مدیریت راهکارهای ارتقای ایمنی شبکه راه‌ها با لحاظ کردن پارامترهای اقتصادی

مقاله علمی – پژوهشی

محمدعلی زاینده‌رودی، دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی عمران، دانشکدهٔ فنی- مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
نوید ندیمی*، دانشیار، بخش مهندسی عمران، دانشکدهٔ فنی- مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
سید عبدالمجید جلائی اسفند آبادی، استاد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: navidnadimi@uk.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰- پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵
صفحه ۱۶-۱

چکیده

امروزه خسارات زیادی در اثر تصادفات جاده‌ای به شبکه حمل‌ونقل و همچنین افراد جامعه وارد شده که بعضاً جبران‌ناپذیر نیز هستند. این موضوع نیاز مبرم به ارائهٔ راهکار برای ارتقای ایمنی راه‌ها به طور مداوم را نشان می‌دهد. ادارات راهداری بایستی بودجهٔ لازم برای ایمن‌سازی راه‌های کشور را تخصیص دهند. اما مشکل این است که بودجه تخصیص‌داده‌شده به دلیل گستردگی شبکهٔ راه‌های کشور برای انجام اقدامات در حد ایده‌آل کافی نیست؛ بنابراین برای ارتقای ایمنی شبکه راه‌ها این بودجه باید به‌صورت بهینه جهت لحاظ نمودن اولویت‌های ایمن‌سازی تخصیص داده شود.باتوجه به مواردی که بیان شد و اهمیت موضوع ایمنی راه‌های برون‌شهری، یک مدل اقتصادی برای ارتقای وضعیت ایمنی راه‌ها در این مقاله ارائه می‌شود. این مدل با در نظر داشتن وضعیت هندسی راه‌ها و اطلاعات مربوط به تصادفات، همچنین بررسی شرایط اقتصادی جامعه و هزینه اجرای راهکارهای ایمنی، بهترین راهکار برای کاهش تصادفات و تلفات جاده‌ای را مشخص می‌کند. برای انجام بهینه‌سازی از مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح استفاده می‌شود. متغیرهای تصمیم در این مقاله راهکارهای بهبود ایمنی هستند. ضرایب متغیرهای تصمیم در این مدل، احتمال اجرای هر راهکار است که این احتمالات توسط روش بیز ساده، محاسبه می‌شود. همچنین در این مدل محدودیت‌های هندسی و اقتصادی نیز برای انتخاب بهترین راهکار بهبود ایمنی در نظر گرفته شده است. سپس این مدل در یک مطالعه موردی از جاده‌های برون شهری استان کرمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. با استفاده از روش پیشنهادی، با در دست‌داشتن مشخصات عنوان شده از هر قطعه و در نظرگرفتن پارامترهای اقتصادی کشور، راهکار ایمنی بهینه را می‌توان برای جاده‌های برون‌شهری ارائه داد. در نهایت باتوجه‌به شناسایی محور پرتصادف انار-رفسنجان چهار راهکار ایمنی روشنایی مسیر، شیار لرزاننده، گاردیل و ترمیم خرابی‌ها و ناهمواری‌ها به عنوان مناسب‌ترین راهکارها برای این محور معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: ایمنی، راهکار، تحلیل اقتصادی، بهینه‌سازی

۱-مقدمه

در سراسر جهان تصادفات جاده‌ای سالانه جان بسیاری از افراد را گرفته و موجب خسارت‌های سنگینی نیز می‌شود. به طور متوسط سالانه حدود ۱/٤ میلیون نفر در سراسر جهان به دلیل تصادفات جاده ای جان خود را از دست می‌دهند (اقبال و همکاران،۲۰۲۰) و چیزی حدود ۲۰ تا ۵۰ میلیون نفر از افراد معلول یا دچار مجروحیت می‌شوند (پدن و اسمینکی، ۲۰۲۰). یعنی به طور متوسط ۳۰۰۰ نفر در روز فوت و ۳۰ هزار نفر در روز مجروح می‌شوند. همچنین علت اصلی مرگ افراد بین ۱۵ تا ۲۹ ساله با

حدود ۳۰۰ هزار مرگ در سال، تصادفات است (راتاناواراها و سانگکا، ۲۰۱٤). آسیب‌های ناشی از تصادفات جاده‌ای ۲/۱ درصد از مرگ و میر جهانی و ۲/٦ درصد از تمام سال‌های زندگی با معلولیت را تشکیل می‌دهند. کشورهای کم درآمد و با درآمد متوسط سالانه حدود ۸۵ درصد از مرگ و میرهای ناشی از تصادفات را تشکیل می‌دهند و ۹۰ درصد معلولیت‌ها در این کشورها سالانه در نتیجه تصادفات جاده‌ای هستند (پدن و اسمینکی، ۲۰۲۰). بنابراین باتوجه به مواردی که بیان شد پرداختن به بحث ایمنی جاده ای بسیار ضروری است.

بهبود ایمنی راه‌ها با به حداقل رساندن تعداد و شدت تصادفات وسایل نقلیه امکان‌پذیر است که این کار باید با انتخاب اقدامات متقابل و تخصیص بهینه منابع بین راه‌های برون شهری مختلف انجام شود. تصمیم برای اجرای بهبود ایمنی راه‌ها باید بر اساس یک روش معتبر که بیش از یک هدف را در بر می‌گیرد، اتخاذ شود (فور و همکاران،۲۰۰۰). اهداف ایمنی راه‌ها معمولاً با یکدیگر در تعارض هستند. به عنوان مثال، تلاش بیشتر در کاهش نرخ تصادف، به طور مداوم منجر به افزایش هزینه‌های مربوطه می‌شود (بحیرایی و همکاران،۱۳۹۹). توسعه چنین برنامه‌ای مستلزم بررسی دقیق و تجزیه و تحلیل داده‌های تصادفات و استفاده از راهبرد هوشمند تخصیص منابع است (کار و داتا، ۲۰۰٤). به طور معمول، منابع موجود برای پروژه‌ها و برنامه‌های ایمنی برای انجام مجموعه‌ای جامع از اقدامات ایمنی برای کل راه‌های برون شهری کافی نیست. بنابراین، مهم است که منابع موجود به طور مطلوب برای دستیابی به بیشترین مزایای ایمنی کلی استفاده شوند (کافیسو و آگوستینا، ۲۰۱٦)، (کاووسی و همکاران، ۲۰۲۰)، (میشرا، ۲۰۱۳)

۲-پیشینه تحقیق

لیون و همکاران با استفاده از توابع اصلاح تصادف و با درنظرگرفتن فراوانی تصادفات، توانستند تعیین کنند در کجا و در چه شرایطی می‌توان از اقدامات ایمنی به طور مؤثر استفاده کرد. همچنین اثر این اقدامات را با روش بیز تجربی و تجزیه‌وتحلیل هزینه به فایده بررسی کردند (لیون و همکاران،۲۰۲۰). سید و با استفاده از یک روش بیزین کامل با تکنیک بررسی قبل و بعد از تصادفات، وضعیت ایمنی راه‌ها پیش‌بینی می‌کنند. سپس با استفاده از تجزیه‌وتحلیل هزینه به فایده و با دو شاخص ارزش فعلی خالص و نسبت هزینه به سود به بررسی اقتصادی اقدامات ایمنی می‌پردازند (سید و ساشی، ۲۰۱٦). دنیلز و همکاران در یک مطالعه شواهد و اطلاعات مربوط به تجزیه‌وتحلیل هزینه به فایده برای ۲۹ اقدام ایمنی راه در مناطق مختلف را جمع‌آوری کردند. سپس دوباره تجزیه‌وتحلیل ارزش فعلی خالص و BCA را برای این اقدامات انجام دادند. آنها توانستند اقداماتی که کارایی بیشتری داشتند را معین کنند. هدف کلی این مطالعه ایجاد یک پایگاه دانش در مورد اقدامات ایمنی و کارایی اقتصادی آنها بوده است (دنیلز و همکاران، ۲۰۱۹). بهنود و پینو به ارزیابی اقتصادی راهکارهای ایمنی با روش هزینه به کارایی‌باتوجه‌به هزینه اجرای اقدامات ایمنی و همچنین تعداد تصادفات کاهش‌یافته پرداختند. این روش برای تخصیص منابع در مناطق پرخطر انجام شده و بررسی می‌شود درصورتی‌که هزینه تصادفات در دسترس نباشد این روش می‌تواند بهتر از روش BCA باشد. آنها نشان می‌دهند که روش Cost-effectiveness بودجه محدود را به طور مساوی بین تمام قطعات راه توزیع می‌کند. این روش اقدامات ارزان‌تری را انتخاب می‌کند. لازم به ذکر است روش BCA اقدامات گران‌تر با اثرات کاهش تصادف بیشتر را انتخاب می‌کند (بهنود و پینو، ۲۰۲۱). عبدالمنافی و همکاران طی یک مطالعه به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای ارزیابی اقتصادی راهکارهای ایمنی پرداختند. هدف از ارائه این مدل حداکثرسازی کاهش تصادفات باتوجه‌به هزینه اجرای اقدامات ایمنی، فاکتور کاهش تصادفات و هزینه سالانه تصادفات در هر قطعه از راه بود که منجر به تخصیص بهینه منابع موجود به اقدامات ایمنی می‌شود (عبدالمنافی و کارآمد، ۲۰۱۹). الویک در یک مطالعه اظهار دارد که ارزش پولی جسم و جان انسان‌ها بسیار مبهم و نامشخص است و نمی‌توان گفت که هزینه صرف شده برای بهبود ایمنی بسیار کم یا بسیار زیاد است. در روش هزینه به فایده فرض بر این است که ارزش نهایی پول برای افراد فقیر و ثروتمند به یک میزان است؛ بنابراین روش هزینه به فایده نمی‌تواند به‌طورکلی مؤثر باشد و باید تمام تأثیرات اقدامات ایمنی بر طول عمر و سلامت انسان‌ها در نظر گرفته شود (الویک، ۲۰۱۹). باتوجه‌به موارد عنوان شده در ادبیات تحقیق، تا کنون روش‌های مختلفی برای ارائه راهکارهای بهبود ایمنی در جاده‌ها ارائه شده است. این روش‌ها عموماً نیازمند داده‌های تصادفات قبل و بعد از اجرای راهکارهای بهبود ایمنی هستند و با مشکل کمبود داده مواجه‌اند. از طرفی برای

ارزیابی اقتصادی راهکارهای ایمنی روش‌های هزینه به فایده و اثربخشی هزینه تاکنون مورداستفاده قرار گرفته‌اند و تنها متکی به سود و زیان هر راهکار هستند. در این مقاله باتوجه‌به قابلیت‌های روش‌های یادگیری ماشین و با استفاده از نظر متخصصان ایمنی، یک روش جدید برای تعیین بهترین راهکار ایمنی ارائه شده است. مزیت این روش عدم نیاز به داده‌های قبل و بعد تصادفات است. ایجاد یک مجموعه‌داده شامل مشخصات قطعات مختلفی از راه و استفاده از نظر متخصصان برای تعیین راهکار ایمنی متناسب با هر قطعه، قدم اول برای تعیین مناسب‌ترین راهکارهای بهبود ایمنی قطعات راه است. یادگیری مشخصات این قطعات به همراه راهکار ایمنی متناسب با هر قطعه، منجر به تعیین راهکار بهبود ایمنی برای قطعات جدید توسط روش‌های یادگیری ماشین می‌شود.

۳-روش پیشنهادی

هدف از این مقاله معرفی یک روش نوین برای تعیین راهکار ایمن‌سازی با لحاظ‌کردن ملاحظات اقتصادی در راه‌های برون‌شهری است. مدل ارائه شده به نحوی است که با داشتن مشخصات قطعات راه، راهکار ایمنی بهینه و اقتصادی برای آن قطعه را ارائه دهد. در راستای انتخاب بهینه راهکار ایمنی برای این جاده‌ها نیاز به یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح است.

۳-۱- مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح

مدل‌سازی فرایندی است که جهت یافتن بهترین تصمیم‌گیری صورت می‌گیرد. مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح شامل مدل‌های قطعی مانند: برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی عدد صحیح، برنامه‌ریزی غیرخطی و برنامه‌ریزی آرمانی و همچنین مدل‌های احتمالاتی مانند: تئوری صف، تئوری تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی پویایی احتمالی است (چن و همکاران، ۲۰۱٤).

برنامه‌ریزی خطی یکی از مدل‌های برنامه‌ریزی است که در آن تابع هدف و محدودیت‌ها نسبت به متغیرهای تصمیم‌گیری خطی هستند. بدین معنی که در بین متغیرها ضرب و تقسیم وجود ندارد، توان متغیرها یک است و متغیرها درون قدرمطلق قرار نمی‌گیرند.

در بعضی مسائل تخصیص مقادیر پیوسته به متغیرهای تصمیم بی‌معنی است. به همین دلیل در این موارد مقدار متغیرهای تصمیم به‌صورت صفر و یک یا باینری است. ازاین‌رو برنامه‌ریزی عدد صحیح یا برنامه‌ریزی باینری مطرح می‌شود. مدل مورداستفاده در این تحقیق نیز به دلیل اینکه نمی‌تواند مقادیر پیوسته بگیرد، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح است. مقادیر متغیرهای تصمیم‌گیری شامل دو مقدار صفر و یک هستند. مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح شامل سه جزء اصلی است.

۳-۱-۱-متغیر تصمیم‌گیری

برای ایجاد مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح به متغیر تصمیم‌گیری نیاز است که این متغیر تصمیم‌گیری نوع راهکارهای ایمنی اختصاص‌داده‌شده i را به قطعه j به‌صورت زیر مشخص می‌کند.

$$X_{ij} \qquad (۱)$$

۳-۱-۲- تابع هدف

تابع هدف بیانی است از معیار یا معیارهایی که روش ارزیابی تصمیم‌گیرنده را در خصوص ارزش متغیرهای تصمیم نشان می‌دهند و اینکه آن معیار یا معیارها چگونه باید بهینه شوند. در این مقاله هدف از ایجاد این مدل، تعیین راهکار بهینه در قطعه‌های جاده‌های برون‌شهری با لحاظ‌کردن پارامترهای اقتصادی است.

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} P_{i,j} \cdot X_{i,j} \qquad (۲)$$

که در آن:

Z = تابع هدف است که در اینجا راهکار ایمنی مناسب برای قطعات جاده‌ای تعریف می‌گردد.

$X_{i,j}$ = نوع راهکارهای ایمنی اختصاص داده شده i به قطعه j.

$P_{i,j}$ = ضریب انتخاب راهکار ایمنی iام در قطعه jام با توجه به احتمال به دست آمده هر راهکار از قضیه بیز.

٤-محدودیت‌ها

محدودیت‌ها در این مدل شامل دو دسته اصلی می‌شوند. دسته اول محدودیت‌های اقتصادی هستند که باتوجه به شرایط اقتصادی موجود اعمال می‌شوند. دسته بعدی محدودیت‌های متغیرهای تصمیم در مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح است که دو بخش

هستند. بخش اول مربوط به وضعیت پلان قطعات مورد نظر است. از نظر هندسی برخی از راهکارها را نمی‌توان در تمام قطعات اجرا کرد زیرا مرتبط با یک شرایط هندسی خاص هستند؛ بنابراین این بخش از محدودیت راهکارهای غیرقابل اجرا با توجه به وضعیت پلان را مشخص می‌کند. بخش دوم مربوط به بررسی بودجه مورد نیاز برای اجرای راهکارهای ایمنی در قطعه است که نباید کمتر از هزینه اجرای راهکارهای ایمنی باشد.

محدودیت‌های ضرایب تابع هدف

در این تحقیق سه متغیر کلیدی اقتصاد ایران که می‌توانند سرمایه گذاری در ایمن‌سازی جاده‌ها را متأثر سازند مورد توجه قرار گرفته است. آمارها و سناریوهای در نظر گرفته شده، بر اساس روند متغیرها از آمارهای رسمی ایران و صندوق بین‌المللی پول استفاده شده است.در میان شاخص‌های اقتصاد کلان، تولید ناخالص داخلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا نه تنها به‌عنوان مهم‌ترین شاخص عملکرد اقتصادی در تجزیه و تحلیل‌ها و ارزیابی‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد، بلکه بسیاری از دیگر اقلام کلان اقتصاد محصولات جنبی محاسبه و برآورد آن محسوب می‌گردند.

کل ارزش ریالی محصولات نهایی تولید شده توسط واحدهای اقتصادی مقیم کشور در دوره زمانی معین (سالانه یا فصلی) را تولید ناخالص داخلی می‌نامند.

محدودکردن احتمالات با توجه به میانه آماری اعداد بر اساس متغیرهای اقتصادی

باتوجه‌به توضیحات داده شده در بخش‌های قبلی در مورد پارامترهای اقتصادی، اجرای راهکارهای ایمنی پیشنهاد شده در جاده‌ها مشروط به تطابق نرخ‌های اقتصادی هر کشور با صندوق بین‌المللی پول است. چنانچه سرمایه‌گذاری در ایمن‌سازی جاده‌ها در کشوری انجام شود که نرخ‌های اقتصادی آن مطابق با صندوق بین‌المللی پول باشد، با ملاحظات اقتصادی در نظر گرفته شده، مقدار میانه این احتمالات را به دست آورده و با فرض اینکه مقادیری از این احتمالات که کوچک‌تر از میانه هستند شانسی برای انتخاب راهکار متناظر با آنها وجود ندارد، این احتمالات برابر صفر قرار داده می‌شوند. میانه عددی است که یک جمعیت آماری را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند. اعمال این محدودیت‌ها بر روی ضرایب تابع هدف صورت می‌گیرد. در جدول ۱ این محدودیت‌ها بیان شده است. چنانچه رشد اقتصادی در یک کشور کمتر از این میزان و یا نرخ تورم و رشد نرخ ارز بیش از این مقدار باشد، دیگر نمی‌توان احتمالات بالاتر از میانه را در نظر گرفت و این احتمالات باید محدودتر شوند.

جدول ۱. محدودیت‌های اقتصادی

محدودیت	جزئیات	توضیحات
محدودیت ضرایب تابع هدف	If $P_{i,j} < m$ Then $P_{i,j} = 0$	باتوجه‌به مقادیر رشد اقتصادی و تورم و نرخ ارز برای کشورهایی با پارامترهای اقتصادی مطابق با صندوق بین‌المللی پول، مقدار احتمالات موجود باید بالاتر از میانه مقادیر این احتمالات باشد. تمام احتمالات زیر این مقدار صفر در نظر گرفته می‌شوند. m برابر با مقدار میانه احتمالات است.

محدودیت‌های متغیرهای تصمیم

محدودیت‌های مربوط به متغیرهای تصمیم، در دو بخش وضعیت هندسی و محدودیت بودجه در نظر گرفته شده برای اجرای راهکارهای ایمنی ارائه شده‌اند.

محدودیت‌های وضعیت هندسی

در قطعات راه باتوجه‌به اینکه وضعیت پلان قطعه مستقیم یا دارای قوس‌های مختلف است برخی از راهکارها قابل‌اجرا نیستند. در جداول زیر شماره راهکار از جدول ۵ برگرفته شده است و

محدودیت‌ها بر روی $X_{i,j}$ اعمال شده‌اند. که i شماره راهکار ایمنی و j شماره قطعه‌ای است که محدودیت‌های آن بررسی می‌شوند. به طور مثال اگر j یک قطعه با پلان مستقیم باشد محدودیت‌های جدول ۲ را برای این قطعات می‌توان نوشت.

جدول ۲. محدودیت‌های اجرای راهکار در قطعات با پلان مستقیم

محدودیت	جزئیات	توضیحات
محدودیت ۱	$X_{16,1}=0$	وضعیت پلان قطعه مستقیم است و اصلاح قوس افقی در این قطعه کاربردی ندارد.
محدودیت ۲	$X_{17,1}=0$	وضعیت پلان قطعه مستقیم است و تابلو بال کبوتری در این قطعه کاربردی ندارد.
محدودیت ۳	$X_{18,1}=0$	وضعیت پلان قطعه مستقیم است و علائم هشداردهنده شیب در این قطعه کاربردی ندارد.
محدودیت ٤	$X_{19,1}=0$	وضعیت پلان قطعه مستقیم است و اصلاح قوس قائم در این قطعه کاربردی ندارد.

محدودیت اقتصادی بودجه‌بندی قطعه

محدودیت اقتصادی دیگری که در این تحقیق بررسی شده است، محدودیت مربوط به بودجه اختصاص داده شده برای بهبود ایمنی آن قطعه است که نباید کمتر هزینه اجرای راهکارها در آن قطعه باشد. این محدودیت در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲. محدودیت بودجه تخصیص داده شده برای بهبود ایمنی

محدودیت	جزئیات	توضیحات
محدودیت بودجه	$\sum_{i=1}^{24}\sum_{j=1}^{n} X_{i,j} \times C_{i,j} < b$	هزینه اجرای راهکارهای انتخاب شده نباید بیش از بودجه کل در نظر گرفته شده باشد. b برابر کل بودجه در نظر گرفته شده است.

محاسبه احتمال انتخاب هر راهکار برای هر قطعه

همانطور که در بخش‌های قبلی عنوان شد، ضرایب متغیرها در مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح منطبق با احتمالات به دست آمده از روش بیز ساده است. برای محاسبه احتمالات مربوط به هر راهکار، از یکی از روش‌های یادگیری ماشین به نام بیز ساده استفاده می‌شود. این احتمالات در مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح عنوان شده به‌جای ضرایب متغیرهای تصمیم در تابع هدف که همان مقادیر P_{ij} است استفاده می‌شوند.

طبقه‌بندی‌کننده‌های بیز ساده

طبقه‌بندی‌کننده‌های بیز ساده، مجموعه‌ای از الگوریتم‌های طبقه‌بندی بر اساس تئوری بیز هستند که جزء یادگیری‌های با ناظر محسوب می‌شوند. بیز ساده یک الگوریتم تنها نیست؛ بلکه یک خانواده از الگوریتم‌هاست که در یک اصل مشترک هستند. هر جفت ویژگی طبقه‌بندی شده در الگوریتم‌های بیز ساده مستقل از یکدیگر است (عقیلا و همکاران، ۲۰۱۰). بیز ساده یکی از روش‌های یادگیری ماشین است. قضیه‌ی بیز احتمال رخ‌دادن یک پیشامد را هنگامی که پیشامد دیگر اتفاق افتاده باشد، به دست می‌آورد. همان‌طور که در معادله‌ی زیر مشاهده می‌شود، با استفاده از تئوری بیز، می‌توان احتمال رخ‌دادن A را هنگامی که B اتفاق افتاده باشد، به دست آورد. در اینجا، B شواهد و A فرضیه است.

$$P(B|A)=\frac{P(B)P(A|B)}{P(A)} \qquad (۳)$$

ورودی داده‌های آموزش

بیز ساده برای یادگیری نیاز به داده‌های ورودی و خروجی دارد. ورودی آموزشی بیز ساده مشخصات قطعاتی از جاده‌های برون‌شهری است. برای به‌دست‌آوردن مشخصات این قطعات، سناریوهای مختلفی از مشخصات این جاده‌ها با هم ترکیب شده و قطعات مختلفی از آن‌ها ساخته می‌شود. به‌این‌ترتیب داده‌های ورودی بیز که همان مشخصات قطعات ایجاد شده هستند، به دست می‌آیند. همچنین فرض می‌شود که مشخصات ورودی مستقل از یکدیگر هستند و می‌توان از همبستگی آن‌ها چشم‌پوشی کرد. در ادامه این مشخصات به تفکیک آورده شده است. این مشخصات شامل پارامترهای جدول ٤ است.

جدول ۳. مشخصات قطعات راه

مشخصات قطعات راه	توضیحات
بودجه	منظور از بودجه در این تحقیق هزینه اختصاص‌داده‌شده به بهبود ایمنی برای قطعات جاده‌های برون‌شهری است.
تعداد تصادفات فوتی، جرحی، خسارتی	تعداد تصادفات در طول بازه یک‌ساله در این قطعات باتوجه‌به آمارهای موجود در اداره راهداری به تفکیک فوتی، جرحی و خسارتی مورداستفاده قرار گرفته است.
سختی اجرای راهکار در مسیر	منظور از سختی اجرای راهکار، مشکلات و دشواری‌ها در طی عملیات اجرای آن راهکار است که باتوجه‌به صعب‌العبور بودن و شرایط جوی و مشخصات هندسی و فنی آن منطقه تعیین می‌گردد. درجه‌بندی که برای سختی اجرای راهکار انجام شده به تفکیک زیاد، متوسط و کم است
طول عمر موردنیاز برای راهکار ایمنی	باتوجه‌به مشخصاتی که برای یک قطعه در موارد فوق ارائه شد شامل: بودجه، تعداد فوتی، جرحی، خسارتی و سختی اجرای راهکار در مسیر، می‌توان طول عمر موردنیاز برای راهکار پیشنهادی را در قطعه موردنظر پیش‌بینی کرد. طول عمرها به تفکیک زیاد (بین ۵ تا ۷ سال)، متوسط (بین ۳ تا ۵ سال) و کم (بین ۱ تا ۳ سال) مشخص شدند.
نوع تصادفات رخ‌داده در قطعه	نوع تصادفات رخ‌داده در قطعات باتوجه‌به آمارهای مربوط به تصادفات غالب در طول ۱۰ سال گذشته جمع‌آوری شده است ازجمله: جلو به عقب، واژگونی و..
علل تامه تصادفات	علل تامه تصادفات رخ‌داده در قطعات باتوجه‌به آمارهای مربوط به تصادفات غالب در طول ۱۰ سال گذشته جمع‌آوری شده است از جمله: خواب‌آلودگی، سرعت بالا و...
متوسط سالیانه حجم ترافیک روزانه (AADT)	متوسط سالیانه حجم ترافیک روزانه عبارت است از متوسط حجم ترافیک وسایل نقلیه‌ای که در تمام روزهای سال از مقطع مشخصی از جاده عبور می‌کنند که می‌توان مقدار آن را از تقسیم مجموع وسایل نقلیه عبوری در مدت یک سال بر تعداد روزهای سال به دست آورد
نوع جاده	از لحاظ پستی‌وبلندی منطقه، طبقه‌بندی راه‌های برون‌شهری دارای اهمیت خواهد بود. ازآنجاکه وضعیت توپوگرافی در مناطق برون‌شهری به جهت شیب زمین طبیعی دارای تغییرات اساسی است لازم است تا این دسته‌بندی موردتوجه قرار گیرد. در نشریه ٤١٥ راه‌ها بر اساس وضعیت پستی‌وبلندی منطقه به سه دسته شامل: ۱- راه هموار (دشتی) ۲- راه تپه‌ماهوری ۳- راه‌های کوهستانی تقسیم می‌شوند
درجه عملکردی راه برون‌شهری	نشریه ٤١٥ جهت معرفی راه‌های برون‌شهری، دو معیار پستی‌وبلندی زمین منطقه و بحث عملکردی راه را مدنظر قرار می‌دهد. این دسته‌بندی راه‌ها به سه دسته شریانی، اصلی و فرعی طبقه‌بندی می‌شوند
سرعت مجاز	حداکثر سرعتی است که رانندگان وسایل نقلیه بر اساس قوانین و مقررات موظف به رعایت آن هستند.
تعداد دسترسی‌ها	باتوجه‌به درجه عملکردی راه و طول قطعه تعداد دسترسی‌ها مشخص شدند
تعداد تقاطعات و نوع آنها	باتوجه‌به درجه عملکردی راه و طول قطعه تعداد دسترسی‌ها مشخص شدند
وضعیت روسازی مسیر	برای مشخص‌شدن وضعیت روسازی از شاخص خدمت‌دهی فعلی استفاده شده است

شیب شیروانی	از جمله شیب‌های موردنظر در این مقاله: ۱:٦، ۱:٤ و...
ارتفاع خاکریزی یا خاک‌برداری	برخی از ارتفاعات مورداستفاده در این مقاله بر اساس شیب شیروانی: ۱:٦، ۱:٤ و ...
جدا شده بودن راه	باتوجه‌به درجه عملکردی راه، مسیر می‌تواند جدا شده یا غیر جدا شده باشد.
وضعیت پلان مسیر	وضعیت پلان مقطع باتوجه‌به مشخصات هندسی راه که در نشریه ٤١٥ به آن اشاره شده می‌تواند به‌صورت مستقیم یا به‌صورت قوس افقی یا قوس قائم در نظر گرفته شود که در قوس‌های افقی شامل مواردی چون قوس دایره‌ای ساده، قوس دایره‌ای مرکب و... و در قوس‌های قائم شامل قوس‌های قائم مقعر یا محدب است. همچنین می‌توانند تلفیقی از دو قوس قائم و افقی باشند
راهکارهای موجود در هر قطعه	در قطعه مورد بررسی ممکن است یک یا چند راهکار ایمنی از قبل وجود داشته باشد. برای انتخاب راهکار ایمنی برای قطعه نیاز به شناخت راهکارهای ایمنی از قبل تعبیه شده در آن قطعه است. برخی از راهکارهای غالب موجود در قطعات که در این مقاله استفاده شده‌اند: گاردریل، خط‌کشی و....

خروجی داده‌های آموزش

قطعات ساخته شده در بخش قبلی به‌عنوان ورودی‌های داده‌های آموزشی در نظر گرفته شده‌اند. راهکار بهبود ایمنی متناسب برای هر یک از قطعات به‌عنوان خروجی داده‌های آموزشی (دسته‌هایی که برای طبقه‌بندی بیز از آنها استفاده می‌شود.) به بیز ساده داده می‌شود. برای تشخیص راهکار ایمنی مناسب برای هر یک از قطعات، با طراحی پرسشنامه از نظر متخصصان ایمنی کمک گرفته شده است و نظر متخصصان ایمنی برای تشخیص راهکار ایمنی مناسب، معتبر شمرده می‌شود. برخی از راهکارهای ایمنی موردنیاز برای رفع کاستی‌های شبکه راه و کاهش تصادفات از نشریه ٢٦٧ به‌دست‌آمده است. راهکارهای مورداستفاده در این تحقیق در جدول ۵ قرار دارند.

جدول ٤. راهکارهای ایمنی در نظر گرفته شده

شماره	راهکار ایمنی
١	خط‌کشی
٢	روشنایی مسیر
٣	تعریض راه
٤	ترمیم خرابی‌ها، رفع ناهمواری‌ها
٥	اصلاح شیب شیروانی
٦	حفاظ بتنی (نیوجرسی)
٧	گاردریل
٨	شیار لرزاننده
٩	بازتاب‌دهنده (چشم‌گربه‌ای)
١٠	چراغ چشمک‌زن
١١	تابلو مسیرنما
١٢	تابلو منطقه حادثه‌خیز
١٣	تابلو محدودیت سرعت
١٤	کنترل و احیاء مقاومت لغزندگی سطح راه
١٥	ضربه‌گیر

۱۶	اصلاح قوس افقی (بهبود شعاع قوس)
۱۷	تابلو بال کبوتری
۱۸	علائم هشداردهنده شیب
۱۹	اصلاح قوس قائم (بهبود شیب سربالایی یا سرپایینی)

پرسشنامه

برای تعیین خروجی‌های داده‌های آموزشی از نظر متخصصان ایمنی کمک گرفته می‌شود و به همین منظور پرسشنامه‌هایی طراحی گردیده است. نمونه‌ای از این پرسشنامه‌ها در پیوست قرار دارد. در این پرسشنامه‌ها مشخصات هر قطعه شرح داده شده و از متخصصان خواسته شد برای این قطعات یک یا چند راهکار مناسب از جدول ۵ انتخاب کنند.

نتایج

برای بررسی وضعیت ایمنی و تعیین بهترین راهکار ایمنی برای یک شبکه راه ابتدا باید مشخصات کامل آن شبکه راه در دسترس باشد. ازآنجایی‌که تأثیر مجموعه‌ای از عوامل بر یکدیگر، منجر به بروز تصادف در قطعه‌ای از راه می‌شود؛ بنابراین شناسایی این عوامل و تعیین مقادیر کمی و کیفی آنها در شبکه راه موردنظر و تصمیم‌گیری در مورد بهبود وضعیت ایمنی بر اساس این عوامل منطقی است. بر همین اساس قطعه‌بندی شبکه راه استان کرمان صورت گرفت. در این طبقه‌بندی عوامل مؤثر بر تصادفات که در جدول ۵ آورده شده را در کل مسیرهای انتخابی برآورد کرده و سپس بر اساس تغییر این عوامل، طبقه‌بندی قطعات همگن صورت‌گرفته است.

جدول ۵. عوامل تصمیم‌گیری برای قطعه بندی جاده‌های استان کرمان

شماره	عوامل مؤثر بر تصادفات
۱	متوسط سالیانه حجم ترافیک روزانه (AADT)
۲	عرض خطوط حرکت و شانه‌ها
۳	محدودیت سرعت
٤	وضعیت روسازی
۵	نرخ تغییر انحنا

نرخ تغییر انحنا از مشخصات پلان افقی تعیین می‌شود که برای هر مقطع به‌صورت زیر قابل‌تعریف است:

$$CCR_{sec} = \frac{\sum_{i=1}^{n} |\gamma_i|}{L} \qquad (٤)$$

دراین‌رابطه:

γ_i = برابر است با زاویه انحراف برای قوس iام

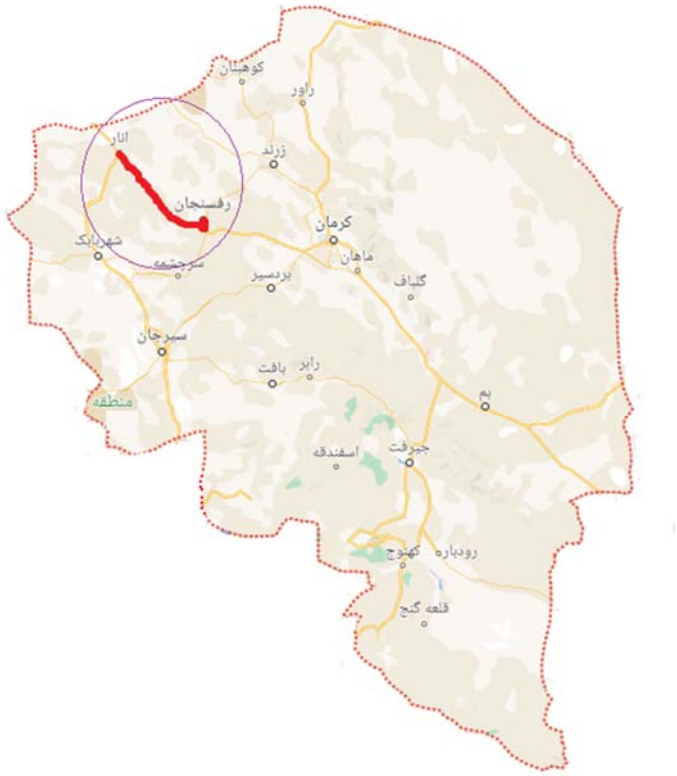
L= برابر است با طول قوس

برای به‌دست‌آوردن مقاطع با CCR_{sec} همگن، زوایای انحراف تجمعی γ_i بر حسب کیلومتراژ ترسیم شده و سپس خطوط روند هموار برازش می‌یابد. مقدار CCR_{sec} برای هر بخش مشخص برابر با شیب خط ترسیم شده‌است. پس از اتمام قطعه‌بندی شبکه تمام راه‌های برون‌شهری استان کرمان، این قطعات مرتب‌سازی شده و به‌عنوان ورودی آزمایشی به بیز ساده داده می‌شوند. یک قطعه از محور انار – رفسنجان از کیلومتر ۲۵ تا ۳۰ این محور به علت پر تصادف بودن، به‌عنوان نمونه در این مقاله آورده شده است؛ مشخصات این قطعه در جدول ۷ مشخص گردیده است.

جدول ٦. مشخصات قطعه مورد بررسی از استان کرمان

مشخصات قطعه‌بندی	مقدار در قطعه موردنظر
بودجه (برحسب میلیون ریال)	٤٢٠٠
طول قطعه (کیلومتر)	٥
تعداد فوتی	٢
تعداد جرحی	٢
تعداد خسارتی	٢
سختی اجرای راهکار در مسیر	زیاد
طول عمر مفید موردنیاز برای راهکار	زیاد
نوع تصادف رخ‌داده در قطعه	خروج از محور/ واژگونی
علل تصادفات	دید ناکافی/ خواب‌آلودگی
متوسط سالیانه حجم ترافیک روزانه (وسیله نقلیه در روز)	٦٧٧٤
نوع جاده	هموار
سرعت مجاز (کیلومتر بر ساعت)	١١٠
درجه عملکردی راه	اصلی درجه ١
تعداد تقاطعات	٠
نوع تقاطعات	ندارد
تعداد دسترسی‌های مسیر	١
وضعیت روسازی مسیر	خراب
شیب شیروانی (افقی: عمودی)	١:٤
ارتفاع خاکریزی یا خاک‌برداری (متر)	٣
جدا شده بودن راه	جدا شده
راهکارهای موجود در قطعه	خط‌کشی/ تابلو مسیرنما
وضعیت پلان قطعه	مستقیم

در تصویر ١ قطعه موردمطالعه به‌صورت شماتیک بر روی نقشه مشخص شده است.



تصویر ۱. نمایش قطعه مورد مطالعه از محور انار–رفسنجان به صورت شماتیک بر روی نقشه

مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای قطعه انار – رفسنجان

مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای قطعه عنوان شده از محور انار – رفسنجان که قطعه هفتم از شبکه راه‌های برون‌شهری استان کرمان است در معادله ۵ آورده شده است.

$$Max\ z = \sum_{i=1}^{24} \sum_{j=7} P_{i7}\, X_{i7} \qquad (۵)$$

برای به‌دست‌آوردن ضرایب مدل فوق که همان P_{i7}ها هستند، مشخصات این قطعه به عنوان ورودی به بیز ساده داده شده و مقادیر این ضرایب که همان احتمال انتخاب هرکدام از ۱۹ راهکار موجود است، توسط بیز ساده به دست آمده‌است.

احتمالات خروجی از بیز ساده برای قطعه جدید

با واردکردن اطلاعات قطعه جدید به بیز ساده، می‌توان ضرایب تابع هدف برای این قطعه که به‌صورت احتمال هر راهکار ایمنی هستند را به دست آورد. به طور مثال برای قطعه در نظر گرفته شده در بخش قبل احتمالات توسط بیز ساده به دست آمد که این احتمالات در جدول ۸ نمایش داده شده‌اند.

جدول ۷. احتمالات هر راهکار از قطعه هفتم در محور انار–رفسنجان با استفاده از شبکه بیز ساده

شماره راهکار ایمنی	مقدار احتمال راهکار
۱	۰/۰۰۰
۲	۰/۱۲۱

شماره راهکار ایمنی	مقدار احتمال راهکار
۳	۰/۰۱۱
٤	۰/۰٥٦
٥	۰/۰۰۰
٦	۰/۰۰۱
۷	۰/٦٦٥
۸	۰/۱۰۷
۹	۰/۰۰۱
۱۰	۰/۰۰۲
۱۱	۰/۰۰۰
۱۲	۰/۰۱۲
۱۳	۰/۰۰۰
۱٤	۰/۰۰۹
۱٥	۰/۰۰۳
۱٦	۰/۰۰۳
۱۷	۰/۰۰۰
۱۸	۰/۰۰۰
۱۹	۰/۰۰۰

داده‌های جمع‌آوری شده در پرسشنامه برای یادگیری در بیز ساده تعریف می‌شوند و با تکمیل یادگیری، احتمال انتخاب هر راهکار برای قطعات جدید به دست می‌آیند این احتمالات ضرایب متغیرهای تصمیم در مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح هستند. با بررسی مقادیر احتمالات، نتیجه‌گیری می‌شود که می‌توان احتمالات کوچک‌تر از ۰/۰۰۱ را به دلیل اینکه بسیار کوچک هستند، صفر در نظر گرفت.

محدودیت‌ها

در این بخش محدودیت‌های مربوط به قطعه موردمطالعه آورده شده است. محدودیت‌ها شامل دو بخش هستند. بخش اول شامل محدودیت‌های مربوط به متغیرهای تصمیم در مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح که شامل مشخصات هندسی و بودجه‌بندی قطعات راه هستند و بخش دوم شامل محدودیت‌های مربوط به ضرایب تابع هدف که با اعمال‌کردن پارامترهای اقتصادی به مدل وارد می‌شوند.

جدول ۸. محدودیت‌های هندسی قطعه هفتم در محور انار-رفسنجان در پلان مستقیم

محدودیت	جزئیات	توضیحات
محدودیت ۱	$X_{16,7} = 0$	وضعیت پلان قطعه مستقیم است و اصلاح قوس افقی در این قطعه کاربردی ندارد.
محدودیت ۲	$X_{17,7} = 0$	وضعیت پلان قطعه مستقیم است و تابلو بال کبوتری در این قطعه کاربردی ندارد.
محدودیت ۳	$X_{18,7} = 0$	وضعیت پلان قطعه مستقیم است و علائم هشداردهنده شیب در این قطعه کاربردی ندارد.
محدودیت ٤	$X_{19,7} = 0$	وضعیت پلان قطعه مستقیم است و اصلاح قوس قائم در این قطعه کاربردی ندارد.

محدودیت بعدی متغیرهای تصمیم مربوط به بودجه اختصاص‌داده‌شده برای بهبود ایمنی است که هزینه اجرای راهکارهای ایمنی انتخاب شده نباید بیشتر از آن باشد. در جدول ۱۰ این محدودیت با جزئیات آورده شده است.

جدول ۹. محدودیت بودجه تعیین شده برای هر قطعه

محدودیت	جزئیات	توضیحات
محدودیت ۵	$\sum_{i=1}^{24}\sum_{j=7} X_{i,7} \times C_{i,7} < 4200$	هزینه اجرای راهکارهای انتخاب شده نباید بیش از بودجه کل در نظر گرفته شده باشد. برای قطعه فوق بودجه ۴۲۰۰ میلیون ریال فرض شد.

محدودیت‌های ضرایب تابع هدف

محدودیت‌های ضرایب تابع هدف با بررسی متغیرهای اقتصادی قابل‌اجرا هستند. همان‌طور که در فصل قبل توضیح داده شد محدودیت‌های اقتصادی مربوط به کشور ایران باید به مدل اعمال شود. باتوجه‌به نرخ‌های اقتصادی در ایران که در جدول ۱۱ آورده شده است، اعمال احتمالات بالاتر از میانه برای ایران مجاز نیست و احتمالات بالاتر از ۱/۸ برابر مقدار میانه باید در نظر گرفته شوند که این محدودیت شامل جدول ۱۲ است.

جدول ۱۰. مقادیر پارامترهای اقتصادی در کشور ایران (صندوق بین المللی پول)

متغیر	درصد
رشد اقتصادی	۰/۹
نرخ تورم	۳۲
رشد نرخ ارز	۱۸/۵

جدول ۱۱. محدودیت‌های اقتصادی در قطعه مورد نظر

محدودیت	جزئیات	توضیحات
محدودیت ٦	If $P_{i,7} < 1.8 \times m$ Then $P_{i,7} = 0$	باتوجه‌به مقادیر رشد اقتصادی و تورم و نرخ ارز برای کشور ایران، مقدار احتمالات موجود باید بالاتر از ۱/۸ برابر میانه مقادیر این احتمالات باشد. تمام احتمالات زیر این مقدار صفر در نظر گرفته می‌شوند.

باتوجه‌به توضیحات عنوان شده فوق، مقادیر احتمالات راهکارهای ایمنی که از بیز ساده به‌دست‌آمده است باید محدود شوند. به این منظور ابتدا همان گونه که ذکر شد، احتمالات کوچک‌تر از ۰/۰۰۱ به دلیل اینکه نزدیک به صفر هستند، حذف می‌شوند. پس از حذف مقادیر نزدیک به صفر، احتمالات کوچک‌تر از میانه نیز حذف می‌شوند. این احتمالات در صورتی قابل اجرا هستند که متغیرهای اقتصادی کشور نزدیک به صندوق بین‌المللی پول باشد. در انتها با اعمال محدودیت مربوط به کشور ایران که شامل حذف احتمالات کمتر از ۱/۸ برابر میانه احتمالات است، مقادیر جدول ۱۳ به دست می‌آیند.

جدول ۱۲. احتمالات باقی مانده پس از حذف مقادیر کوچک تر از ۱/۸ برابر مقدار میانه

شماره راهکار ایمنی	مقدار احتمال راهکار
۱	۰
۲	۰/۱۲۱
۳	۰
٤	۰/۰٥٦
٥	۰
٦	۰
۷	۰/٦٦٥
۸	۰/۱۰۷
۹	۰
۱۰	۰
۱۱	۰
۱۲	۰
۱۳	۰
۱٤	۰
۱٥	۰
۱٦	۰
۱۷	۰
۱۸	۰
۱۹	۰

خروجی مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح

برای حل مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح از نرم‌افزار Lingo استفاده شده است و تابع هدف و محدودیت‌ها که شامل محدودیت‌های ضرایب تابع هدف و متغیرهای تصمیم بودند در این نرم‌افزار تعریف می‌شوند. سپس با استفاده از این نرم‌افزار، مقادیر بهینه خروجی به دست می‌آید. نرم‌افزار Lingo مجموعه ابزار گسترده‌ای برای طراحی و حل مدل‌های بهینه‌سازی ریاضی به بهترین و ساده‌ترین شکل است که از کارایی بالایی نیز برخوردار است. Lingo یک بسته نرم‌افزار یکپارچه است که شامل زبان قدرتمندی برای نمایش مدهای بهینه‌سازی و یک محیط برجسته برای ساخت مسائل است که قادر به حل انواع مختلفی از مسائل بهینه‌سازی است. برای حل این مدل برنامه‌ریزی از نرم‌افزار Lingo استفاده شده است. پس از به‌دست‌آوردن احتمالات و محدودکردن آنها، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح را وارد نرم‌افزار Lingo کرده و باتوجه‌به محدودیت‌های هندسی و اقتصادی، این نرم‌افزار مدل برنامه‌ریزی را حل نموده و جواب بهینه را مشخص می‌کند. مقادیر خروجی بهینه شده که شامل بهترین راهکارهای ایمنی برای قطعه تعریف شده است، به‌صورت جدول ١٤ به دست می‌آید. قابل‌ذکر است که مقادیر متغیر تصمیم به شکل صفر و یک هستند که یک به معنای اجرای راهکار و صفر به معنی عدم اجرای راهکار است.

جدول ۱۳. خروجی نرم‌افزار Lingo

شماره راهکار	احتمال راهکار از مرحله قبل
۲	۰/۱۲۱
٤	۰/۰٥٦
۷	۰/٦٦٥
۸	۰/۱۰۷

خروجی نهایی از نرم‌افزار Lingo باتوجه‌به جدول ۱۲ که راهکارهای شماره ۲، ٤، ۷ و ۸ را تعیین کرده است، مجموع راهکارهای روشنایی مسیر، ترمیم خرابی‌ها و رفع ناهمواری‌ها، گاردریل و شیار لرزاننده است. باتوجه‌به اینکه علت تصادف در این قطعه دید ناکافی و خواب‌آلودگی است، روشنایی مسیر و شیار لرزاننده بهترین گزینه‌های انتخاب شده برای این قطعه هستند و همچنین نوع تصادفات در این قطعه خروج از محور است که گاردریل پیشنهاد داده شده است، وضعیت روسازی مسیر نیز خراب است که ترمیم خرابی‌ها و ناهمواری‌ها گزینه مناسبی برای این قطعه است. تعریض راه، تابلو منطقه حادثه‌خیز و کنترل و احیاء مقاومت لغزندگی سطح راه راهکارهای پیشنهادی دیگر بیز ساده است که به علت ملاحظات اقتصادی در ایران این گزینه‌ها حذف شدند.

۵- نتیجه‌گیری

باتوجه‌به آمار بالای تصادفات جاده‌ای برون‌شهری، بهبود مشخصات هندسی و ترافیکی مسیر تأثیر به سزایی در کاهش تصادفات و مرگ‌ومیر دارد. از سوی دیگر هزینه زیاد انجام اصلاحات ایمنی جاده‌ها و محدودیت بودجه‌های عمرانی، نیاز به بررسی نحوه تخصیص بودجه به این اصلاحات را ضروری می‌سازد. ازاین‌رو باید تلاش شود راهکارهای بهینه به قطعات راه تعلق گیرد. این مقاله به بررسی انتخاب راهکار ایمنی بهینه پرداخته است. اجرای راهکارهای ایمنی در این مقاله در جاده‌های برون‌شهری استان کرمان برای رفع مشکلات ایمنی، کاهش تصادفات و مرگ‌ومیر بررسی شد. هدف اصلی مطالعه حاضر ارائه مدلی برای تعیین راهکار ایمنی بهینه برای قطعات راه با لحاظ نمودن متغیرهای اقتصادی است. برای این منظور از نظر متخصصان ایمنی راه با در اختیار آنها قراردادن تمام اطلاعات فنی و هندسی قطعات مسیر کمک گرفته شد و گزینه مناسب ایمنی برای هر قطعه به دست آمد. سپس با کمک ابزار یادگیری ماشین، احتمال انتخاب هر راهکار تعیین شد. در نهایت با کمک علم اقتصاد و دردست‌داشتن متغیرهای اقتصادی ایران و مقایسه با متغیرهای اقتصادی صندوق بین‌المللی پول، به محدودکردن احتمالات پرداخته شد و این‌گونه راهکارهای ایمنی بهینه برای هر قطعه به دست آمد. از مجموع نتایج خروجی از مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی عدد صحیح باینری، موارد زیر قابل نتیجه‌گیری خواهد بود:

در این مقاله با بررسی تمامی مشخصات فنی، هندسی، اجرایی و بودجه‌بندی راه، یافتن راهکارهای ایمنی بهینه مورد بررسی قرار گرفت که معمولاً در اجرای راهکارها به آنها پرداخته نمی‌شود و موجب صرف سرمایه زیاد اما غیربهینه می‌شود. استفاده از روش یادگیری ماشین به علت داده‌های زیادی که برای یادگیری استفاده شد، موجب افزایش دقت خروجی می‌گردد. در این مقاله با کمک نظر متخصصین ایمنی راه و ادغام آن با یکی از روش‌های یادگیری ماشین نتایج بسیار مطلوبی باتوجه‌به وضعیت راه‌ها به دست آمد. عوامل اقتصادی در نظر گرفته شده در این مقاله شامل رشد اقتصادی، تورم و نرخ ارز تأثیر زیادی بر روی ایمنی جاده‌ها دارد. در مواردی حتی اگر بودجه اعمال یک راهکار فراهم باشد، باتوجه‌به رشد پایین اقتصادی، نرخ تورم و نرخ ارز بالا ممکن است این راهکار مورداستفاده قرار نگیرد. با مدل ارائه شده در این مقاله، بدون نیاز به نظر کارشناسان ایمنی و درنظرگرفتن ملاحظات اقتصادی، فقط با دردست داشتن مشخصات عنوان شده در مقاله برای هر قطعه جدیدی از راه‌های برون‌شهری می‌توان به‌سادگی و در کوتاه‌ترین زمان ممکن، راهکار ایمنی بهینه را به دست آورد. البته لازم به ذکر است که یکی از محدودیت‌های این تحقیق این است که این روش مبتنی بر نظر کارشناسان و تجربیات قبلی است

و در صورت عدم دسترسی یا وجود اشکال در این نظرات، نمی‌توان صحت نتایج خروجی را تضمین نمود.

٦- مراجع

-بحیرایی، مائده، بهنود، حمیدرضا، عبدی کردانی، علی، رییسیان زاده، حسین (۱۳۹۹). اثرسنجی مسیرنمایی طولی در کاهش فراوانی تصادفات انحرافی در راه‌های چندخطه برون‌شهری. *نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز*، ٤،٥٠(١٠١)، ١-٩.

doi. **10.22034/jcee.2019.9088**

-A, V. K., & Aghila, G. (2010). *A Survey of Naive Bayes Machine Learning approach in Text Document Classification*. *7*(2), 206–211.

-Abdolmanafi, seyed ebrahim, & Karamad, S. (2019). *A new approach for resource allocation for black spot treatment (case study: The road network of Iran)*. *xxxx*.

doi.org/10.1016/j.jsr.2019.03.001

-Behnood, H. R., & Pino, S. (2021). Road safety resource allocation using the cost-effectiveness approach; case study in Iran. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 1–11. https://doi.org/10.1680/jtran.20.00071

-Cafiso, S., & Agostino, C. D. (2016). Assessing the stochastic variability of the Benefit-Cost ratio in roadway safety management. *Accident Analysis and Prevention*, *93*, 189–197. **doi.org/10.1016/j.aap.2016.04.027**

-Chen, L., Chen, C., & Ewing, R. (2014). The relative effectiveness of signal related pedestrian countermeasures at urban intersections-Lessons from a New York City case study. *Transport Policy*, *32*, 69–78.

doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.12.006

-Daniels, S., Martensen, H., Schoeters, A., Berghe, W. Van Den, Papadimitriou, E., Ziakopoulos, A., Kaiser, S., Aigner-breuss, E., Soteropoulos, A., Wijnen, W., Weijermars, W., Carnis, L., Elvik, R., & Martin, O. (2019). A systematic cost-benefit analysis of 29 road safety measures. *Accident Analysis and Prevention*, *133*(July 2018), 105292.

doi.org/10.1016/j.aap.2019.105292

-Elvik, R. (2019). How to trade safety against cost , time and other impacts of road safety measures. *Accident Analysis and Prevention*, *127*(February), 150–155.

doi.org/10.1016/j.aap.2019.02.028

-For, E., By, L., Chowdhury, M. A., Garber, N. J., & Li, D. (2000). M Ultiobjective M Ethodology For Highway S Afety. December, 138–144.

-Kar, K., & Datta, T. K. (2004). *Development of a Safety Resource-Allocation Model in Michigan*. *1865*, 64–71.

-Kavoosi, M., Dulebenets, M. A., Pasha, J., Abioye, O. F., Moses, R., Sobanjo, J., & Ozguven, E. E. (2020). Energies Development of Algorithms for E ff ective Resource Allocation among Highway – Rail Grade Crossings : A Case Study for the State of Florida.

-Lyon, C., Persaud, B., Merritt, D., & Cheung, J. (2020). Empirical Bayes Before-After Study to Develop Crash Modification Factors and Functions for High Friction Surface Treatments on Curves and Ramps.

doi.org/10.1177/0361198120957327

-Mishra, S. (2013). A Synchronized Model for Crash Prediction and Resource Allocation to Prioritize Highway Safety Improvement Projects. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *104*(2), 992–1001.

doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.194

-Peden, M., & Sminkey, L. (2020). *World Health Organization dedicates World Health Day to road safety*. *2000*(445), 13–20.

doi.org/10.1136/ip.2004.005405

-Ratanavaraha, V., & Suangka, S. (2014). Impacts of accident severity factors and loss values of crashes on expressways in Thailand. *IATSSR*, *37*(2), 130–136.

doi.org/10.1016/j.iatssr.2013.07.001

-Sayed, T., & Sacchi, E. (2016). Evaluating Safety Benefits of the Insurance Corporation of British Columbia Road Improvement Program Using a Full Bayes Approach. *2582*, 26–33. **doi.org/10.3141/2582-04**

Optimizing Countermeasures for Promoting Road Safety Based On Economic Considerations

Mohammad Ali Zayanderoudi, M.Sc., Student, Civil Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
Navid Nadimi, Associate Professor, Civil Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
Seyed Abdolmajed Jalaei Eefandabadi, Professor, Economic Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

E-mail: navidnadimi@uk.ac.ir

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

Many individuals have been affected physically and socially as a result of road crashes. Many of these incidents have irreversible consequences. An immediate solution to improve road safety must be developed. This paper examines the issue of inadequate budget allocations by road departments for road safety. With a budget that does not meet ideal requirements, maintaining an extensive road network poses a challenge. This paper proposes an economic model for improving rural road safety, considering its importance. To minimize costs and reduce road casualties, the proposed model takes into account a number of factors, including the geometric conditions of the roads, relevant information, and the economic conditions of the community. In order to improve road safety, the study employs an integer programming model. In this approach, road geometry, relevant data, and economic considerations are examined in order to implement appropriate safety solutions. This paper discusses safety improvement strategies based on calculated probabilities of implementing them. These probabilities are determined using the Naive Bayes method. In addition to the geometric aspects of the roads, the best method for improving road safety is also considered in the economic model. Validation of the model is based on a case study conducted in Kerman province. The unique characteristics of each rural road in a country can be considered when implementing safety measures. The proposed method is used to accomplish this. As a result of the results, four safety solutions were identified as the most suitable in the Anar-Rafsanjan area, including road lighting, vibrating grooves, guardrails, and repairing damage and unevenness.

Keywords: Safety, Countermaesure, Economic Analysis, Optimization