان می‌کند. عبارت (P/A,r,N) نیز به منظور تبدیل مجموع مقادیر منافع سالانه در طی N سال دوره تحلیل استفاده شده است. در این عبارت N دوره تحلیل است که با محاسبه عمر تاثیر عملیات ایمن‌سازی برابر با ۹ سال در نظر گرفته می‌شود. فاکتور r نیز نرخ تنزیلی است که بر اساس مقادیر رسمی اعلام شده در ایران برابر با ۱۲ درصد تعیین شده است.

۶-۱ ضرایب تعدیل تصادف (AMF)[۶]

در سالهای اخیر شاخصی با عنوان ضرایب تعدیل تصادف AMF مورد استفاده قرار گرفته است. این ضرایب برای هر وضعیتی از یک موقعیت هندسی نسبت به وضعیت پایه‌ای از همان موقعیت، اختلاف نرخ تصادفهای محتمل را نشان می‌دهد. کاربرد عمده ضرایب AMF در الگوریتم-های بهینه‌سازی طرح هندسی در ساخت و بهسازی راهها برای ایجاد حداقل نرخ تصادفها با توجه به بودجه‌های اجرایی موجود بوده است. برای هر عملیات اصلاحی مورد ارزیابی، نسبت AMF متناسب برای شرایط بعد از اصلاح به AMF متناسب برای شرایط قبل از اصلاح، ضریب AMF برای خود عملیات اصلاحی را نشان می‌دهد. از این‌رو، در اصلاحی با AMF معادل ۰/۹۵ انتظار می‌رود که فراوانی تصادفها به اندازه ۵ درصد کاهش یابد، درحالی که در اصلاحی با AMF معادل ۱/۰۵ انتظار می رود که فراوانی تصادفها به اندازه ۵ درصد افزایش یابد [آیتی و بهنود، ۱۳۸۷].

علامت منفی ضریب AMF در رابطه (۱) بیانگر اثر عکس این ضرایب در کاهش تصادفهاست. به عبارت دیگر، هر قدر ضریب AMF کوچک‌تر از عدد ۱ باشد، تعداد کاهش تصادف بیشتر خواهد بود. بدیهی است که عدد AMF بزرگ‌تر از ۱ به معنای افزایش تعداد تصادف خواهد بود که این در ادبیات ایمن‌سازی

راه، مفهوم قابل درکی نخواهد داشت. ضرایب AMF را می‌توان براساس مدلهای تصادفها در ایران به دست آورد. بعضی از ضرایب AMF که با بهره‌گیری از پژوهشهای انجام شده در ایران در رابطه با مدلهای پیش‌بینی تصادفها به دست آمده است به شرح زیر ارایه می‌شود.

روابط مربوط به محاسبه ضرایب در این تحقیق شامل موارد ارایه شده در چهارمین سمپوزیوم بین‌المللی طرح هندسی راه در سال ۲۰۱۰ [بهنود، شعبانی و روزیخواه، ۱۳۸۹] می‌شود. این ضرایب پنج دسته مشخصه‌های هندسی و محیطی راه شامل موارد زیر را در بر می‌گیرد:

- ضریب تعدیل تصادف برای کناره‌های راه؛ بر اساس مدل تصادفها برای کناره‌های راه در ایران [آیتی و شهیدیان، ۲۰۰۶]،

ضریب تعدیل برای قوسهای افقی؛ بر اساس مدل پیشنهادی در ایران برای پیش‌بینی تعداد تصادفهای واقع در قوسهای افقی [صفارزاده، شعبانی و آزرمی، ۱۳۸۶].

- ضریب تعدیل تصادف برای عرض خط تردد و کیفیت سطح رویه، بر اساس مدل برهم‌کنش ویژگیهای روسازی راه و حجم ترافیک بر روی نرخ تصادفهای جاده‌های دوخطه برون‌شهری [عامری و ملکوتی، ۱۳۸۶]

- ضریب تعدیل تصادف برای قوسهای قائم؛ بر اساس مدل تصادفها برای قوسهای قائم [آیتی و بهنود، ۱۳۸۷]

- ضریب تعدیل تصادف برای پل‌ها؛ با استفاده از مفهوم شاخص ایمنی پل که برای پلهای کم‌عرض در ایران ارایه شده است [آیتی و واحدی، ۱۳۸۶].

۶-۱-۱ ضریب تعدیل تصادف برای کناره‌های راه

رابطه مربوط به محاسبه این ضریب بر اساس مدل تصادفها برای کناره‌های راه در ایران [آیتی و شهیدیان، ۲۰۰۶] به دست آمده است. در اینجا برای محاسبه ضریب AMF وضعیت مبنا برای ویژگی کناره‌های راه به شرح زیر در نظر گرفته شده است:

- شعاع قوس افقی حداقل برابر ۱۹۱ متر باشد.
- شیب طول بین صفر و ۲ درصد باشد.
- عرض خط تردد برابر با ۳/۶ متر باشد.
- فاصله خطر از لبه راه حداقل برابر ۱۵ متر باشد.
- طول ناحیه خطر برابر یک کیلومتر باشد.

رابطه AMF به دست آمده به شرح زیر است:

$$AMF_{RS} = F_{HC} \times F_{VG} \times F_{LW} \times L_H \times \left[\frac{P(A/E_X)}{P(A/E_{15})}\right] \quad (۲)$$

در این رابطه:

AMF_{RS} = ضریب تعدیل تصادف برای کناره‌های راه

F_{HC} = ضریب مربوط به تاثیر قوس افقی

F_{VG} = ضریب مربوط به تاثیر شیب طولی

F_{LW} = ضریب مربوط به تاثیر عرض خط تردد

$P(A/E_X)$ = احتمال برخورد با یک خطر به فاصله X از لبه راه در صورت انحراف از راه به کناره‌ها

$P(A/E_{15})$ = احتمال برخورد با یک خطر به فاصله ۱۵ متر از لبه راه در صورت انحراف از راه به کناره‌ها

۶-۱-۲ ضریب تعدیل برای قوس‌های افقی

این ضریب بر اساس مدل پیشنهادی در ایران برای پیش‌بینی تعداد تصادفها واقع در قوس‌های افقی [صفارزاده، شعبانی و آزرمی، ۱۳۸۶] به دست آمده است. شرایط پایه برای قوسهای افقی شرایطی انتخاب می‌شود که در آن شعاع قوس افقی برابر با ۱۲۸۲ متر باشد. رابطه AMF به دست آمده به شرح زیر است:

$$AMF_{HC} = 2.68\left(\frac{572.96}{R}\right)^2 - 2.39\left(\frac{572.96}{R}\right) + 1.535 \quad (۳)$$

در این رابطه:

AMF_{HC} = ضریب تعدیل تصادف برای قوسهای افقی

R = شعاع قوس افقی بر حسب متر

۶-۱-۳ ضریب تعدیل تصادف برای عرض خط تردد و کیفیت سطح رویه

این رابطه AMF بر اساس مدل برهم‌کنش ویژگیهای روسازی راه و حجم ترافیک بر روی نرخ تصادفهای جاده‌های دوخطه برون‌شهری [عامری و ملکوتی، ۱۳۸۶] به دست آمده است. شرایط پایه برای ویژگیهای روسازی و عرض راه چنان انتخاب

می‌شود که در آن عرض هر خط تردد برابر با ۳/۵۶ متر (عرض راه دوخطه برابر با ۷/۳ متر)، شاخص خرابی رویه برابر با ۱۰۰ و عدد مقاومت لغزندگی سطح رویه برابر با ۶۰ باشد. رابطه AMF به دست آمده به شرح زیر است:

$$AMF_{LW-S} = 16620 \times (PCI^{-0.00679}) \times (SN^{-0.665}) \times (LW^{-5.379}) \quad (٤)$$

در این رابطه:

LW = عرض هر خط تردد بر حسب متر

PCI = شاخص خرابی رویه

SN = عدد مقاومت لغزندگی

٦-١-٤ ضریب تعدیل تصادف برای قوسهای قائم

در اینجا، شرایط اسمی یا پایه برای قرارگیری قائم، شامل قطعه راهی بدون قوس قائم فرض می‌شود. ضریب AMF مربوط به یک قوس قائم، می تواند رفتاری را نشان دهد که در آن تفاوت میزان تصادفها با شرایط عدم حضور هیچ گونه قوس قائمی نشان داده می‌شود. این ضریب AMF کلیه انواع تصادفها یک قطعه را نشان می‌دهد و صرفاً مربوط به انواع تصادفها موردنظر برای عرض‌های خط و شانه نمی‌شود. ضریب AMF برای یک قوس قائم در مطالعات گذشته [آیتی و بهنود، ۲۰۰۸] به شرح روابط زیر به دست آمده است.

$$SSD_{nec} = 0.0163S^2 + 0.401S + 2.9 \quad (٥)$$

$$SSD_{ex} \le L_{vc} : SSD_{ex} = \sqrt{\frac{404L_{vc}}{A}} \quad (٦)$$

$$SSD_{ex} > L_{vc} : SSD_{ex} = \frac{1}{2}(L_{vc} + \frac{404}{A}) \quad (٧)$$

$$L_r = SSD_{nec} - SSD_{ex} \quad (٨)$$

$$AMF_{VC} = (\frac{L_r}{L_{vc}}).F_{ar} + 1 \quad (٩)$$

در این روابط:

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_{VC}= ضریب تعدیل تصادف برای قوس قائم محدب

٦-١-٥ ضریب تعدیل تصادف برای پلها

این ضریب AMF با استفاده از مفهوم شاخص ایمنی پل که برای پلهای کم‌عرض در ایران ارایه شده است [آیتی و واحدی، ۱۳۸٦] به شرح زیر به دست می‌آید:

$$AMF_B = \frac{95}{BSI} \quad (١٠)$$

در این رابطه:

BSI = شاخص ایمنی پل

بیشترین رقم ممکن این شاخص برای یک پل برابر با ۹۵ است. از این رو مجموعه شرایطی که منجر به شاخص ایمنی ۹۵ برای یک پل می‌شود، به عنوان شرایط پایه در نظر گرفته می‌شود.

٦-٢ هزینه و توزیع شدت تصادفها

هزینه های مربوط به تصادفها مطابق جدول (۱) و از پژوهش انجام شده توسط آیتی [آیتی، ۱۳۸٤] استخراج شده است. هزینه متوسط بر اساس وزن هر سطح شدت تصادف (فوتی، جرحی یا خسارتی) و تعداد تصادفها در هر سطح محاسبه شده است.

همچنین، با استفاده از اطلاعات ارایه شده در مرجع نسبتهای مربوط به توزیع شدت تصادفها برای تصادفهای فوتی، جرحی و خسارتی به ترتیب برابر با ۲/۵، ۲٦/۸ و ۷۰/۷ درصد به دست می‌آید.

٦-٣ نرخ تنزیل[۷] و دوره ارزیابی

در این تحقیق از نرخ تنزیل ۱۲ درصد که در دو نشریه معتبر سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور [سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۱۳۸٦] توصیه شده استفاده می‌شود. البته می‌توان تاثیر سایر نرخهای معرفی شده در مراجع دیگر را در بازه بین ۸ درصد تا ۱۲ درصد بر نتایج تحلیل بهینه‌سازی بررسی کرد.

در اینجا دوره تحلیل به عنوان دوره تأثیر عملکرد ایمنی اصلاحات هندسی انجام شده تا زمانی که نرخ تصادفها فقط به دلیل افزایش حجم تردد و تغییر کیفیت سطح رویه راه افزایش می‌یابد تعریف می‌شود. این تعریف از آن جهت است که اثربخشی ایمن‌سازی حاصل از تدابیر ایمن‌سازی اتخاذ شده در طول دوره تحلیل ثابت فرض شود. به عبارت دیگر، می‌توان گفت در طول دوره تحلیل اثربخشی ایمنی راهکارهای اصلاح هندسی ارایه شده تغییری نخواهد کرد و فقط افزایش حجم تردد و تغییرات کیفیت سطح رویه در طول راه است که منجر به افزایش تصادفها خواهد شد. این افزایش تصادفها به صورت تغییر نرخ تصادف از مقدار کاهش یافته آن در پی عملیات ایمن‌سازی تا حد بازگشت به نرخ تصادف معادل با نرخ تصادفها قبل از ایمن‌سازی تعریف می‌شود.

با استفاده از این مفهوم مقدار N به عنوان دوره ارزیابی برابر با ۹ سال به دست آمده است. با استفاده از همین رویکرد مقدار N برای ضرایب رشد ترافیک ٪۳ و ٪۵ به ترتیب برابر با ۱۲ سال و ۷ سال به دست می‌آید که می‌توان اثر این دو دوره تحلیل را بر روی نتایج بررسی کرد.

۷. تدوین فرایند گام به گام ارزیابی و بهینه‌سازی

در این دستگاه بهینه‌سازی هدف به حداکثر رساندن منفعت خالص حاصل از اجرای همزمان چند پروژه ایمن‌سازی و اصلاح هندسی مسیر در چند قطعه یا موقعیت متفاوت با یک بودجه محدود از پیش تعیین شده است، با رعایت این نکته که در هر موقعیت یا قطعه راه مورد بررسی یک و فقط یک مجموعه از گزینه‌های ایمن‌سازی مطرح در پروژه به عنوان پیشنهاد برتر باید معرفی شود. در ادامه، مراحل تشکیل فرآیند بهینه‌سازی در پروژه‌های ایمن‌سازی راه ارایه می‌شود.

۷-۱ گام ۱: معرفی محورهای مورد مطالعه

به طور کلی این مرحله از فرآیند تخصیص به عنوان اولین گام آن، می‌تواند نتیجه‌ای از سیاستها، مطالعات و فعالیتهای گذشته در زمینه اولویت‌بندی مقاطعی از راه باشد که نیاز به ارتقای سطح ایمنی راه در آنها مشاهده می‌شود. در سالهای اخیر طرحهای گسترده جهت شناسایی و رفع نقاط حادثه‌خیز از جمله فعالیتهای اساسی در این زمینه بوده است. در این راستا از شاخصها، شیوه‌ها و مدلهای آماری گوناگونی که طی فعالیتهای تحقیقاتی گوناگون ارایه گردید، بهره گرفته شده است. در بررسی سایتها و مسیرها حداقل اطلاعات مانند نام منطقه، شماره قطعه مورد بررسی، طول مسیر و سایر مشخصات باید به منظور معرفی هر قطعه راه مورد مطالعه در فرایند تخصیص منابع جمع‌آوری و در گزارشهای مقدماتی طرح ایمن‌سازی گنجانده شود.

- نام منطقه

جدول ۱. اطلاعات هزینه تصادفها برون‌شهری [آیتی، ۱۳۸٤]

هزینه متوسط یک فوت		۱۸۱۰ میلیون ریال
هزینه متوسط یک معلولیت دائم		۲۸۲۲ میلیون ریال
کل هزینه	۵۷۲۵۷/۵	۷۵/۵ درصد تصادفها فوتی
برون‌شهری	میلیارد ریال	۲۱/۸ درصد تصادفها جرحی
		۲/۷ درصد تصادفها خسارتی
رشد متوسط سالانه هزینه تصادفها جاده‌ای ایران در فاصله سال های	نرخ ثابت	۱۰/۵ درصد
۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳	نرخ جاری	۲٦/٦ درصد
کل هزینه برون‌شهری		۵/۰ درصد تولید ناخالص ملی
		۱۱/۱۸ برابر بودجه کل سالانه ساخت و نگهداری راه‌های کشور
هزینه متوسط یک تصادف فوتی برون‌شهری		۱/۷ میلیارد تومان
هزینه متوسط یک تصادف جرحی برون‌شهری		٤۵ میلیون تومان
هزینه متوسط یک تصادف خسارتی برون شهری		۱/۸ میلیون تومان

- شماره قطعه مورد بررسی
- شرح خلاصه‌ای از وضعیت کنونی راه
- نوع منطقه از نظر توپوگرافی
- طول مسیر
- تردد متوسط روزانه (ADT)
- تعداد تصادفها سالانه
- سرعت حرکت متوسط وسایل نقلیه
- عرض فعلی خطوط تردد
- مشخصات هندسی فعلی مسیر

۷-۲ گام ۲: ثبت مشخصات فنی محورهای انتخاب شده

این مرحله به عبارتی بخشی دیگر از مرحله ورود داده‌ها در فرآیند تحلیل است. منظور از مشخصات فنی، ابعاد و ویژگیهای هندسی و محیطی برای آن دسته از جوانب طرح است که برای آنها ضرایب کاهش تصادف با استفاده از مدلهای پیش‌بینی تصادفها به دست آمده است. این جوانب پنج‌گانه شامل عرض خط تردد و وضعیت خرابی آسفالت، قوسهای افقی، قوسهای قائم، کناره‌های راه و پلهای کم عرض می‌شود. در مطالعات آینده می‌توان جوانب دیگری از راه چون تقاطعهای هم‌سطح و علائم افقی و عمودی را مورد بررسی قرار داد. در ابتدای فرآیند تحلیل و در مرحله مطالعات مقدماتی طرح ایمن‌سازی باید شرح خلاصه‌ای از مشکلات فنی و هندسی راه که بیشترین احتمال تأثیر بر تصادفها را دارند تهیه شود. در این گزارش مقدماتی می‌بایست مشخصات فنی و هندسی کلیه جوانب در نظر گرفته شده برای تحلیل بهینه‌سازی ثبت شود.

۷-۳ گام ۳: ارایه پیشنهادهای اصلاحی مناسب برای هر قطعه راه

در این مرحله در هر قطعه راه مجموعه‌ای از راهکارهای اصلاحی برای هر یک از جوانب هندسی که نیاز به اصلاح و ارتقای ایمنی در آن احساس می‌شود به عنوان پیشنهادهای اولیه طرح ارایه می‌گردد. برای این منظور کلیه مشخصات فنی و هندسی برای آن دسته از جوانب هندسی که در جدول (۱) ذکر شده است برای شرایط بعد از اصلاح ثبت می‌شود. همراه با وارد کردن هر کدام از عناصر اصلاحی هزینه‌های اجرایی مربوط به هر عنصر نیز توسط کاربر وارد می‌شود که برای هر قطعه راه مجموع هزینه‌های اصلاحی هر دسته از عناصر مربوط به یک مشخصه هندسی راه توسط مدل محاسبه می‌شود. ضرایب کاهش تصادف برای هر عنصر اصلاحی و برای هر قطعه راه نیز اطلاعاتی است که توسط مدل تخصیص منابع مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

۷-٤ گام ٤: تشکیل کلیه گزینه‌های ممکن

در این مرحله از فرآیند تخصیص منابع کلیه گزینه‌های ممکن که متشکل از ترکیب پیشنهادهای اصلاحی ناسازگار برای هر قطعه راه است توسط مدل تشکیل می‌شود. به عبارت دیگر، این مرحله از تحلیل توسط مدل انجام می‌شود و نیازی به وارد کردن اطلاعات توسط کاربر نیست. تشکیل گزینه‌های ناسازگار از یک مجموعه از پیشنهادهای داده شده براساس شمارش همه ترکیب‌های ممکن پیشنهادها عمل می‌کند. تعداد گزینه‌های ناسازگار برای K پیشنهاد مختلف برابر با 2^K گزینه است [شهید پور و آیتی، ۱۳۸٦] و در صورتی که برای نشان دادن پذیرش یا رد یک پیشنهاد از یک متغیر دوتایی ۱ یا ۰= X_i استفاده شود، ۳۲ گزینه ممکن برای ۵ پیشنهاد ناسازگار P۱ تا P۵ به شرح جدول (۲) خواهد بود. در این جدول همه عناصر گزینه A۰ به عنوان گزینه «هیچ کار»[۸] برابر با صفر است و در مقابل آن تمام عناصر پیشنهادی در گزینه A۳۱ برابر ۱ است که به معنای پذیرش تمام پیشنهادهای ارایه شده در قالب این گزینه است. در این مدل پیشنهادهای P۱ تا P۵ شامل پیشنهادهای ارایه شده برای هر قطعه راه است که به ترتیب معرف اصلاحات مربوط به عرض راه و کیفیت سطح آسفالت، قوسهای افقی، قوسهای قائم، کناره‌های راه و پلهای کم عرض است.

۷-۵ گام ۵: محاسبه منفعت ایمنی[۹] حاصل از هر یک از گزینه‌های ترکیبی

پس از تشکیل گزینه‌های سرمایه‌گذاری متشکل از پیشنهادهای

جدول ۲. تشکیل ۳۲ گزینه از ۵ پیشنهاد ناسازگار

گزینه‌ها	پیشنهادها				
	P1	P2	P3	P4	P5
A0	0	0	0	0	0
A1	0	0	0	0	1
A2	0	0	0	1	0
A3	0	0	0	1	1
A4	0	0	1	0	0
A5	0	0	1	0	1
A6	0	0	1	1	0
A7	0	0	1	1	1
A8	0	1	0	0	0
A9	0	1	0	0	1
A10	0	1	0	1	0
A11	0	1	0	1	1
A12	0	1	1	0	0
A13	0	1	1	0	1
A14	0	1	1	1	0
A15	0	1	1	1	1
A16	1	0	0	0	0
A17	1	0	0	0	1
A18	1	0	0	1	0
A19	1	0	0	1	1
A20	1	0	1	0	0
A21	1	0	1	0	1
A22	1	0	1	1	0
A23	1	0	1	1	1
A24	1	1	0	0	0
A25	1	1	0	0	1
A26	1	1	0	1	0
A27	1	1	0	1	1
A28	1	1	1	0	0
A29	1	1	1	0	1
A30	1	1	1	1	0
A31	1	1	1	1	1

منسوب به اصلاح هندسی عناصر راه، میزان تأثیر کلی هر یک از این گزینه‌های ترکیبی با استفاده از ضریب ترکیبی AMF در هر یک از قطعات راه سنجیده می‌شود. به عبارت دیگر در گزینه شماره j در قطعه راه شماره i یک ضریب AMF_{ij} به دست می‌آید که با استفاده از این ضریب تعداد کاهش تصادف برای هر دسته از عملیات اصلاحی محاسبه می‌شود. در نهایت مقدار منفعت به‌دست آمده برای هر مجموعه عملیات در قالب گزینه j و در قطعه راه I به شرح رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$B_{ij} = AN_i(1-AMF_{ij})(r_F \cdot AC_F + r_I \cdot AC_I + r_{PDO} \cdot AC_{PDO})(P/A,r,N) \quad (11)$$

یادآوری می‌شود که در رابطه (۱۱) عامل (P/A, r, N) به منظور تبدیل مقادیر یکنواخت سالانه منفعت حاصل از کاهش تصادف به‌ارزش فعلی آن استفاده شده است. همچنین در این رابطه پارامتر AN_i تعداد تصادفها سالانه فعلی در سایت یا مسیر شماره i است.

۷-۶ گام ٦: محاسبه هزینه اجرایی برای هر کدام از گزینه‌های ممکن

به طور کلی، هزینه‌های اجرایی مربوط به هر یک از پیشنهادهای ارایه شده توسط کاربر، رقمی است که به عنوان ورودی توسط کاربر در مدل تخصیص وارد می‌شود. با تشکیل گزینه‌های سرمایه‌گذاری مجموع هزینه‌های اجرایی هر ترکیب از پیشنهادها نیز توسط مدل محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که هزینه‌های اجرایی می‌بایست بسته به محتوای پیشنهادها و سطح عملیات اجرایی مربوط به هر نوع اصلاح هندسی در برنامه قید شود.

۷-۷ 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 (رابطه ۱). این رقم به عنوان یک معیار کارآیی برای هر گزینه شناخته می‌شود و

براساس این معیار است که مقرون به صرفه‌ترین گزینه از بین کلیه گزینه‌های ممکن انتخاب می‌شود. طبق تعریف، گزینه هیچ‌کار به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن هیچ کدام از پیشنهادهای ارایه شده، توسط مدل مورد پذیرش قرار نگرفته است. برای این گزینه هر دو مقدار منفعت نهایی و همچنین هزینه اجرایی عملیات اصلاحی برابر با صفر است و بنابراین مقدار منفعت خالص نیز برابر با صفر به دست می‌آید.

۸-۷ گام ۸: انجام عملیات بهینه‌سازی

پس از مشخص شدن مقادیر سود خالص برای هر گزینه در هر قطعه راه مورد تحلیل، در این مرحله نوبت به انتخاب برترین گزینه در بین هر سایت یا مسیر می‌رسد، به نحوی که مجموع هزینه اجرایی در کلیه سایتها کمتر از بودجه تعریف شده موجود باشد. طبق تعریف، برترین گزینه به آن دسته عملیات ایمن‌سازی اطلاق می‌شود که بیشترین سود خالص را در پی داشته باشد. به این منظور لازم است تا مجموع مقادیر سود 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 قابل انتخاب است و بنابراین مقادیر سود خالص مربوط به این تک گزینه‌ها در کلیه سایتها با یکدیگر جمع شده و مقدار آن به حداکثر می‌رسد. قید دیگر که رایج‌ترین قید قابل تعریف در اکثر برنامه‌های بهینه‌سازی اقتصادی است قید بودجه۱۰ نامیده می‌شود که هدف از بیان آن در نظر گرفتن حداکثر سقف هزینه‌های قابل پرداخت برای اجرای عملیات بهینه‌سازی در کلیه سایتهاست. چنین اهداف و محدودیتهایی به آسانی توسط یک دستگاه برنامه‌ریزی خطی صفر- یک قابل تعریف است. در روابط (۱۲) تا (۱٦) دستگاه برنامه‌ریزی خطی برای بیان تعابیر فوق ارایه شده است.

$$Max: TB = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} NB_{ij} \cdot X_{ij} \qquad (۱۲)$$

تحت محدودیتهای زیر:

$$\forall_i : \sum_{j=1}^{n} X_{ij} = 1 \qquad i = 1,\cdots,m \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} C_{ij} \cdot X_{ij} \le Budget \qquad (۱٤)$$

در این روابط:

TB= مجموع سود خالص در بین کلیه m سایت مورد تحلیل

m= تعداد سایت‌ها یا مسیرهای مورد تحلیل

n= تعداد گزینه‌های ممکن برای هر سایت (برای ۵ عنصر پیشنهادی اشاره شده در این تحقیق: n=۳۲)

X_{ij}= متغیر تصمیم (برابر صفر یا یک) در سایت i و گزینه j

NB_{ij}= مقدار سود خالص برای گزینه j در سایت i

C_{ij}= مجموع هزینه‌های اجرایی برای گزینه j در سایت i

Budget= مقدار کل بودجه موجود برای کلیه سایتها

متغیر تصمیم X_{ij} در این روابط، متغیری است که با هدف بیشینه کردن مقدار منفعت خالص مربوط به کل پروژه برابر با صفر یا یک به دست می‌آید. یادآوری می‌شود که این متغیر برای هر سایت، فقط و فقط برای یک مجموعه راهکار پیشنهادی برابر با عدد یک به دست می‌آید. در رابطه (۱۲) تابع تعریف شده تابع هدف دستگاه برنامه‌ریزی خطی است که به حداکثر رسیدن مجموع مقادیر سود خالص برای کلیه سایت‌ها را مطالبه می‌کند. رابطه (۱۳) نیز آن دسته از قیدهای دستگاه برنامه‌ریزی خطی است که انتخاب فقط یک گزینه از بین کلیه گزینه‌های ترکیبی ممکن را نشان می‌دهد. همچنین رابطه (۱٤) عدم تجاوز مجموع هزینه‌های اجرایی در بین کلیه سایتها را از مقدار بودجه‌ای 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 امکان پذیر می‌سازد.

۸. برنامه نرم‌افزاری تخصیص منابع در پروژه‌های ایمن‌سازی راه

با توجه به مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی صفر- یک نیاز است تا در تشکیل مدل مورد نظر ازآن دسته از نرم‌افزارهای مبنایی بهره گرفته شود که دارای قابلیت حل مسایل برنامه‌ریزی خطی و نظایر آن باشند. بدیهی است که چنین قابلیتی می‌بایست بیشترین توانایی را برای برقراری رابطه با بخشهای ورودی و خروجی برنامه تخصیص داشته باشد. نرم‌افزار Excel که از جمله نرم‌افزارهای

کاربردی در مجموعه نرم‌افزارهای Microsoft Office است، چنین نیازی را با در بر گرفتن قابلیت‌های زیر برآورده می‌سازد.

- بهره‌گیری از صفحات گسترده (Spread Sheets) و کاربرگها (Worksheets) برای انجام محاسبات سلول به سلول و کاهش حجم زیادی از دستورهای تکراری که باید بر روی مجموعه گسترده‌ای از داده‌ها اعمال شود
- برقراری ارتباط مستقیم بین سلولهای مربوط به چند کاربرگ محاسباتی با یکدیگر
- عدم نیاز به فرمها، زیرروالها و دستورهای محاسباتی توسط قابلیت‌های Visual Basic در بسیاری از حالتهای ورودی اطلاعات
- غیرفعال کردن تمامی سلولهایی که در آنها رابطه‌های محاسباتی و منطقی گنجانده شده و در نتیجه تغییرناپذیری سلولها در مقابل دخالت کاربران
- بهره‌گیری از توابع محاسباتی و منطقی مختلف
- قابلیت نمایش ارقام مربوط به داده‌ها و اطلاعات ورودی و خروجی با تعداد ارقام اعشاری مناسب
- مهم‌تر از کلیه موارد فوق، امکان بهره‌گیری مستقیم از قابلیت حل مسایل بهینه‌سازی به روشهای برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی

برنامه ارایه شده در محیط Excel از هشت کاربرگ به شرح زیر تشکیل شده است:

- کاربرگ مشخصات عمومی سایت (Sites)
- کاربرگ مشخصات عرض خط تردد و کیفیت رویه آسفالت (LW & Surface)
- کاربرگ مشخصات قوسهای افقی (Hor. Curves)
- کاربرگ مشخصات قوسهای قائم (Ver. Curves)
- کاربرگ مشخصات نواحی خطر کناره های راه (Roadsides)
- کاربرگ مشخصات پلهای کم‌عرض (Bridges)
- کاربرگ محاسبات اصلی (Calculation)
- کاربرگ خروجی‌های تحلیل (Outputs)

در انتها، نتایج نهایی فرآیند تحلیل بهینه‌سازی به صورت عبارت‌های کدبندی شده ارایه می‌شود. این کد شامل حروف مشخصه هر نوع از عملیات اصلاح هندسی و شماره سایت مربوط به آن می‌شود. در جدول (۳) معنی هر یک از عبارتهای مزبور نشان داده شده است.

۹. مطالعه موردی و بررسی نتایج

مسیرهای مورد مطالعه در این تحقیق شامل پنج محور دوخطه دوطرفه در دو استان خراسان رضوی و خراسان شمالی می‌شود که مشخصات عمومی آنها در جدول (٤) ارایه شده است. اطلاعات مربوط به سوابق تصادف در هر پنج محور مورد مطالعه نیز در جدول (۵) نشان داده شده است. این اطلاعات از سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای دو استان مزبور گرفته شده است. در جدول خروجی برنامه نرم‌افزاری ارایه شده برای اجرای فرایند ارزیابی و بهینه‌سازی، مجموعه‌ای از اطلاعات مربوط به راهکارهای پیشنهاد شده در هر سایت ارایه می‌شود. جدول (۵) نمونه‌ای از خروجی‌های مربوط به مطالعه موردی در این تحقیق را برای محور مشهد– سرخس نشان می‌دهد که در آن راهکارهای پیشنهادی، مجموع هزینه‌ها، مجموع منافع، منافع خالص و کاهش تصادف حاصل شده به کاربر ارایه می‌شود. برای این محور یک بودجه ده میلیارد ریالی تعریف شده که هزینه کل می‌بایست از مقدار این بودجه کمتر باشد. راهکارهای پیشنهاد شده گزیده‌ای از همان راهکارهای تعریف شده در گام ۳ فرایند تدوین شده در بند ۵ این مقاله است.

جدول ۳. مفهوم کدهای مشخصه در جملات راهکارهای پیشنهادی

کد مشخصه	مفهوم در جمله راهکار پیشنهادی
LWSj	تعریض خطوط تردد و روکش آسفالت طبق مشخصات فنی وارد شده در سایت j انجام شود.
HCj	اصلاح قوس‌های افقی طبق ترتیب و مشخصات فنی وارد شده در سایت j انجام شود.
VCj	اصلاح قوس‌های قائم طبق ترتیب و مشخصات فنی وارد شده در سایت j انجام شود.
RSj	اصلاح نواحی خطر کناره راه طبق ترتیب و مشخصات فنی وارد شده در سایت j انجام شود.
Bj	اصلاح پل‌های کم‌عرض طبق ترتیب و مشخصات فنی وارد شده در سایت j انجام شود.

جدول ٤. مشخصات عمومی راه‌های مورد مطالعه

نام محور	استان	تعداد سایت‌های مورد مطالعه	مجموع طول سایت‌های مورد مطالعه (km)	مجموع تصادفها در کل سایت‌ها
مشهد- سرخس	خراسان رضوی	٥	٥٠	٢٥٨
بجستان- فیض‌آباد	خراسان رضوی	٤	٤٠	٤٧
بجنورد- آشخانه	خراسان شمالی	٥	٢٥	١١١
آشخانه- چمن‌بید	خراسان شمالی	٤	٢٠	١٢١
چمن‌بید- مینودشت	خراسان شمالی	٢	١٠	٤٥

جدول ٥. اطلاعات مربوط به تصادفها محورهای انتخابی در استان‌های خراسان رضوی و شمالی

تصادفات خراسان رضوی (سال ١٣٨٥)										
محور	تعداد کل تصادف در قطعه حد فاصل کیلومترهای									
	٠-١٠	١٠-٢٠	٢٠-٣٠	٣٠-٤٠	٤٠-٥٠	٥٠-٦٠	٦٠-٧٠	٧٠-٨٠	٨٠-٩٠	بالای ٩٠
مشهد - سرخس	١٧٦	٨٦	٣٤	٣٥	١٦	١٧	٢١	١٤	١١	١٨
بجستان - فیض آباد	١٠	١٥	١٣	٩	٧	٧	٦	١	٠	٠
تصادفات خراسان شمالی (سال ١٣٨٧)										
محور	٠-٥	٥-١٠	١٠-١٥	١٥-٢٠	٢٠-٢٥	٢٥-٣٠	٣٠-٣٥	٣٥-٤٠	٤٠-٤٥	٤٥-٥٠	بالای ٥٠
بجنورد - آشخانه	٤٩	١٧	٢٠	١٩	٢٥	٢٦	٢١	٨	٠	٠	٠
چمن بید - آشخانه	٣٨	١٦	٢٧	٢٣	٢٤	٢٣	٣٢	١٢	٣	٦	٢٣
چمن بید - مینودشت	٣٤	٨	١٥	١٢	٢٥	٨	٢٠	٥	١٩	٢١	٣٠

جدولهای خروجی مربوط به مطالعه موردی در این تحقیق در شکلهای (١) تا (٥) نشان داده شده است که در هر یک جدولهای خروجی راهکارهای پیشنهادی، مجموع هزینه‌ها، مجموع منافع، منافع خالص و کاهش تصادف حاصل شده به کاربر ارایه می‌شود.

برای هر یک از این محورها یک بودجه یک میلیارد ریالی تعریف شده است. در این جدولها راهکارهای پیشنهادی به صورت کدهایی ارایه شده که شرح آنها در جدول (٣) آورده شده است.

جدول ٦. جدول خروجی: نتایج تحلیل در محور مشهد- سرخس

شماره سایت	مجموعه راهکار پیشنهادی	مجموع هزینه‌ها (ریال)	مجموع منافع (ریال)	منافع خالص (ریال)	کاهش سالانه تصادف
١	تعریض راه و اصلاح قوس‌های افقی، قوس‌های قائم، کناره‌های راه و پل‌های کم‌عرض	٤,٧٨٢,٣١١,٤٩٤	١٠٩,٧٦٩,٦٩١,٢٦٧	١٠٤,٩٨٧,٣٧٩,٧٧٣	٣٦/٩٠
٢	تعریض راه و اصلاح پل‌های کم‌عرض	٤,١٢٢,٥٥٨,٦٨٨	٢٧,٠٩٨,٩٧٤,٦٧٠	٢٢,٩٧٦,٤١٥,٩٨٢	٩/١١
٣	هیچ کار انجام نشود	٠	٠	٠	٠/٠٠
٤	اصلاح پل‌های کم‌عرض	٥٢,٩٠٦,٥٨٢	٩٨٥,٠٨٥,٠١٢	٩٣٢,١٧٨,٤٣٠	٠/٣٣
٥	اصلاح قوس‌های افقی، کناره‌های راه و پل‌های کم‌عرض	١,٠٢٨,٢٧٩,٠٢١	٢٢,٧٦١,٥٣٣,٢٦٠	٢١,٧٣٣,٢٥٤,٢٣٩	٩/٨٤
مجموع	---	٩,٩٨٦,٠٥٥,٧٨٥	١٦٠,٦١٥,٢٨٤,٢٠٨	١٥٠,٦٢٩,٢٢٨,٤٢٣	٥٦/١٨

شماره سایت	مجموعه راهکار پیشنهادی	مجموع هزینه ها (ریال)	مجموع منافع (ریال)	منافع خالص (ریال)	کاهش سالانه تصادف
1	LWS1 HC1 VC1 RS1 B1	4,782,311,494	109,769,691,267	104,987,379,773	36.90
2	LWS2 B2	4,122,558,688	27,098,974,670	22,976,415,982	9.11
3	Do Nothing	0	0	0	0.00
4	B4	52,906,582	985,085,012	932,178,430	0.33
5	HC5 RS5 B5	1,028,279,021	22,761,533,260	21,733,254,239	9.84
مجموع	---	9,986,055,785	160,615,284,208	150,629,228,423	56.18

شکل ١. جدول خروجی: نتایج تحلیل در محور مشهد- سرخس

شماره سایت	مجموعه راهکار پیشنهادی	مجموع هزینه ها (ریال)	مجموع منافع (ریال)	منافع خالص (ریال)	کاهش سالانه تصادف
1	RS1 B1	36,545,288	2,251,439,342	2,214,894,054	0.76
2	LWS2 B2	4,220,063,958	17,009,399,992	12,789,336,034	5.72
3	LWS3 RS3 B3	4,250,054,454	15,474,265,754	11,224,211,300	5.20
4	RS4	29,940,000	7,478,285,511	7,448,345,511	2.51
5	No Sites Defined	0	0	0	0.00
مجموع	---	8,536,603,700	42,213,390,600	33,676,786,900	14.19

شکل ۲. جدول خروجی: نتایج تحلیل در محور بجستان- فیض‌آباد

شماره سایت	مجموعه راهکار پیشنهادی	مجموع هزینه ها (ریال)	مجموع منافع (ریال)	منافع خالص (ریال)	کاهش سالانه تصادف
1	HC1 RS1 B1	819,323,616	28,043,325,372	27,224,001,756	9.43
2	HC2 B2	764,648,777	29,091,492,550	28,326,843,773	9.78
3	HC3	244,139,071	18,382,897,629	18,138,758,558	6.18
4	RS4 B4	6,195,887,852	50,924,481,757	44,728,593,905	17.12
5	HC5 RS5 B5	668,651,999	31,368,557,125	30,699,905,126	8.52
مجموع	---	8,692,651,315	157,810,754,433	149,118,103,118	51.02

شکل ۳. جدول خروجی: نتایج تحلیل در محور بجنورد- آشخانه

شماره سایت	مجموعه راهکار پیشنهادی	مجموع هزینه ها (ریال)	مجموع منافع (ریال)	منافع خالص (ریال)	کاهش سالانه تصادف
1	LWS1 HC1 VC1 B1	4,972,982,437	32,859,803,934	27,886,821,497	11.05
2	HC2 B2	355,419,538	21,328,973,605	20,973,554,067	7.17
3	B3	20,839,204	584,061,331	563,222,127	0.20
4	LWS4 RS4 B4	4,315,376,025	20,840,109,113	16,524,733,088	7.01
5	No Sites Defined	0	0	0	0.00
مجموع	---	9,664,617,204	75,612,947,983	65,948,330,779	25.42

شکل ٤. جدول خروجی: نتایج تحلیل در محور چمن‌بید- آشخانه

شماره سایت	مجموعه راهکار پیشنهادی	مجموع هزینه ها (ریال)	مجموع منافع (ریال)	منافع خالص (ریال)	کاهش سالانه تصادف
1	B1	32,160,955	1,338,359,278	1,306,198,323	0.45
2	HC2 RS2 B2	994,953,116	45,369,324,803	44,374,371,687	15.25
3	No Sites Defined	0	0	0	0.00
4	No Sites Defined	0	0	0	0.00
5	No Sites Defined	0	0	0	0.00
مجموع	---	1,027,114,071	46,707,684,081	45,680,570,010	15.70

شکل ۵. جدول خروجی: نتایج تحلیل در محور چمن‌بید- مینودشت

جدول ۷. بررسی نرخ برگشت داخلی منسوب به فعالیت‌های انتخاب شده در مطالعات موردی

نام محور	هزینه کل (ریال)	منافع کل (ریال)	کاهش سالانه تصادف	نرخ برگشت داخلی (٪)	عمده فعالیت‌ها
مشهد- سرخس	۹,۹۸٦,۰٥٥,۷۸٥	۱٦۰,٦۱٥,۲۸٤,۲۰۸	٥٦/۱۸	۳۱٤	– تعریض خطوط تردد به اندازه ۱۰ سانتیمتر و روکش آسفالت – تعریض و نصب گاردریل در محل پل‌های کم‌عرض
بجستان- فیض‌آباد	۸,٥۳٦,٦۰۳,۷۰۰	٤۲,۲۱۳,۳۹۰,٦۰۰	۱٤/۱۹	۳٦۲	– تعریض و نصب گاردریل در محل پل‌های کم‌عرض – برداشتن درختچه‌های گز حاشیه راه تا عمق ۱٥ متر – تعریض خطوط تردد به اندازه ۳۰ سانتیمتر و روکش آسفالت
بجنورد- آشخانه	۸,٦۹۲,٦٥۱,۳۱٥	۱٥۷,۸۱۰,۷٥٤,٤۳۳	٥۱/۰۲	٦۸۲	– اصلاح قوس‌های افقی تیز – برداشتن ترانشه‌های خاکی حاشیه راه – تعریض و نصب گاردریل در محل پل‌های کم‌عرض
چمن‌بید- آشخانه	۹,٦٦٤,٦۱۷,۲۰٤	۷٥,٦۱۲,۹٤۷,۹۸۳	۲٥/٤۲	٤٥٦	– تعریض و نصب گاردریل در محل پل‌های کم‌عرض
چمن‌بید- مینودشت	۱,۰۲۷,۱۱٤,۰۷۱	٤٦,۷۰۷,٦۸٤,۰۸۱	۱٥/۷۰	۱۱۰۰	– تعریض و نصب گاردریل در محل پل‌های کم‌عرض – جابجایی ردیفی طولانی از تیرهای چراغ برق تا فاصله ۱٥ متری از لبه راه

منافع خالص به دست آمده در این جدولها بر اساس نرخ تنزیل ۱۲ درصد و دوره ارزیابی ۹ سال به دست آمده است. یکی از پرکاربردترین معیارهای معرفی شده در زمینه مقایسه کارآیی طرحها و گزینه‌های مهندسی مختلف، نرخ برگشت داخلی (IRR)[11] است که به خوبی توجیه‌پذیری یک طرح سرمایه‌گذاری را نشان می‌دهد. با توجه به مقدار متوسط هزینه هر تصادف برون‌شهری که بر اساس مقادیر هزینه تصادفها در جدول (۱) و توزیع شدت تصادفها در بخش (۲-۵) برابر با ۵۵۸,۳۲۸,۰۰۰ ریال به دست می‌آید و همچنین مجموع مقادیر کاهش سالانه تصادف و هزینه‌های اجرایی، مقادیر نرخ برگشت داخلی برای مجموعه راهکارهای اصلاح هندسی و محیطی در هر یک از محورها در جدول (٦) نشان داده شده است.

در جدول (٦) مشاهده می‌شود که به نسبت گستردگی حجم عملیات پیاده شده و همچنین میزان کاهش تصادف در هر محور، طیف وسیعی از آثار اقتصادی حاصل از هزینه‌کرد طرحهای مختلف عاید خواهد شد. نرخ برگشت داخلی به عنوان معیار مورد کاربرد در این مقایسه به خصوص برای آن دسته از ترکیب راهکارهایی که شامل گزینه‌های اصلاحی کم‌هزینه می‌شوند دارای ارزش چشمگیری خواهد بود. بر اساس یافته‌های این جدول حداقل مقدار نرخ برگشت داخلی برای محورهایی به دست می‌آید که شامل اقدام نسبتاً پرهزینه‌ای مانند تعریض خطوط تردد و روکش آسفالت می‌شوند، لیکن باز هم این نرخ از مقدار قابل توجهی در حدود ۳۵۰ درصد برخوردار است که در بعضی از مطالعات دیگر [آیتی و واحدی ۱۳۸٦] نیز به رقمی نزدیک به آن اشاره شده است. اما برای گزینه‌های اصلاحی بسیار کم هزینه و در عین حال پربازده مانند جابجایی تیرهای برق، نرخ برگشت بسیار چشمگیری ملاحظه می‌شود که شاید در کمتر مواردی بتوان به این رقم قابل توجه رسید. با توجه به این نتایج، از گزینه‌های اصلاحی دیگری که باعث بالا رفتن نرخ برگشت طرحهای ایمن‌سازی راه می‌شود و در تمامی محورهای مورد بررسی توصیه شده است، اصلاح پلهای کم‌عرض به خصوص از طریق نصب گاردریل و تعریض مسیر در محل پل است.

۱۰. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

آگاهی از شرایط ایمنی موجود در راه‌ها (میزان تصادفها و مشخصات فنی)، تسلط بر چگونگی طبقه‌بندی بودجه‌ها و نحوه توزیع آنها در پروژه‌های رقیب یکدیگر، شناسایی نیازها و نواقص موجود در وضعیت ایمنی جاده‌ای و در نهایت انتخاب صحیح و بهینه راهکارها در پاسخ به این نیازها عواملی است که می‌تواند فرآیند تخصیص منابع در پروژه‌های ایمن‌سازی راه را در چارچوب تعریف شده مدیریت دارایی جای دهد. در این راه به بهره‌گیری از شیوه‌های نظری نوین در ارزیابی اقتصادی و بهینه‌سازی طرحها و ابزارهای نرم‌افزاری پشتیبان در اجرای این روشها نیاز است. با اجرای فرآیند بهینه‌سازی بر اساس الگوی ارایه شده در این مقاله می‌توان در صورت عدم رضایت از نتایج حاصل شده در خصوص تعریف عناصر پیشنهادی وارد شده توسط کاربر، دسته دیگری از عناصر اصلاح هندسی را با مقادیر متفاوت هزینه‌های اجرایی در روند تخصیص وارد کرد مورد تحلیل قرار داد. به طور مثال، می‌توان نوع و مقیاس اصلاح قوسهای افقی را برای یک سایت تغییر داده و عمل بهینه‌سازی را مجدداً انجام داد تا زمانی که مطلوب‌ترین شکل اصلاح حاصل شود. از الگوی ارایه شده در این تحقیق می‌توان در برنامه‌ریزی طرحهای رفع نقاط پرتصادف استفاده کرد.

با توجه به محدودیتهای فرایند ارایه شده، توصیه‌هایی که به منظور توسعه و افزایش قابلیت‌های کاربردی این فرایند و برنامه پشتیبان آن ارایه می‌شود به شرح زیر است:

- مطالعه و بررسی سایر مدلهای تصادفها که احتمالاً در سالهای آینده در ایران ارایه خواهد شد،
- گنجاندن سایر آثار اقتصادی ناشی از اجرای اصلاحات ایمن‌سازی راه (مانند تاثیر بر کاهش زمان سفر و هزینه‌های آن) در فرایند ارزیابی و بهینه‌سازی،
- توسعه محدوده مطالعه اقتصادی و بهینه‌سازی به راهها چندخطه و یا غیرآسفالته،
- بهره‌گیری از سایر معیارهای تحلیل اقتصادی مانند نسبت هزینه- فایده، نرخ برگشت داخلی و دوره برگشت سرمایه

به‌عنوان معیارهای تکمیلی.

موارد فوق توصیه‌هایی است که در جهت توسعه عناصر فرایند و برنامه ارزیابی اقتصادی و بهینه‌سازی ارایه شده است. امّا فراتر از این موارد توصیه می‌شود که امکان تحلیل مجدد سایتهای مورد مطالعه و ارایه پیشنهادهای دیگری از اصلاح هندسی راه در صورت عدم رضایت از نتایج به دست آمده بر اساس یک معیار مناسب برای تعیین این رضایت‌بخشی در برنامه فراهم شود. این امر به رویّه کلی تحلیل کمک می‌کند که تا حد ممکن نتایجی مطلوب از نظر اقتصادی به دست آید. همچنین توصیه می‌شود که در تحقیقات آینده بررسی تاثیر بودجه‌ها بر نتایج تحلیل و مفهوم «بودجه بهینه» در دستور کار پژوهشگران قرار گیرد.

۱۱. سپاسگزاری

این مقاله در پی ارایه گزارشی تحقیقاتی در همین زمینه در پژوهشکده حمل‌ونقل و با همکاری مهندسین مشاور «بهبود راه» گردآوری شده است. همچنین از جناب آقای دکتر اسماعیل آیتی، عضو محترم هیأت علمی دانشگاه فردوسی مشهد، به دلیل در اختیار گذاشتن نتایج مطالعات هزینه تصادفها و منابع مربوط به مدلهای تصادفها در ایران، کمال سپاسگزاری و قدردانی به عمل می‌آید.

۱۲. پی نوشتها

1. Safety Management System
2. Resurfacing, Restoration and Rehabilitation Pro jects
3. Cost-Benefit Analysis
4. Net Benefit
5. Total Benefit
6. Accident Modification Factors
7. Discount Rate
8. Do Nothing
9. Safety Benefit
10. Budget Constraint
11. Internal Rate of Return

۱۱. مراجع

– آیتی، اسماعیل (۱۳۸٤) "طرح تحقیقاتی محاسبه هزینه تصادفها جاده‌ای در ایران و ارایه نرم‌افزار مربوطه"، تهران، پژوهشکده حمل‌ونقل

– آیتی، اسماعیل و بهنود، حمیدرضا (۱۳۸۷) "ارتقای الگوریتم تخصیص بهینه منابع در پروژه‌های ۳R"، پژوهشنامه حمل‌ونقل، سال پنجم، شماره ۲، ص. ۱۱٤–۱۰۱.

– آیتی، اسماعیل و بهنود، حمیدرضا (۱۳۸۵) "بررسی کاربرد ضرایب تعدیل تصادف (AMF) در تعیین اثیر مشخصات هندسی مسیر بر میزان تصادفها جاده‌ای"، هفتمین همایش حمل‌ونقل و ترافیک ایران، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران

– آیتی، اسماعیل و واحدی، جوادرضا (۱۳۸٦) "ایجاد مدل شاخص ایمنی ترافیکی در محل پل‌ها در راه‌های ایران"، نشریه دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، سال ۱۹، شماره ۱، ص. ۱۵۲–۱۳۵.

– سازمان مدیریت و برنامه ریزی "نشریه شماره ۳۱۲۲ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، راهنمای تهیه گزارش توجیه طرح" جلد سوم، ۱۳۸٦

– سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (۱۳۸٦) "راهنمای تهیه گزارش توجیه طرح‌های راهسازی"، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

– شهیدی پور، سید محمد مهدی و آیتی، اسماعیل(۱۳۸۱) "اقتصاد مهندسی"، نگارندگان تیوزسن، جی. جی. و فابریکی، دبلیو.، جی ترجمه سید محمد مهدی شهیدی پور و اسماعیل آیتی، مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد.

– صفارزاده، محمود، شعبانی، شاهین و آذرمی، اکبر (۱۳۸٦) "مدل پیش‌بینی تصادفها در قوسهای واقع در راه‌های دوخطه

برون‌شهری"، پژوهشنامه حمل‌ونقل، سال چهارم، شماره ۳، ص. ۲۲۱-۲۱۳.

- عامری، محمود و ملکوتی، محمود (۱۳۸٦)، "برهم‌کنش ویژگی‌های روسازی راه و حجم ترافیک بر روی نرخ تصادفها جاده‌های دوخطه برون‌شهری"، پژوهشنامه حمل‌ونقل، شماره ٤، ص. ۱٤۷-۱۲۵.

- نیکوفر، محمد هادی (۱۳۸۵) "گزارش بررسی وضعیت ایمنی حمل‌ونقل راهها کشور در سال ۱۳۸٤ "، تهران: وزارت راه و ترابری . دبیرخانه کمیسیون ایمنی راههای کشور

- Ayati, E. and Shahidian, M. (2007) "Decision aid for allocation of transportation funds to roadside safety enhancement", Iranian Journal of Science and Technology, Shiraz University, Vol. 31, No. B2 (2007), pp. 143-154.

- Behnood, H., R., Shabani, S. and Rouzikhah, H. (2010), "Determining the accident modification factors based on Iranian road accident models", 4th International Symposium on Highway Geometric Design, Valencia, Spain.

- Bliss, T., Guria, J., Jones, W., Lauridsen, C., Rockliffe, N. and Strachan, G. (1996) "Safety directions: A road safety resource allocation model", Land Transport Safety Authority, Wellington, New Zealand.

- Grile, C., Hunter-Zaworski, K. M. and Monsere, C. M. (2005) "Programming safety improvements on pavement resurfacing, Restoration, and Rehabilitation Projects", 84th TRB Annual Meeting.

- 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.

- Harwood, D., W., Rabbani, E. R., Richard, K. R., McGee, H. W. and Gittings, G. L. (2003) "System-wide impact of safety and traffic operations design decisions for 3R projects", NCHRP Report 486, Transportation Research Board, Washington, D.C.

- Lambert, J. H., Peterson, K. D. and Joshi, N. N. (2006) "Synthesis of quantitative and qualitative evidence for accident analysis in risk-based highway planning", Accident Analysis and Prevention, 38, p.p. 925-935.

- Pal, R. and Sinha, K. C. (1998) "Optimization approach to highway safety improvement programming", Transportation Research Record 1640, p.p. 1-9.