

مکان‌یابی استفاده از سامانه‌ی روشنایی در جاده‌ها بر مبنای برنامه‌ریزی خطی

(مطالعه موردی: راه‌های اصلی استان آذربایجان شرقی)

مقاله پژوهشی

بابک گلچین^{*}، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
مرتضی فلاحی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران
رامین مشک‌آبادی، استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

^{*}پست الکترونیکی نویسنده مسئول: b.golchin@uma.ac.ir

دریافت: ۹۸/۰۳/۲۸ - پذیرش: ۹۸/۰۸/۰۵

صفحه ۷۳-۸۶

چکیده

بحث ایمنی یکی از بخش‌های مهندسی ترافیک و تأمین روشنایی جاده‌ها یکی از مهم‌ترین مسائل مربوط به حفظ ایمنی راه‌هاست که هدف از ایجاد آن دستیابی به حدی از قابلیت دید برای رانندگان است به طوری که دید سریعی، دقیق و راحت امکان‌پذیر باشد. روشنایی با تقویت دید راننده می‌تواند از برخی از تصادفات ناشی از ترافیک جاده‌ای در شب جلوگیری کند. در این مقاله از روش برنامه‌ریزی خطی به منظور مکان‌یابی و استفاده بهینه از سامانه روشنایی در محورهای اهر - تبریز، سراب - بستان‌آباد و مراغه - هشتروند استفاده شده است. مدلی بر پایه بیشینه کردن نسبت سود به هزینه طراحی شد. سود، مبلغ صرفه‌جویی شده در اثر کاهش تصادفات در صورت استفاده از سامانه روشنایی در قطعات مختلف محورهای مورد مطالعه است که برای محاسبه آن هزینه متوسط تقریبی یک تصادف فوتی و جرحی در کشور محاسبه شد. همچنین هزینه، مبلغ مورد نیاز برای نصب سامانه روشنایی در قطعات مختلف تعریف گردید. محدودیت تعیین‌شده برای این مدل، بودجه اختصاص یافته به منظور نصب سامانه‌های روشنایی (با فرض مبلغ ۱،۱ و ۲،۲ میلیارد تومان و ۵۵۰ میلیون تومان) است. به منظور تجزیه و تحلیل مدل از نرم‌افزار WinQSB2 استفاده شد تا مقاطع بهینه برای نصب سامانه روشنایی به دست آید. بر اساس این تحقیق کیلومترهای ۴۴+۵۰۰ تا ۴۵+۵۰۰ و ۵۴+۵۰۰ تا ۵۵+۵۰۰ محور اهر - تبریز با نسبت سود به هزینه ۸،۲۶ و ۸،۰۷ در تمام سناریوهای بودجه و قطعه‌بندی در صدر سایر قطعات به عنوان مقاطع بهینه مشخص گردیدند. کیلومترهای ۰۹+۵۰۰ تا ۱۰+۵۰۰ از محور مراغه - هشتروند با نسبت سود به هزینه ۵،۱۳ نیز در رده بعدی قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی خطی، بهینه‌سازی، سامانه روشنایی، مکان‌یابی

۱-مقدمه

نقص در سامانه روشنایی است. در حال حاضر در بیشتر کشورها، سامانه روشنایی راه‌ها یکی از اجزای لاینفک سیستم های حمل و نقل است. بر اساس مطالعات گذشته، افزایش روشنایی جاده‌ها، یک شیوه کم‌هزینه برای جلوگیری از مرگ و آسیب‌های ناشی از تصادفات رانندگی است. این در حالی است که نرخ بازگشت سرمایه‌گذاری در ایمنی جاده‌های ایران تا ۳۵۰ درصد محاسبه شده است (آیتی،

از جمله عوامل مهم و تأثیرگذار بر ایمنی در شب می‌توان به سه عامل مصرف مواد مخدر و الکل، خستگی و عدم روشنایی اشاره کرد. روشنایی به عنوان مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عامل بر کاهش تعداد و شدت تصادفات در شب می‌تواند باشد. بدین منظور، تأمین روشنایی استاندارد در راه‌ها بایستی مورد توجه تصمیم‌گیران قرار گیرد. یکی از دلایل رخداد تصادف در شهرها و جاده‌های برون‌شهری

باشیم. این اطلاعات در هنگام تخصیص منابع محدود و کمیاب برای شناسایی محل‌های بهینه برای اجرای سامانه روشنایی ارزشمند و مفید خواهد بود. بهبهانی و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله‌ای از رویه روشی برای اولویت‌بندی تجهیزات ترافیکی، بر مبنای تئوری هزینه - فایده و برنامه‌ریزی خطی، مدلی برای اولویت‌بندی به‌وسیله نرم‌افزار WinQSB ارائه نمودند که تجهیزات ترافیکی را با بودجه موجود به‌صورت بهینه برای قطعات ده‌گانه محور ارومیه - سلماس انتخاب نماید. صفارزاده و ترابی (۱۳۹۰)، نیز در مقاله‌ای تحت عنوان اولویت‌بندی اقدامات کم‌هزینه ایمن‌سازی راه در محور مشهد-سرخس به روش برنامه‌ریزی خطی به مسئله ایمن‌سازی بیشتر جاده به‌عنوان یکی از عوامل اصلی در بروز حوادث رانندگی پرداخته و در نهایت مدلی ارائه کردند که بتواند با توجه به آمار تصادفات و هزینه اقدامات اصلاحی و بودجه موجود ترکیبی، بهترین اقدامات اصلاحی را در طول یک جاده خاص مشخص کند تا بودجه سرمایه‌گذاری شده بیشترین بازدهی ممکن را داشته باشد. برای مثال برای یک قطعه مشخص از مسیر مورد مطالعه، نصب گاردریل و علائم قائم را به‌صورت ترکیبی پیشنهاد کردند. امینی و بابایی (۱۳۸۸) علاوه بر تحلیل اقتصادی منفعت - هزینه برای یافتن سود خالص برای هر راهکار ایمن‌سازی جاده و تحلیل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح برای یافتن راهکار برتر در هر سایت از نرم‌افزار WinQSB استفاده نموده و در نتیجه با توجه به آمار تصادفات و هزینه اقدامات اصلاحی و بودجه موجود، از بین اقدامات و روش‌های گوناگون که برای بهسازی مسیر جهت بالا بردن ایمنی وجود دارد، ترکیبی از بهترین اقدامات اصلاحی که بیشترین بازدهی ممکن را داشته باشد انتخاب نمودند. بختیاری و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی مطالعات و منابع سایر کشورها مهم‌ترین پارامترهای مرتبط با مکان‌یابی و اولویت‌بندی روشنایی در راه‌ها را شناسایی کرده و با کمک روش سلسله مراتبی و نظرسنجی از کارشناسان و متخصصان ذی‌ربط مدل‌های اولویت‌بندی تخصیص روشنایی به تفکیک مسیر مستقیم راه‌ها در مرحله پیش از گشایش و یا طراحی و تقاطع ارائه کردند. همچنین ضرورت تأمین روشنایی بر اساس خروجی مدل در چهار گروه بحرانی، زیاد، کم و متوسط پیشنهاد شده است و در زمان‌هایی که محدودیت تأمین منابع مالی وجود دارد، پیشنهاد می‌شود مقاطعی از راه با درجه بحرانی و زیاد در اولویت تأمین روشنایی قرار گیرد تا بیشترین بازدهی در

۱۳۸۸). در کشورهای مختلف جهان مخصوصاً در کشورهای توسعه‌یافته صنعتی، ضایعات و صدمات تصادفات ترافیکی خصوصاً از بعد اقتصادی به‌صورت منظم و سازمانمند محاسبه شده و نتایج به‌دست آمده در تصمیم‌گیری‌های مربوط به چگونگی تخصیص منابع به‌طورجدی موردتوجه قرار می‌گیرد. از آنجاکه ادارات راه دارای بودجه محدودی برای ارتقاء سطح ایمنی جاده‌های خود می‌باشند، چنین به نظر می‌رسد که طراحی و استفاده از یک سیستم تصمیم‌گیری علمی می‌تواند ابزاری کارآمد در انتخاب محل‌های نصب سامانه‌های روشنایی باشد. این تحقیق سعی دارد از روش برنامه‌ریزی خطی (Linear programming) برای شناسایی محل‌هایی که سیستم روشنایی باید در آن‌ها نصب شوند، استفاده نماید به‌طوری‌که با توجه به بودجه محدود بتوان بیشترین بازدهی را در کاهش تصادفات ایجاد نمود. تمرکز این تحقیق بر روی تعدادی از راه‌های اصلی استان آذربایجان شرقی هست.

۲- پیشینه تحقیق

بررسی آمار تصادفات رانندگی در شب نشان‌دهنده این امر است که رانندگی در راه‌های بدون روشنایی می‌تواند دو برابر خطرناک‌تر نسبت به رانندگی در روز باشد (امینی و بابایی، ۱۳۸۸). بر اساس آمار کشور آلمان در سال ۲۰۰۵، حدود ۴۰ درصد کل تصادفات راه‌ها در شرایط ضعیف روشنایی روی می‌دهد. آمار گزارش شده از وزارت حمل‌ونقل ایالات متحده آمریکا مؤید این مطلب است که شدت تصادفات در هنگام شب نیز می‌تواند به‌مراتب بیشتر از تصادفات در روز باشد. با آنکه ۲۷ درصد تصادفات این کشور در سال ۲۰۰۳ در هنگام شب روی داده است، ولی ۴۵ درصد تلفات ناشی از تصادفات جاده‌ای در این کشور متعلق به تصادفات شبانه هست (ناصری و همکاران، ۱۳۹۵). نصب سامانه روشنایی در جاده‌ها، با توجه به مطالعات می‌تواند حدود ۶۴ درصد از بروز حوادث فوتی، ۴۷ درصد جرحی و ۷ درصد خسارتی جلوگیری کند که مصداق بارز و کم‌هزینه از این نوع سرمایه‌گذاری است (امینی و بابایی، ۱۳۸۸). برای کمک به فرآیند تصمیم‌گیری، باید هزینه تصادفات جاده‌ای و هزینه جلوگیری از آن‌ها محاسبه شود. اما در حال برای تخصیص منابع کمیاب و ارزشمند اقتصادی به ارتقاء ایمنی ترافیک لازم است تا یک برآورد معقول از هزینه تصادفات داشته

هست. بدین منظور، طبق روش پیشنهاد شده بهبهانی و همکاران (۱۳۹۳)، صفارزاده و ترابی (۱۳۹۰)، رضایی فر و همکاران (۱۳۹۴) و کارگر و شیرمحمدی (۱۳۹۴) از محاسبات انجام شده در کتاب هزینه‌های تصادفات ترافیکی (آیتی، ۱۳۸۸)، در سال ۱۳۷۶، به‌عنوان سال پایه استفاده می‌شود. سپس هزینه‌های به‌دست‌آمده با توجه به نرخ‌های تورم سال‌های ۱۳۷۶ الی ۱۳۹۵ به‌روز می‌شود. تصادفات اتفاق افتاده در سال ۱۳۷۶ کشور در جدول ۱ درج شده است. بر اساس آمار اعلامی توسط سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای کشور و سازمان پزشکی قانونی کشور تصادفات اتفاق افتاده در سال ۱۳۹۵ کشور در جدول ۲ درج شده است. از آمار ذکر شده به‌منظور محاسبه هزینه تصادفات جاده‌ای اتفاق افتاده در سال ۱۳۹۵ استفاده می‌شود. تعداد متوفیات ناشی از تصادفات برون‌شهری در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۵ نیز در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

تأمین ایمنی و روانی تردد در راه‌ها به وجود آید. رضایی فر و همکاران (۱۳۹۴)، روش برنامه ریزی خطی را یکی از روش‌های کارآمد در تعیین راهکار اقتصادی بهینه در پروژه‌ها برشمرده و اشاره کردند در این روش تخصیص بودجه به‌گونه‌ای انجام می‌گیرد؛ که بیشترین بازده را داشته باشد. از آنجاکه اقدامات ایمن‌سازی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در کاهش تصادفات بوده با بهره‌گیری از روش خطی مدلی ارائه گردید که بهترین اقدامات برای قطعات مختلف معبر موردنظر به‌گونه‌ای انتخاب شوند که بیشترین تأثیر را در کاهش تصادفات داشته باشند..

۳- روش تحقیق

۳-۱- برآورد هزینه تصادفات جاده‌ای

در این مقاله برای مکان‌یابی استفاده بهینه از سامانه روشنایی در محورهای مورد مطالعه، محاسبه هزینه تصادفات ترافیکی بر اساس تصادفات اتفاق افتاده در سال ۱۳۹۵ نیاز

جدول ۱. آمار تصادفات سال ۱۳۷۶ کشور (سازمان پزشکی قانونی کشور)

تعداد تصادفات برون‌شهری	تعداد مجروحین تصادفات برون‌شهری	تعداد متوفیان تصادفات برون‌شهری
۹۵۲۸۶	۴۶۵۳۶	۹۸۰۹

جدول ۲. آمار تصادفات سال ۱۳۹۵ کشور (سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای و سازمان پزشکی قانونی کشور)

تعداد تصادفات برون‌شهری	تعداد مجروحین تصادفات برون‌شهری	تعداد متوفیان تصادفات برون‌شهری
۱۰۱۷۹۲	۳۳۳۰۶۶	۱۰۴۲۷



شکل ۱. تعداد متوفیات ناشی از تصادفات رانندگی کشور در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۵ (سازمان پزشکی قانونی کشور)

۳-۲- محاسبه هزینه اقتصادی تصادفات سال ۱۳۹۵

در کشور ما در سال‌های اخیر مطالعات اندکی در خصوص برآورد هزینه تصادفات صورت گرفته است. در این تحقیق، از اطلاعات کتاب هزینه‌های تصادفات ترافیکی ایران تألیف

اسماعیل آیتی که برای سال ۷۶ تعیین گشته، به‌عنوان سال پایه استفاده می‌گردد. هزینه اقتصادی تصادفات ترافیکی در جدول ۴ برای سال ۷۶ ارایه شده است.

جدول ۳. اجرای اصلی تصادفات ترافیکی و هزینه تحمیلی آن‌ها به جامعه در سال ۷۶ (بیهانی و همکاران، ۱۳۹۳)

عناصر هزینه‌ای	هزینه (میلیارد ریال)
۱) هزینه درمان مجروحان	۱۷۹,۲
۲) وقت تلف شده افراد	۴۰,۵
۳) کشته شدگان، معلولیت‌ها، غم و غصه	۳۶۰۴,۷
۴) هزینه‌های اداری	۶۰۱,۵
۵) هزینه تجهیزات از بین رفته	۱۷۴۴,۷

به منظور تعیین هزینه تصادفات ترافیکی ایران در سال ۹۵، در بررسی عناصر پنج‌گانه فوق (جدول ۴) می‌توان تغییرات عناصر ۱ و ۲ را متناسب با تغییر تعداد مجروحان، تغییر عنصر ۳ را می‌توان متناسب با تغییر کشته شدگان و تغییر عنصر ۴ و ۵ را متناسب با تغییرات تعداد تصادفات در نظر گرفت. شکل ۱ مقایسه تعداد متوفیان و مجروحان در اثر تصادفات برون‌شهری در سال ۷۶ با سال ۹۵ را نشان می‌دهد. با مشخص بودن هزینه تصادفات در سال ۷۶ و اطلاعات تصادفات در سال‌های ۷۶ و ۹۵، عناصر هزینه سال ۹۵ به ریال ثابت سال ۷۶ به صورت ذیل به دست می‌آیند:

$$\text{میلیارد ریال } ۱۲۸۲,۵۶ = (۳۳۳۰,۶۶ / ۴۶۵۳۶) \times ۱۷۹,۲ = \text{هزینه درمان مجروحان}$$

$$\text{میلیارد ریال } ۲۸۹,۸۶ = (۳۳۳۰,۶۶ / ۴۶۵۳۶) \times ۴۰,۵ = \text{هزینه وقت تلف شده افراد}$$

$$\text{میلیارد ریال } ۳۸۳۱,۸۰ = (۱۰۴۲۷ / ۹۸۰۹) \times ۳۶۰۴,۷ = \text{هزینه کشته شدگان، معلولیت‌ها، غم و غصه}$$

$$\text{میلیارد ریال } ۶۴۲,۵۷ = (۱۰۱۷۹۲ / ۹۵۲۸۶) \times ۶۰۱,۵ = \text{هزینه‌های اداری}$$

$$\text{میلیارد ریال } ۱۸۶۳,۸۲ = (۱۰۱۷۹۲ / ۹۵۲۸۶) \times ۱۷۴۴,۷ = \text{هزینه تجهیزات از بین رفته}$$

در نتیجه هزینه کل تصادفات جاده‌ای بر اساس ریال سال ۷۶ برابر، $۱۹۱۰,۶۱$ میلیارد ریال است. بنابراین با در نظر گرفتن شاخص تورم از سال ۷۶ الی ۹۵ (شکل ۴) (تهیه شده توسط بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران) هزینه تصادفات به صورت ذیل محاسبه می‌گردد:

جدول ۴. نرخ تورم ایران در سال‌های ۱۳۷۶ الی ۱۳۹۵ (بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران)

سال	تورم	سال	تورم
۷۶	۱۷,۳	۸۶	۱۸,۴
۷۷	۱۸,۱	۸۷	۲۵,۴
۷۸	۲۰,۱	۸۸	۱۰,۸
۷۹	۱۲,۶	۸۹	۱۲,۴
۸۰	۱۱,۴	۹۰	۲۱,۵
۸۱	۱۵,۸	۹۱	۳۰,۵
۸۲	۱۵,۶	۹۲	۳۴,۴
۸۳	۱۵,۲	۹۳	۱۵,۵
۸۴	۱۰,۴	۹۴	۱۱,۹
۸۵	۱۱,۹	۹۵	۹,۰

$$(1,173 \times 1,181 \times 1,201 \times 1,126 \times 1,114 \times 1,158 \times 1,156 \times 1,152 \times 1,104 \times 1,119 \times 1,184 \times 1,254 \times 1,108 \times 1,124 \\ \times 1,215 \times 1,305 \times 1,345 \times 1,155 \times 1,119 \times 1,09) 7910,61 = 174721,14 \text{ میلیارد ریال}$$

برای به دست آوردن رقم تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی، به تصادف خسارتی وزن ۱، تصادف جرحی وزن ۵,۸۴ و به تصادف فوتی وزن ۱۱۱ داده می‌شود.

بر اساس اطلاعات جاده‌ای ایران با فرض اینکه ۱۲٪ تصادفات جاده‌ای از نوع فوتی، ۶۱٪ تصادفات جرحی و ۲۷٪ تصادفات خسارتی باشند. هزینه هریک از این تصادفات به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$5,84C=B, 111C=A$$

$$27483,84 (1C) + 62093,12(5,84C) + 12215,04(111C) = 174721,14 \times 10^9 \text{ ریال}$$

$$\text{ریال } 1745977,101C = 174721,14 \times 10^9 \longrightarrow$$

$$\text{ریال } C = 100070694 \longrightarrow$$

$$\text{ریال } B = 584412852, A = 1,11 \times 10^{11} \longrightarrow$$

$$\text{ریال } (C) = 100070000 \text{ هزینه متوسط تقریبی یک فقره تصادف خسارتی}$$

$$\text{ریال } (B) = 584410000 \text{ هزینه متوسط تقریبی یک فقره تصادف جرحی}$$

$$\text{ریال } (A) = 1110000000 \text{ هزینه متوسط تقریبی یک فقره تصادف فوتی}$$

۳-۳- مدل‌سازی مسئله

(حداکثر یا حداقل) می‌رساند (حمیدی ۱۳۸۳). به بیان دیگر تابع هدف آمال و آرزوهایی است که در حل مسئله به دنبال دستیابی بدان هستیم مانند بیشینه کردن سود یا کمینه کردن ضرر. در این مقاله در پی تعیین قطعاتی از راه‌ها هستیم (متغیرهای تصمیم) که سود حاصل از اجرای سامانه روشنایی در آن بیشینه گردد و قیود مسئله محدودیت‌هایی است که در سر راه رسیدن به تابع هدف پیش روداریم. در این مقاله، بودجه موجود به‌عنوان محدودیت مسئله تعیین شده است. متغیرهای مستقل زیر در مدل وجود دارند:

برای برنامه‌ریزی خطی داده و ستاده‌هایی وجود دارد. اگر بخواهیم مسئله‌ای را به روش برنامه‌ریزی خطی حل نماییم به یکسری اطلاعات اولیه به‌عنوان داده یا ورودی نیاز است که آن‌ها را در سه دسته متغیرهای تصمیم، هدف و محدودیت‌ها جای می‌دهند. ارتباط بین ورودی‌ها منجر به ارائه مدل ریاضی برای برنامه‌ریزی خطی می‌گردد که آن را به‌اختصار مدل برنامه‌ریزی خطی می‌نامند. خروجی یک مدل برنامه‌ریزی یا همان ستاده، جواب بهینه است یعنی مقدار متغیرها که هدف را با توجه به محدودیت‌ها به حد بهینه

a: کاهش تعداد تصادفات فوتی در اثر استفاده از سیستم روشنایی {در مقطع A}

b: کاهش تعداد تصادفات جرحی در اثر استفاده از سیستم روشنایی {در مقطع A}

c: کاهش تعداد تصادفات خسارتی در اثر استفاده از سیستم روشنایی {در مقطع A}

d: هزینه استفاده از سامانه روشنایی {در مقطع A}

X: متغیر تصمیم‌گیری (دارای دو حالت: ۰ برای عدم انتخاب قطعه و ۱ برای انتخاب قطعه)

A: متوسط هزینه یک تصادف فوتی

B: متوسط هزینه یک تصادف جرحی

C: متوسط هزینه یک تصادف خسارتی (به دلیل عدم وجود آمار مربوط در محاسبات صرف نظر می‌شود).

D = کل بودجه موجود جهت اجرای سامانه روشنایی

• تابع هدف:

$$\text{Max} \frac{z}{d} = \sum_{i=1}^p \frac{(aiA+biB+ciC)Xi}{di}$$

• محدودیت بودجه:

$$\sum_{i=1}^p diXi \leq D$$

قطعات یک کیلومتری که در آن تصادف فوتی یا جرحی رخ نداده از مدل تصمیم‌گیری حذف شد. در حالت دوم قطعات یک کیلومتری حالت اول پشت سرهم و به صورت پیوسته و متصل بودند، در این حالت این قطعات پیوسته، به‌عنوان یک قطعه در نظر گرفته شد.

۳-۴- میزان تأثیر سامانه روشنایی در تصادفات

مطالعات نشان می‌دهد استفاده از سامانه روشنایی می‌تواند مطابق شکل ۲ در عدم وقوع تصادفات، به ترتیب فوتی، جرحی و خسارتی تأثیرگذار باشد (بهبهانی و همکاران، ۱۳۹۳). بنابراین درصدهای ذکرشده در این مقاله مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۲. نمودار میزان کاهش تصادفات در اثر استفاده از سامانه روشنایی در جاده‌ها

۳-۵- آمار مورد استفاده

تصادفات اتفاق افتاده در ساعات تاریک (شب) (زمان غروب تا طلوع آفتاب) و شرایط جوی نامساعد (مه‌آلود، ابری، بارانی و برفی) در طول روز استفاده شد. با توجه به اینکه سامانه روشنایی در ورودی شهرها به‌طور معمول وجود دارد از آمار تصادفات ۵ کیلومتر ورودی در محورها صرف‌نظر

محدودیت بودجه در سه سناریو مختلف بررسی شده است که عبارت است از بیشینه کردن نسبت منافع به هزینه‌ها z/d در تابع هدف. منافع عبارت است از کاهش هزینه تصادفات و هزینه‌ها عبارت است از هزینه اجرای سامانه روشنایی در مقاطع مختلف محورهای مورد مطالعه. سناریو ۱ عبارتست از: بودجه ۱۱ میلیارد ریال (بودجه احتمالی برای اجرای سامانه روشنایی راه‌های استان) سناریوی ۲ شامل بودجه ۲۲ میلیارد ریال (بودجه خوش‌بینانه برای اجرای سامانه روشنایی راه‌های استان) و سناریوی ۳ عبارتند از بودجه ۵,۵ میلیارد ریال (بودجه بدبینانه برای اجرای سامانه روشنایی راه‌های استان). مسئله برای دو نوع قطعه‌بندی بدین شرح حل می‌شود: حالت اول قطعاتی مورد تصمیم‌گیری قرارگرفته که طول هر قطعه یک کیلومتر و در آن حداقل یک تصادف فوتی یا جرحی به‌وقوع پیوسته بود. بدیهی است

روشنایی در طول یک کیلومتر با استعلام از کارشناسان اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان شرقی به دست آمد. این هزینه حدود ۱۸۰ میلیون تومان برای طول یک کیلومتر در سال ۱۳۹۶ معرفی شد. برای به دست آوردن این رقم، بودجه پروژه‌های روشنایی اجرا شده در سال ۱۳۹۵ به طول پروژه تقسیم شده و با کمی افزایش برای سال ۹۶ تعیین گشت.

شد. نکته دیگر اینکه آمار تصادفات خسارتی در محورهای مورد مطالعه موجود نمی‌باشد. آمار تصادفات در محورهای مورد مطالعه مربوط به سه ساله ۹۱، ۹۳ و ۹۴ است (آمار تصادفات سال ۹۲ به دلیل اینکه ناقص بود، مورد استفاده قرار نگرفت). جدول ۴ آمار تصادفات محورهای مورد مطالعه در کیلومترهای مختلف را به همراه هزینه اجرایی سامانه روشنایی را نشان می‌دهد. هزینه اجرای سامانه

جدول ۴. آمار تصادفات و هزینه اجرای روشنایی در مقاطع مورد مطالعه

هزینه اجرای سامانه روشنایی (میلیون تومان) * (d _j)	نوع و تعداد تصادف			کیلومترهای	محور	قطعه
	خسارتی	جرحی	فوتی			
۵۴۰	-	۵	۰	۰۸+۵۰۰ تا ۰۵+۵۰۰	سراب تبریز	X ₁
۱۸۰	-	۲	۰	۱۰+۵۰۰ تا ۰۹+۵۰۰		X ₂
۱۸۰	-	۲	۰	۱۵+۵۰۰ تا ۱۴+۵۰۰		X ₃
۱۸۰	-	۱	۱	۲۰+۵۰۰ تا ۱۹+۵۰۰		X ₄
۱۸۰	-	۷	۰	۳۵+۵۰۰ تا ۳۴+۵۰۰		X ₅
۳۶۰	-	۲	۰	۳۸+۵۰۰ تا ۳۶+۵۰۰		X ₆
۱۸۰	-	۲	۰	۴۰+۵۰۰ تا ۳۹+۵۰۰		X ₇
۱۸۰	-	۶	۰	۴۵+۵۰۰ تا ۴۴+۵۰۰		X ₈
۱۸۰	-	۲	۰	۵۵+۵۰۰ تا ۵۴+۵۰۰		X ₉
۵۴۰	-	۳	۱	۰۸+۵۰۰ تا ۰۵+۵۰۰	اهر تبریز	X ₁₀
۱۸۰	-	۱	۱	۱۰+۵۰۰ تا ۰۹+۵۰۰		X ₁₁
۱۸۰	-	۲	۰	۱۲+۵۰۰ تا ۱۱+۵۰۰		X ₁₂
۱۸۰	-	۵	۰	۱۵+۵۰۰ تا ۱۴+۵۰۰		X ₁₃
۱۸۰	-	۲	۰	۲۵+۵۰۰ تا ۲۴+۵۰۰		X ₁₄
۳۶۰	-	۲	۱	۳۱+۵۰۰ تا ۲۹+۵۰۰		X ₁₅
۳۶۰	-	۴	۲	۳۶+۵۰۰ تا ۳۴+۵۰۰		X ₁₆
۱۸۰	-	۱	۰	۴۰+۵۰۰ تا ۳۹+۵۰۰		X ₁₇
۱۸۰	-	۲	۲	۴۵+۵۰۰ تا ۴۴+۵۰۰		X ₁₈
۱۸۰	-	۷	۱	۵۰+۵۰۰ تا ۴۹+۵۰۰		X ₁₉
۱۸۰	-	۱	۰	۵۲+۵۰۰ تا ۵۱+۵۰۰		X ₂₀
۱۸۰	-	۴	۲	۵۵+۵۰۰ تا ۵۴+۵۰۰		X ₂₁
۱۸۰	-	۰	۱	۵۸+۵۰۰ تا ۵۷+۵۰۰		X ₂₂
۱۸۰	-	۵	۱	۶۰+۵۰۰ تا ۵۹+۵۰۰		X ₂₃
۱۸۰	-	۶	۰	۶۵+۵۰۰ تا ۶۴+۵۰۰	X ₂₄	
۱۸۰	-	۱	۰	۶۷+۵۰۰ تا ۶۶+۵۰۰	X ₂₅	
۷۲۰	-	۱۲	۱	۷۲+۵۰۰ تا ۶۸+۵۰۰	X ₂₆	
۵۴۰	-	۷	۱	۷۵+۵۰۰ تا ۷۲+۵۰۰	X ₂₇	
۱۸۰	-	۴	۰	۰۸+۵۰۰ تا ۰۷+۵۰۰	X ₂₈	
۱۸۰	-	۱۳	۱	۱۰+۵۰۰ تا ۰۹+۵۰۰	X ₂₉	

۱۸۰	-	۱	۱	۱۳+۵۰۰ تا ۱۲+۵۰۰	مراغه هشتگرد	X ₃₀
۱۸۰	-	۲	۱	۱۵+۵۰۰ تا ۱۴+۵۰۰		X ₃₁
۳۶۰	-	۱	۲	۱۸+۵۰۰ تا ۱۶+۵۰۰		X ₃₂
۱۸۰	-	۷	۰	۲۰+۵۰۰ تا ۱۹+۵۰۰		X ₃₃
۱۸۰	-	۲	۱	۳۵+۵۰۰ تا ۳۴+۵۰۰		X ₃₄
۱۸۰	-	۲	۰	۴۵+۵۰۰ تا ۴۴+۵۰۰		X ₃₅
۱۸۰	-	۴	۰	۵۵+۵۰۰ تا ۴۹+۵۰۰		X ₃₆

*هزینه اجرای هر کیلومتر روشنایی درراه‌های ایران حدود ۱۸۰ میلیون تومان است.

۳-۶- نرم‌افزار مورد استفاده

حل مسائل تحقیق در عملیات با بعد بزرگ که اغلب در عمل پیش می‌آید، به صورت دستی زمان‌بر بوده و از دقت کافی برخوردار نیست. به خصوص اگر در محاسبات تنها یک اشتباه ساده صورت گیرد، نتایج حاصل نادرست خواهد بود. برای حل این مشکل بهتر است از برنامه‌های کامپیوتری و یا نرم‌افزارهای مناسب تحقیق در عملیات استفاده شود. در حال حاضر برای حل مسائل تحقیق در عملیات نرم‌افزارهای تخصصی متعددی در بازار موجود است، از جمله آن‌ها می‌توان به نرم‌افزار WinQSB2 اشاره نمود. از مزایای این نرم‌افزار می‌توان به محیط بسیار ساده، سادگی ورود اطلاعات، روش‌های مختلف حل، آنالیز تمامی پارامترها و خروجی‌های قابل فهم آن اشاره نمود. در شکل ۳ نمای اولیه و مسائل قابل حل توسط WinQSB2 نشان داده شده است.

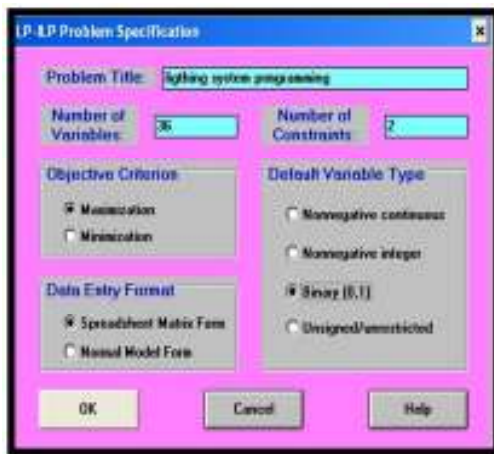
۴- نتیجه و بحث

۴-۱- تحلیل در حالت طول پیوسته مسیر

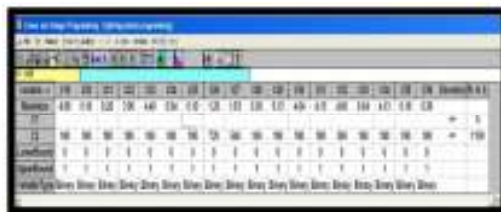
نام مسئله، تعداد متغیرها، قیود تصمیم، نوع تابع و نحوه نمایش آن و نحوه تعیین جواب به صورت شکل ۴ وارد نرم‌افزار می‌شود. در مرحله بعدی طبق مدل خطی طراحی شده ضرایب X_i ها (از X_1 الی X_{36}) و هزینه اجرای سامانه روشنایی در هریک از مقاطع و محدودیت بودجه (۱۱۰۰ میلیون تومان) به عنوان محدودیت مسئله مطابق شکل ۴ به عنوان ورودی به نرم‌افزار WinQSB2 معرفی شد. با توجه به طولانی بودن صفحه نمایش در شکل ۵ فقط متغیرهای X_{19} تا X_{36} قابل نمایش است. با تحلیل مسئله مقاطع بهینه به صورت شکل ۶ نمایان می‌شود. جدول ۵ ترتیب انتخاب و اولویت قطعات در حالت اول مسئله را به اختصار نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمای اولیه و مسائل قابل حل توسط WinQSB2



شکل ۴. تعیین تعداد متغیرها و محدودیت‌ها برای نرم‌افزار WinQSB2



شکل ۵. وارد کردن متغیرها و محدودیت به نرم‌افزار winQSB2، با وجود قطعات پیوسته بیش از ۱ کیلومتر طول (حالت اول مسئله)

Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit (c _j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status
X1	0	0.150000000000000	0	0.150000000000000	at bound
X2	0	0.180000000000000	0	0.180000000000000	at bound
X3	0	0.180000000000000	0	0.180000000000000	at bound
X4	0	4.00000000000000	0	4.00000000000000	at bound
X5	0	0.000000000000000	0	0.000000000000000	at bound
X6	0	0.180000000000000	0	0.180000000000000	at bound
X7	0	0.180000000000000	0	0.180000000000000	at bound
X8	0	0.540000000000000	0	0.540000000000000	at bound
X9	0	0.180000000000000	0	0.180000000000000	at bound
X10	0	1.40000000000000	0	1.40000000000000	at bound
X11	0	4.00000000000000	0	4.00000000000000	at bound
X12	0	0.180000000000000	0	0.180000000000000	at bound
X13	0	0.440000000000000	0	0.440000000000000	at bound
X14	0	0.180000000000000	0	0.180000000000000	at bound
X15	0	2.00000000000000	0	2.00000000000000	at bound
X16	0	4.13000000000000	0	4.13000000000000	at bound
X17	0	0.180000000000000	0	0.180000000000000	at bound
X18	1	0.070000000000000	0.070000000000000	0	basic
X19	1	4.57000000000000	4.57000000000000	0	basic
X20	0	0.180000000000000	0	0.180000000000000	at bound
X21	1	0.200000000000000	0.200000000000000	0	basic
X22	0	2.96000000000000	0	2.96000000000000	at bound
X23	1	4.40000000000000	4.40000000000000	0	basic
X24	0	0.540000000000000	0	0.540000000000000	at bound
X25	0	0.180000000000000	0	0.180000000000000	at bound
X26	0	1.25000000000000	0	1.25000000000000	at bound
X27	0	1.23000000000000	0	1.23000000000000	at bound
X28	0	0.300000000000000	0	0.300000000000000	at bound
X29	1	0.130000000000000	0.130000000000000	0	basic
X30	0	4.00000000000000	0	4.00000000000000	at bound
X31	0	4.13000000000000	0	4.13000000000000	at bound
X32	0	0	0	0	at bound
X33	0	0.000000000000000	0	0.000000000000000	at bound
X34	1	4.13000000000000	4.13000000000000	0	basic
X35	0	0.180000000000000	0	0.180000000000000	at bound
X36	0	0.300000000000000	0	0.300000000000000	at bound

شکل ۶. خروجی نرم‌افزار winQSB2 در حالت اول مسئله

جدول ۵. ترتیب انتخاب و اولویت قطعات در حالت اول مسئله

ترتیب اولویت	کیلومتر از	محور
۱	۵۴+۵۰۰ تا ۵۵+۵۰۰	اهر- تبریز
۲	۴۴+۵۰۰ تا ۴۵+۵۰۰	اهر- تبریز
۳	۱۰+۵۰۰ تا ۰۹+۵۰۰	مراغه - هشتگرد
۴	۵۰+۵۰۰ تا ۴۹+۵۰۰	اهر- تبریز
۵	۶۰+۵۰۰ تا ۵۹+۵۰۰	اهر- تبریز
۶	۳۵+۵۰۰ تا ۳۴+۵۰۰	مراغه - هشتگرد

۴-۲- تحلیل در حالت طول منقطع مسیر

قطعات پیوسته که طول آن‌ها بیش از یک کیلومتر است را به قطعاتی به طول ثابت یک کیلومتر تبدیل کرده و مسئله دوباره حل می‌شود به طوری که تعداد متغیرها از ۳۶ به ۴۹ افزایش می‌یابد. جدول ۶ آمار تصادفات و هزینه اجرای

جدول ۶. آمار تصادفات و هزینه اجرای روشنایی در قطعاتی با طول ثابت ۱ کیلومتر در محورهای مورد مطالعه

قطعه	محور	کیلومتر از	نوع و تعداد تصادف			هزینه اجرای سامانه روشنایی (d _j) (میلیون تومان)*
			فوتی	جرحی	خسارتی	
X ₁	سراب تبریز	۰۶+۵۰۰ تا ۰۵+۵۰۰	۰	۲	-	۱۸۰
X ₂		۰۷+۵۰۰ تا ۰۶+۵۰۰	۰	۱	-	۱۸۰
X ₃		۰۸+۰۰۰ تا ۰۷+۵۰۰	۰	۲	-	۱۸۰
X ₄		۱۰+۵۰۰ تا ۰۹+۵۰۰	۰	۱	-	۱۸۰
X ₅		۱۵+۵۰۰ تا ۱۴+۵۰۰	۰	۲	-	۱۸۰
X ₆		۲۰+۵۰۰ تا ۱۹+۵۰۰	۱	۱	-	۱۸۰
X ₇		۳۵+۵۰۰ تا ۳۴+۵۰۰	۰	۷	-	۱۸۰
X ₈		۳۷+۵۰۰ تا ۳۶+۵۰۰	۰	۱	-	۱۸۰
X ₉		۳۸+۵۰۰ تا ۳۷+۵۰۰	۰	۱	-	۱۸۰
X ₁₀		۴۰+۵۰۰ تا ۳۹+۵۰۰	۰	۳	-	۱۸۰
X ₁₁		۴۵+۵۰۰ تا ۴۴+۵۰۰	۰	۶	-	۱۸۰
X ₁₂		۵۵+۵۰۰ تا ۵۴+۵۰۰	۰	۲	-	۱۸۰
X ₁₃	اهر تبریز	۰۶+۵۰۰ تا ۰۵+۵۰۰	۰	۱	-	۱۸۰
X ₁₄		۰۷+۵۰۰ تا ۰۶+۵۰۰	۰	۱	-	۱۸۰
X ₁₅		۰۸+۵۰۰ تا ۰۷+۵۰۰	۱	۱	-	۱۸۰
X ₁₆		۱۰+۵۰۰ تا ۰۹+۵۰۰	۱	۱	-	۱۸۰
X ₁₇		۱۲+۵۰۰ تا ۱۱+۵۰۰	۰	۲	-	۱۸۰
X ₁₈		۱۵+۵۰۰ تا ۱۴+۵۰۰	۰	۵	-	۱۸۰
X ₁₉		۲۵+۵۰۰ تا ۲۴+۵۰۰	۰	۲	-	۱۸۰
X ₂₀		۳۰+۵۰۰ تا ۲۹+۵۰۰	۰	۲	-	۱۸۰
X ₂₁		۳۱+۵۰۰ تا ۳۰+۵۰۰	۱	۰	-	۱۸۰
X ₂₂		۳۵+۵۰۰ تا ۳۴+۵۰۰	۰	۴	-	۱۸۰

۱۸۰	-	۰	۲	۳۶+۵۰۰ تا ۳۵+۵۰۰	مراغه هشتگرد	X ₂₃
۱۸۰	-	۱	۰	۴۰+۵۰۰ تا ۳۹+۵۰۰		X ₂₄
۱۸۰	-	۲	۲	۴۵+۵۰۰ تا ۴۴+۵۰۰		X ₂₅
۱۸۰	-	۷	۱	۵۰+۵۰۰ تا ۴۹+۵۰۰		X ₂₆
۱۸۰	-	۱	۰	۵۲+۵۰۰ تا ۵۱+۵۰۰		X ₂₇
۱۸۰	-	۴	۲	۵۵+۵۰۰ تا ۵۴+۵۰۰		X ₂₈
۱۸۰	-	۰	۱	۵۸+۵۰۰ تا ۵۷+۵۰۰		X ₂₉
۱۸۰	-	۵	۱	۶۰+۵۰۰ تا ۵۹+۵۰۰		X ₃₀
۱۸۰	-	۶	۰	۶۵+۵۰۰ تا ۶۴+۵۰۰		X ₃₁
۱۸۰	-	۱	۰	۶۷+۵۰۰ تا ۶۶+۵۰۰		X ₃₂
۱۸۰	-	۱	۰	۶۹+۵۰۰ تا ۶۸+۵۰۰		X ₃₃
۱۸۰	-	۸	۱	۷۰+۵۰۰ تا ۶۹+۵۰۰		X ₃₄
۱۸۰	-	۱	۰	۷۱+۵۰۰ تا ۷۰+۵۰۰		X ₃₅
۱۸۰	-	۲	۰	۷۲+۵۰۰ تا ۷۱+۵۰۰		X ₃₆
۱۸۰	-	۱	۱	۷۳+۵۰۰ تا ۷۲+۵۰۰		X ₃₇
۱۸۰	-	۱	۰	۷۴+۵۰۰ تا ۷۳+۵۰۰		X ₃₈
۱۸۰	-	۵	۰	۷۵+۵۰۰ تا ۷۴+۵۰۰		X ₃₉
۱۸۰	-	۴	۰	۰۸+۵۰۰ تا ۰۷+۵۰۰		X ₄₀
۱۸۰	-	۱۳	۱	۱۰+۵۰۰ تا ۰۹+۵۰۰		X ₄₁
۱۸۰	-	۱	۱	۱۳+۵۰۰ تا ۱۲+۵۰۰		X ₄₂
۱۸۰	-	۲	۱	۱۵+۵۰۰ تا ۱۴+۵۰۰		X ₄₃
۱۸۰	-	۱	۱	۱۷+۵۰۰ تا ۱۶+۵۰۰		X ₄₄
۱۸۰	-	۰	۱	۱۸+۵۰۰ تا ۱۷+۵۰۰		X ₄₅
۱۸۰	-	۷	۰	۲۰+۵۰۰ تا ۱۹+۵۰۰		X ₄₆
۱۸۰	-	۲	۱	۳۵+۵۰۰ تا ۳۴+۵۰۰		X ₄₇
۱۸۰	-	۲	۰	۴۵+۵۰۰ تا ۴۴+۵۰۰		X ₄₈
۱۸۰	-	۴	۰	۵۰+۵۰۰ تا ۴۹+۵۰۰		X ₄₉

جدول ۷. ترتیب اولویت و محل قطعات انتخاب شده برای حالت دوم مسئله

محول	کیلومتر از	ترتیب اولویت
اهر- تبریز	۵۵+۵۰۰ تا ۵۴+۵۰۰	۱
اهر- تبریز	۴۵+۵۰۰ تا ۴۴+۵۰۰	۲
اهر- تبریز	۳۶+۵۰۰ تا ۳۵+۵۰۰	۳
مراغه - هشتگرد	۱۰+۵۰۰ تا ۰۹+۵۰۰	۴
اهر- تبریز	۷۰+۵۰۰ تا ۶۹+۵۰۰	۵
اهر- تبریز	۵۰+۵۰۰ تا ۴۹+۵۰۰	۶

جدول ۸. ترتیب اولویت و محل قطعات انتخاب شده در تحلیل حساسیت با بودجه ۲۲ میلیارد ریال (بودجه خوش بینانه)

محول	کیلومتر از	ترتیب اولویت
اهر- تبریز	۵۵+۵۰۰ تا ۵۴+۵۰۰	۱
اهر- تبریز	۴۵+۵۰۰ تا ۴۴+۵۰۰	۲
مراغه - هشتگرد	۱۰+۵۰۰ تا ۰۹+۵۰۰	۳
اهر- تبریز	۵۰+۵۰۰ تا ۴۹+۵۰۰	۴

۵	۶۰+۵۰۰ تا ۵۹+۵۰۰	اهر- تبریز
۶	۱۵+۵۰۰ تا ۱۴+۵۰۰	مراغه - هشترود
۷	۳۵+۵۰۰ تا ۳۴+۵۰۰	مراغه - هشترود
۸	۲۰+۵۰۰ تا ۱۹+۵۰۰	سراب - پستان‌آباد
۹	۱۰+۵۰۰ تا ۰۹+۵۰۰	اهر- تبریز
۱۰	۱۳+۵۰۰ تا ۱۲+۵۰۰	مراغه - هشترود
۱۱	۵۸+۵۰۰ تا ۵۷+۵۰۰	اهر- تبریز
۱۲	۶۵+۵۰۰ تا ۶۴+۵۰۰	اهر- تبریز
۱۳	۱۵+۵۰۰ تا ۱۴+۵۰۰	اهر- تبریز

۴-۳- تحلیل حساسیت

با سه سناریو بودجه احتمالی، بودجه خوش‌بینانه و بودجه بدبینانه بررسی شد. به‌منظور تحلیل حساسیت، مسئله با بودجه‌های ۲۲ میلیارد ریال و ۵,۵ میلیارد ریال مجدداً حل می‌شود، که نتایج به صورت جداول ۸ و ۹ به‌دست می‌آید.

در کاربردهای عملی امکان دارد بعضی از داده‌ها و اطلاعات مسئله تغییر یابد. در این صورت حل مجدد مسئله به‌صورت دستی هزینه‌بر خواهد بود؛ اما با استفاده از تحلیل حساسیت می‌توان بدون اینکه مسئله دوباره حل شود، اثر تغییرات اعمال‌شده بررسی گردد. همان‌طور که قبلاً گفته شد مسئله

جدول ۹. ترتیب اولویت و محل قطعات انتخاب‌شده در تحلیل حساسیت با بودجه ۵,۵ میلیارد ریال (بودجه بدبینانه)

ترتیب اولویت	کیلومتر	محور
۱	۵۴+۵۰۰ تا ۵۵+۵۰۰	اهر- تبریز
۲	۴۵+۵۰۰ تا ۴۴+۵۰۰	اهر- تبریز
۳	۱۰+۵۰۰ تا ۰۹+۵۰۰	مراغه - هشترود

۵- نتیجه‌گیری

روشنایی در جاده‌ها است، با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی (LP) و با نگاه اقتصادی به تصادفات افتاده در بازه زمانی مشخص، در مقاطع مختلف از جاده‌های اصلی استان، مقاطعی که بازدهی بیشتری را در اجرای سامانه روشنایی (با توجه به بودجه موجود) دارد، تعیین گردید. در این مقاله، مقاطع بهینه از جاده‌های اصلی استان آذربایجان شرقی برای اجرای سامانه روشنایی برمبنای روش برنامه‌ریزی خطی و با معیار هزینه و فایده اقتصادی با استفاده از نرم‌افزار تحقیق در عملیات WinQSB2، اولویت‌بندی شده است. به‌علاوه هزینه ریالی تحمیلی به کشور در اثر تصادفات جاده‌ای در سال ۱۳۹۵ محاسبه‌شده و هزینه تقریبی یک فقره تصادف به تفکیک جرحی، فوتی و خسارتی نیز

مسئله بودجه همیشه یکی از مشکلات اساسی بر سر راه اجرای پروژه‌های عمرانی علی‌الخصوص در کشور ماست و می‌توان گفت که تقریباً هیچ‌گاه کفاف اجرای پروژه‌های عمرانی در تمام محل‌های موردنیاز را نمی‌دهد که با مدیریت صحیح آن می‌توان همان بودجه محدود را بدون در نظر گرفتن سلاقی، حب و بغض‌های شخصی و منطقه‌ای، در محل‌هایی که بیشترین بازدهی را در اثر اجرای پروژه نشان می‌دهد، مصرف نمود. استفاده از سامانه روشنایی در جاده‌های بین‌شهری یکی از عوامل تأثیرگذار در کاهش میزان تصادفات در طول زمان شب و شرایط دید نامناسب جوی تعیین‌شده است که در جاده‌های استان آذربایجان شرقی کمتر به چشم می‌خورد. بدین منظور با توجه به بودجه محدودی که در اختیار ادارات راه در خصوص ایجاد

خطی"، نهمین کنفرانس بین‌المللی حمل‌ونقل و ترافیک. تهران. ایران.

- بهبهانی، ح. و رضایی فر، م. ح.، وامق، م. و کارگر، ع. (۱۳۹۳). "ارایه روشی برای اولویت‌بندی تجهیزات ترافیکی"، مجله فن‌آوری حمل‌ونقل. شماره ۲۳. پاییز و زمستان.

- بختیاری، پ.، میر بهاء، ب. و فغانی، ع. (۱۳۹۲). "ارایه مدل اولویت‌بندی تأمین روشنایی درراه‌های برون‌شهری با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی"، سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی حمل‌ونقل و ترافیک. تهران. ایران.

- رضایی فر، م. ح. و شیرمحمدی، ح.، توکلی پاشکمی، م. ز. و روشن چراغ، ا. و فروزان، م. (۱۳۹۴). "ارزیابی روش خطی در اولویت‌بندی ایمن‌سازی معابر برون‌شهری"، فصلنامه جاده، شماره ۷۷.

- حمیدی، ن. (۱۳۸۳). "مهندسی سیستم‌ها (کاربردهای تحقیق در عملیات در مهندسی عمران)". تهران: انتشارات گسترش علوم پایه، چاپ اول.

- خیری، ح.، حاجی‌زاده، ر. و عباس‌نژاد، ن. (۱۳۹۳). "برنامه‌ریزی خطی با نرم‌افزار WinQSB"، تبریز: انتشارات فروزش.

- صفارزاده، م. و ترابی، م. (۱۳۹۰). "اولویت‌بندی اقدامات ایمن‌سازی درراه‌ها (مطالعه موردی محور مشهد-سرخس)". یازدهمین کنفرانس بین‌المللی حمل‌ونقل و ترافیک. تهران. ایران.

- کارگر، ع. و شیرمحمدی، ح. (۱۳۹۴). "ارزیابی روش خطی به‌منظور اولویت‌بندی اقتصادی تجهیزات ایمنی ترافیکی در جاده‌ها. پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک. تهران. ایران.

- وب‌سایت سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای کشور، سالنامه آماری، <http://www.rmta.ir>.

- وب‌سایت سازمان پزشکی قانونی کشور، <http://www.lmo.ir>.

- وب‌سایت بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، <http://www.cbi.ir>.

به‌دست‌آمده است. در ضمن مدلی ارایه شد که نتایج به‌دست‌آمده از آن نشان می‌دهد:

۱- تمام قطعات دارای تصادف به‌عنوان محل بهینه برای نصب سامانه روشنایی انتخاب نمی‌شود بلکه تصادفاتی مدنظر قرار می‌گیرد که نصب سامانه روشنایی بتواند در عدم وقوع آن مؤثر باشد (تصادفات در ساعات شب و روزهای با شرایط نامناسب برای دید راننده مانند مه و غیره).

۲- هرچه قطعه‌ای دارای نسبت سود به هزینه بیشتر باشد، آن قطعه در اولویت نصب سامانه روشنایی قرار می‌گیرد. سود، هزینه صرفه‌جویی شده در اثر کاهش تصادفات در صورت استفاده از سامانه روشنایی و هزینه، مبلغ موردنیاز برای نصب سامانه روشنایی در قطعات موردبررسی قرار می‌گیرد.

۳- نوع قطعه‌بندی محورها تأثیری در انتخاب مقاطع نداشته زیرا در هر دو نوع قطعه‌بندی (قطعات با طول ثابت ۱ کیلومتر و قطعات هم‌جوار به‌صورت قطعه واحد با طول بیش از یک کیلومتر) مقاطع انتخاب‌شده دارای طول ثابت ۱ کیلومتر هستند.

۴- قطعات مربوط به کیلومترهای ۴۴+۵۰۰ الی ۴۵+۵۰۰ و ۵۴+۵۰۰ الی ۵۵+۵۰۰ محور اهر - تبریز با نسبت سود به هزینه ۸،۲۶ و ۸،۰۷ در تمام سناریوهای در صدر اولویت برای نصب سامانه روشنایی قرار گرفت. کیلومترهای ۰۹+۵۰۰ تا ۱۰+۵۰۰ محور مراغه - هشتگرد با نسبت سود به هزینه ۵،۱۳ نیز در رتبه بعدی قرار گرفت که لزوم توجه ویژه تصمیم‌گیران در این امر را می‌طلبد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در حالات سناریوهای مختلف مشخص است که هیچ‌یک از مقاطع با طول بیش از ۱ کیلومتر در اولویت اجرای سامانه روشنایی قرار نگرفتند.

۶- مراجع

- آیتی، ا. (۱۳۸۸). "هزینه تصادفات (تئوری و کاربردی)". تهران: انتشارات پژوهشکده حمل‌ونقل، چاپ اول.

- امینی، ب. و بابایی، ص. (۱۳۸۸). "ارائه مدل ارزیابی اقدامات ایمن‌سازی راه‌ها بر اساس تحلیل خطر و برنامه‌ریزی

Locating the Road Lighting System Based on Linear Programming

(Case Study: Main Ways of East Azarbaijan Province)

B. Golchin, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

M. Fallahi, M.Sc.Grad., Department of Civil Engineering, Ahar Branch, Ahar, Iran.

R. Meshkabadi, Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran.

E-mail: golchin@uma.ac.ir

Received: June 2019- Accepted: October 2019

ABSTRACT

The safety is one of the important parts of traffic engineering and road lighting issue, which aims to achieve a degree of visibility for drivers, so that a quick, accurate, and convenient visibility can be achieved. The driver's visibility can prevent some accidents caused by road traffic at night. In this paper, the linear programming method is used to locate and optimize the lighting system in Ahar - Tabriz, Sarab - Bostanabad and Maragheh - Hashtrood roads. A model was designed based on maximizing the benefit /cost ratio. In order to calculate the savings due to the reduction of accidents by using lighting systems, the approximate average cost of a fatal accident was calculated in the country. Also, the amount required to install the lighting system in different parts was defined. The constraints for this model are the allocated budget for the installation of lighting systems. In order to analyze the model, WinQSB2 software was used to obtain optimal sections for the installation of the lighting system. Based on this research, the ranges of 44 + 500 to 45 + 500 and 54 +500 to 55+500 of Ahar-Tabriz road with a profit ratio of 8.26 and 8.07 in all budget scenarios and segmentation at the top of other components were determined as the optimal sections. The 09 + 500 and 10 + 500 Kilometers of Maragheh-Hashtrood road with a profit ratio of 5.13 was also ranked next.

Keywords: Linear Programming, Optimization, Lighting System, Locating