

## ارائه مدل ارزیابی اقدامات ایمن سازی راهها بر اساس تحلیل ارزیابی خطر و برنامه

### سازی خطی

دکتر بهنام امینی<sup>۱</sup>، صدیقه بابائی<sup>۲</sup>

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین

### چکیده

ایمنی راه ها یکی از مهمترین ملاحظات طراحی و بهره برداری آنهاست. ولی به علت کمبود منابع همواره نیاز به ارزیابی و اولویت بندی این اقدامات وجود دارد. هدف از این مقاله، ارائه یک مدل برای ارزیابی اقتصادی یک اقدام خاص، یا گزینه های مختلف اقدامات در یک مکان مشخص و استفاده بهینه از منابع و امکانات موجود، به منظور جلوگیری از وقوع و یا کاهش تعداد و شدت تصادفات راه می باشد. در این راستا با برآورد منفعت و هزینه هر یک از اقدامات اصلاحی، به مقایسه منافع و هزینه پروژه ها در میان مکانهای مختلف پرداخته و با محاسبه ارزش فعلی خالص آنها و لحاظ کردن این مقادیر به عنوان ضرایب تابع هدف در تحلیل برنامه ریزی عدد صحیح صفر-یک، منجر به انتخاب مجموعه بهینه ای از اقدامات شده است.

در این مقاله، علاوه بر تحلیل اقتصادی منفعت - هزینه برای یافتن سود خالص هر راهکار و تحلیل ریاضی برنامه ریزی عدد صحیح برای یافتن «راهکار برتر» در هر سایت، از نرم افزار winQSB برای حل مدل ریاضی، استفاده می شود. در نتیجه این مدل، با توجه به آمار تصادفات و هزینه اقدامات اصلاحی و بودجه موجود، از بین اقدامات و روشهای گوناگونی که برای بهسازی مسیر جهت بالا بردن ایمنی وجود دارد، ترکیبی از بهترین اقدامات اصلاحی، که بیشترین بازدهی ممکن را داشته باشد انتخاب می شود.

**کلید واژه :** ارزیابی اقتصادی، اقدامات ایمن سازی، تخصیص بهینه، برنامه سازی خطی

### ۱- مقدمه

امروزه نیاز به جابجایی و حمل و نقل یکی از ضروریات زندگی جوامع بشری تبدیل شده است. اما تلفات و خسارات ناشی از تصادفات ترافیکی نیز یکی از معضلات مهم جوامع امروزی شناخته می شود. یکی از عوامل مهم و تاثیر گذار در کاهش تعداد و شدت تصادفات جاده ای، مهندسی و مدیریت ایمنی راه می باشد.

۱ bamini@chamran.ut.ac.ir و ۰۲۸۱-۳۷۸۰۰۷۳

۲ s.babae\_79@yahoo.com و ۰۲۸۱-۳۷۸۰۰۷۳

از آنجا که همواره اعتبارات تخصیص یافته در زمینه ایمن سازی، به نحو محسوسی نسبت به مبالغ مورد نیاز و تعداد پروژه های موجود کمتر است، توزیع بهینه اعتبارات و انتخاب پروژه های اولویت دار به عنوان یک مساله جدی و مهم مطرح بوده و چنانچه با یک اولویت بندی منطقی پروژه های مورد نظر در نوبت اجرا قرار گیرند، می توان حداکثر بازدهی را از اعتبارات و اجرای طرحهای سالیانه بدست آورد.

این تحقیق به مطالعه ارزیابی اقتصادی اقدامات مختلف ایمن سازی راه ها و استفاده بهینه از منابع و امکانات موجود به منظور جلوگیری از وقوع و یا کاهش تعداد و شدت تصادفات جاده ای می پردازد.

## ۲- تعریف مسأله و اهداف تحقیق

توجه به مقوله ایمن سازی راهها به عنوان یکی از عوامل کاهش تصادفات بسیار حائز اهمیت می باشد. در فرایند ایمن سازی و اصلاح معایب راه ها، بکارگیری اقدامات کم هزینه و بهبود علائم و تجهیزات ایمنی از اهمیت وافری برخوردار است، زیرا معمولاً دارای بیشترین بازده در پروژه های ایمنی می باشند.

در کشورهای در حال توسعه، خصوصاً ایران، مهمترین عامل بازدارنده در اجرای پروژه های ایمن سازی هزینه بالای اینگونه پروژه ها و منابع مالی محدود در اجرای آنها می باشد. با توجه به اینکه هزینه های اصلاح نقاط حادثه خیز بسیار متفاوت بوده و همچنین اثرات این گونه اقدامات در کاهش تصادفات و هزینه های اجتماعی ناشی از آن نیز بسیار گوناگون می باشد، ضرورت دارد تا با استفاده از روشهای علمی و بر اساس شاخصهای مناسب، عملیات اصلاحی این نقاط اولویت بندی شده و بر اساس اولویت و میزان اعتبارات تخصیص یافته نسبت به اصلاح آنها اقدام گردد.

با توجه به مطالب فوق، هدف اصلی این مقاله، ارائه مدلی مناسب در ارزیابی اقتصادی اقدامات ایمن سازی راهها و اولویت بندی آنها بر اساس محدودیتهای بودجه ای می باشد به گونه ای که منجر به بهینه سازی الگوی انتخاب اقدامات گشته تا با صرف هزینه کمتر، بازگشت سرمایه بیشتری داشته باشیم.

## ۳- متدولوژی

در این تحقیق ریسک (خطر) به عنوان معیار شناسایی نقاط تصادف خیز در نظر گرفته شده و میزان بازدهی اقدامات در هر موقعیت به عنوان ملاک انتخاب روش اصلاحی میباشد. فرآیند تخصیص منابع در این مطالعه برای سایتهای متعدد از پیش انتخاب شده در نظر گرفته میشود. از

اینرو، با توجه به اینکه هدف از این تحقیق « تخصیص بهینه منابع » است، در هر سایت باید یک و فقط یک راهکار از بین چند راهکار پیشنهادی انتخاب شود. به این ترتیب، بحث مورد نظر با بحث « اولویت بندی » که هدف آن چیدن و اولویت بندی سایتها برحسب نیاز به اعتباردهی است تفاوت اساسی دارد. در اینجا بودجه مشخصی را که از جانب دولت در اختیار سازمان مسئول قرار گرفته است بین تمامی سایتها به نحوی توزیع میکنیم که:

- با استفاده از سهم تعلق گرفته به هر سایت، بهترین اصلاحات ممکن در چارچوب یک راهکار برتر از بین چند راهکار انتخاب شود، به طوری که بهترین سود خالص را نتیجه دهد و در نهایت مجموع سودهای خالص در تمامی سایتها به حداکثر مقدار خود برسد.
- مجموع هزینه های اجرای راهکارهای انتخاب شده در تمامی سایتها از بودجه کل بیشتر نشود.

در این مقاله، علاوه بر تحلیل اقتصادی منفعت - هزینه برای یافتن سود خالص هر راهکار، از تحلیل ریاضی برنامه ریزی عدد صحیح برای یافتن « راهکار برتر » در هر سایت، و نرم افزار winQSB برای حل مدل ریاضی، استفاده خواهد شد.

#### ۴- مروری بر منابع

مطابق قراردادی در آوریل ۲۰۰۲ میلادی، برنامه ریزی و تهیه مجموعه ای از ابزارهای نرم افزاری مشهور به تحلیل گر ایمنی جهت مدیریت ایمنی بخشهای خاصی از راه، از سوی اداره راه فدرال آمریکا به موسسه تحقیقاتی باختر میانه واگذار شد. [۱]

به طور کلی این پروژه در دو فاز با قراردادهای جداگانه به انجام می رسد، یعنی ابتدا تیم تحلیل گر ایمنی، خصوصیات عملکردی را به تفصیل برای ابزارهای این نرم افزار، برنامه ریزی کرده و سپس تحت قرارداد جداگانه ای، نرم افزار اجرایی هر ابزار، توسط پیمانکار مربوطه اداره راه فدرال، با توجه به خصوصیات عملکردی تهیه خواهد شد. این تحلیل گر شامل چهار مدول خواهد بود که در ترکیب با یکدیگر شش گام اساسی مدیریت ایمنی راه را انجام خواهند داد:

- مدول ۱ ابزارگزینش شبکه : شناسایی مکانهایی که نیازمند اصلاحات ایمنی می باشند.
- مدول ۲ ابزار شناسایی مشکلات ایمنی و انتخاب اقدامات مناسب جهت کاهش تعداد و شدت تصادفات.
- مدول ۳ ابزار ارزیابی اقتصادی اقدامات ایمنی و اولویت بندی آنها
- مدول ۴ ابزار ارزشیابی قبل / بعد اجرای اصلاحات ایمنی

در حال حاضر تنها فاز اول قرارداد، یعنی؛ برنامه ریزی قابلیت های نرم افزار انجام شده و طبق پیش بینی صورت گرفته نرم افزار اجرایی آن نیز به زودی به بازار عرضه خواهد شد. لازم به ذکر است که دیدگاه اصلی تحقیق حاضر از مدول سوم این مرجع گرفته شده است و نتایج آن شکل تکمیل یافته و در عین حال خلاصه تری از آن می باشد. در ادامه خلاصه ای از این بخش ارائه می شود:

این ابزار، ارزیابی اقتصادی یک اقدام خاص، یا گزینه های مختلف اقدامات در یک مکان مشخص را انجام می دهد و بر اساس برآورد منفعت و هزینه محاسبه شده به مقایسه منافع و هزینه پروژه ها در میان مکانهای مختلف پرداخته و آنها را بر اساس میزان کارایی، نسبت منفعت به هزینه، و یا ارزش فعلی خالصشان طبقه بندی می نماید. در نتیجه، کاربران قادر خواهند بود سرمایه گذاری بر پروژه ها را، بر اساس اولویت انجام داده و ابتدا، پروژه هایی را که دارای بالاترین اولویت هستند اجرا نمایند. ابزار اولویت بندی همچنین دارای قابلیت محاسبه مجموعه ای بهینه از پروژه ها، جهت ماکزیم نمودن منافع ایمنی می باشد.

موسسه تحقیقاتی AARB استرالیا، بر اساس بازنگری تحقیقات بین المللی در رابطه با ایمنی از طریق بررسی های میدانی شامل بازدید، فیلمبرداری و عکس برداری و گزارشات ممیزی ایمنی محورهای نمونه، بیش از ۵۰ نوع مختلف از مسائل ایمنی راههای روستایی را شناسایی و طبقه بندی نموده است. سایت مرکز تحقیقات حمل و نقل استرالیا، از جمله مراجعی بود که بسیار مورد استفاده قرار گرفت. این سایت دربردارنده اطلاعات جامعی در خصوص اقدامات ایمن سازی مربوطه و اثرات ایمنی آنها در قالب درصد کاهش تصادف می باشد که در مطالعه حاضر از این مجموعه استفاده شده است. [۲]

گزارش پیش بینی رفتار ایمنی مورد انتظار در راههای دو خطه برونشهری [۳] الگوریتمی را برای پیش بینی رفتار ایمنی راههای دوخطه برون شهری ارائه میدهد که اساس مدول پیش بینی تصادف را در مدل طراحی ایمن راه ها (IHSDM) تشکیل میدهد. این الگوریتم اثر رفتار ایمنی پارامترهای یک قطعه از راه یا یک تقاطع را ارزیابی میکند.

## ۵- الگوریتم تخصیص منابع

ابتدا از میان شبکه راهها، چند محور که آمار تصادفات آن در دسترس می باشد به عنوان نمونه انتخاب می شود و هر گونه اطلاعات از مسائل و مشکلات مربوطه از وضعیت جاده، خصوصیات اطراف جاده و نواحی خطری که تاکنون شناسایی شده، مطالعات و تحقیقات پیشین، در قالب مشاهدات اولیه گردآوری می شود.

## ۵-۱- شناسایی راهکارهای اصلاحی مورد نظر

گام بعدی در این روند عبارت از تعریف مجموعه ای از راهکارهای اصلاحی است که باید برای هر سایت مورد توجه قرار گیرد. اصلاحات برگزیده، بسته به شرایط موجود در سایت، از سایتی به سایت دیگر تغییر میکنند. هدف از این گام در این فرآیند، در نظر گرفتن تمام راهکارهایی است که می تواند به طور بالقوه صحیح ترین اصلاح در سایت باشد، به گونه ای که حتی الامکان جامع بوده و در عین حال در چارچوب پروژه های واجد شرایط برای منبع اعتباری مورد نظر قرار گیرد. از اینرو کاربر مختار خواهد بود در هر مکان، یک اقدام، چندین اقدام و یا ترکیبی از اقدامات را انتخاب نماید.

## ۵-۲- تبدیل هزینه ها و منافع آینده به ارزشهای فعلی

تمامی سودها و هزینه های آینده ای که به طور سالیانه در طول عمر بهره برداری اقدامات ایمن سازی روی می دهد، برای مقایسه با استفاده از ضریب ارزش فعلی سری های یکنواخت به ارزش فعلی خود تبدیل میشود:

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

به طوری که:

$$(P/A, i, n) = \text{ضریب ارزش فعلی}$$

$$i = \text{نرخ تنزیل}$$

$$n = \text{عمر پروژه}$$

در این مطالعه از نرخ ۱۲ درصد به عنوان نرخ تنزیل معیار (نرخ بازده مورد انتظار)، در محاسبات

مربوط استفاده خواهد شد. [۴]

## ۵-۳- برآورد هزینه ساخت هر راهکار اصلاحی

برآورد این هزینه ها بر اساس طرحهای پیشنهادی توسط مهندسين راهسازی و ترافیک صورت می گیرد. هزینه های ساخت، هزینه های موجود در آغاز دوره تحلیل را نشان می دهد، از این رو نیازی به تبدیل آنها به ارزش فعلی وجود ندارد.

## ۵-۴- برآورد منافع ایمنی برای هر راهکار اصلاحی

منافع حاصل از افزایش ایمنی یا کاهش تصادفات، با محاسبه ارزش فعلی مجموع هزینه تصادفاتی که در طول مدت عمر پروژه، در اثر انجام اقدامات ایمن سازی صرفه جویی می شود، قابل محاسبه است. جهت انجام این محاسبات مقادیر زیر، باید در نظر گرفته شوند:

(۱) CRF درصد کاهش تصادف در اثر اجرای هر راهکار اصلاحی

۲) AC متوسط هزینه تصادفات به تفکیک فوتی، جرحی و خسارتی

۳) n طول عمر پروژه یا طول عمر بهره برداری اقدامات ایمن سازی

۴) CC هزینه ساخت هر یک از اقدامات

این مقادیر و نحوه استفاده شان در ارزیابی اقتصادی، در بخشهای بعدی به تفصیل بررسی خواهند شد.

#### ۵-۴-۱- ضرایب "درصد کاهش تصادفات"

از مهمترین تاثیرات ایمنی، کاهش درصد تصادفات جاده ای در اثر اعمال اصلاحات می باشد که عموماً از طریق مطالعات مشاهده ای قبل و بعد از انجام طرح بدست می آید. استفاده از سایر شیوه های تئوری نیز جهت کمی نمودن تاثیرات ایمنی امکان پذیر می باشد.

آثار جزء به جزء ایمنی حاصل از عناصر خاص طرح هندسی و کنترل ترافیکی، توسط ضرایب CRF مشخص میشود که نشان دهنده میزان تاثیر ایمنی هر اقدام بر روی تصادفات- بر حسب تعداد تصادفات کاهش یافته در اثر بکارگیری واحد هر اقدام- می باشد.

برای ارزیابی، بهتر است از مقادیر محلی تاثیرات ایمنی که از مطالعات انجام شده در کشور بدست آمده است، استفاده شود. متأسفانه با توجه به عدم وجود چنین مطالعاتی، از تجربیات بین المللی در این زمینه استفاده شده است.

#### ۵-۴-۲- محاسبه منافع ایمنی

ارزش فعلی منافع ایمنی ناشی از کاهش تصادفات در اثر اصلاحات کنترل ترافیکی یا هندسی، با استفاده از فرمول منفعت ایمنی، به صورت زیر محاسبه می شود:

$$PSB_{jk} = \left[ \sum_{s=1}^3 N_{js} \times CRF_k \times AC_s \right] (P/A, i, n)$$

به طوری که:

$PSB_{jk}$  = ارزش فعلی منافع ایمنی حاصل از راهکار اصلاحی k در مکان j

$N_{js}$  = فراوانی تصادف سالانه مورد انتظار به تفکیک فوتی، جرحی و خسارتی در مکان j

$CRF_k$  = درصد کاهش تصادف در اثر اجرای راهکار k

$AC_s$  = مقدار هزینه های صرفه جویی شده در هر تصادف کاهش یافته برای شدت تصادف s

$(P/A, i, n)$  = ضریب ارزش فعلی سربهای یکنواخت برای تبدیل مجموعه مقادیر سالیانه یکنواخت

به ارزش فعلی شان

لازم به ذکر است که در این مطالعه تنها اثرات ایمنی اقدامات در نظر گرفته شده است و از سایر منافع در زمینه های زمان سفر، استهلاک وسیله نقلیه، آلودگی هوا، آلودگی صوتی و غیره، به علت اهمیت کمتر و عدم وجود مطالعات کافی جهت کمی نمودن منافع آنها، صرف نظر شده است.

## ۵-۵- هزینه تصادفات

در پژوهش حاضر، به دلیل دسترسی نداشتن به اطلاعات جدید پیرامون برآورد هزینه تصادفات در ایران، دیه یک تصادف فوتی از شرکت بیمه استعلام گردید. از آنجا که این میزان، در ماههای معمولی سال معادل ۴۷۰ میلیون ریال و در ماههای حرام معادل ۵۵۰ میلیون ریال می باشد، از میانگین وزنی این اعداد که ۵۰۰ میلیون ریال بدست آمده است به عنوان متوسط هزینه یک تصادف فوتی استفاده می شود.

با استفاده از ضرایب وزنی ۱، ۴ و ۹ به ترتیب برای تصادف خسارتی، جرحی و فوتی، مقدار هزینه تصادفات جاده ای ایران به تفکیک در سال ۱۳۸۷ مطابق زیر بدست می آید:

هزینه یک تصادف فوتی = ۵۰۰ میلیون ریال

هزینه یک تصادف جرحی = ۲۲۰ میلیون ریال

هزینه یک تصادف خسارتی = ۵۵ میلیون ریال

## ۵-۶- تعیین سود خالص برای هر راهکار بهسازی

گام بعدی در برآورد تخصیص منابع، تعیین منافع خالص برای هر راهکار اصلاحی در هر سایت است. در مواردی که تنها کاهش تصادفات به عنوان منافع در نظر گرفته شود و (تاثیر بر هزینه های سفر و محیط مورد انتظار نباشد)، سود خالص هر اقدام ایمنی به صورت زیر برآورد می شود:

$$NB_{jk} = PSB_{jk} - CC_{jk}$$

که در آن:

$NB_{jk}$  سود خالص راهکار اصلاحی  $k$  در مکان  $j$

$PSB_{jk}$  ارزش فعلی منافع ایمنی حاصل از راهکار اصلاحی  $k$  در مکان  $j$

$CC_{jk}$  هزینه ساخت راهکار اصلاحی  $k$  در مکان  $j$

## ۵-۷- انتخاب تکنیک بهینه سازی

در بهینه سازی، روشهای ریاضی متعددی برای اولویت بندی کردن تخصیص منابع وجود دارد که برخی از آنها عبارتند از: تحلیل منفعت به هزینه افزاینده، برنامه ریزی با اعداد صحیح، برنامه ریزی خطی، برنامه ریزی پویا، برنامه ریزی هدف و روشهای تحلیل شبکه.

در این مدل، برنامه ریزی با اعداد صحیح، به عنوان تکنیک بهینه سازی انتخاب اقدامات، پیشنهاد شده است. برنامه ریزی عدد صحیح، یک برنامه ریزی خطی است که در آن همه یا بعضی از متغیرهای تصمیم گیری به اعداد صحیح محدود می شوند.

یک برنامه خطی را به صورت زیر می توان نشان داد:

$$\max(\min)Y, \quad Y = \sum_{i=1}^n C_i X_i \quad (1)$$

به شرطی که :

$$\sum_{i=1}^n a_{1i} X_i \leq b_1 \quad (2)$$

$$\sum a_{2i} X_i \leq b_2 \quad (3)$$

⋮  
⋮  
⋮

$$\sum_{i=1}^n a_{mi} X_i \leq b_m \quad (4)$$

تساوی (۱)، تابع هدف برنامه خطی است زیرا هدف را نشان می دهد که می بایست حداکثر یا حداقل شود. متغیرهای  $C_1, C_2, \dots, C_n$  در تابع هدف، مقادیر عددی متناسب با مسأله خاص می باشند که می بایست ارزیابی شوند، برای مثال  $C_1, C_2, \dots, C_n$  می تواند هزینه ها و یا منافع انواع اصلاحات خاص یا پروژه ها را نشان دهد. متغیرهای  $X_1, X_2, \dots, X_n$  در تابع هدف، متغیرهای تصمیم گیری نامیده می شوند زیرا اختصاص مقادیر به متغیرها، تصمیمی است که می بایست گرفته شود. همه متغیرهای تصمیم گیری در برنامه ریزی عدد صحیح، محدود به مقادیر صحیح غیر منفی می باشند (بزرگتر یا مساوی با صفر). متغیر تصمیم گیری در یک برنامه صحیح باید محدود شده باشد. به عنوان مثال، اگر تنها صفر و ۱ مقادیر قابل قبول باشند، ۱ به منزله آن است که گزینه طرح شده خاص برای اجرا، به عنوان بخشی از پروژه انتخاب شود و ۰ در صورتیکه گزینه مطرح شده انتخاب نشود.

تساویهای (۲) تا (۴)، محدودیت های متغیرهای تصمیم گیری را نشان می دهد. چنین محدودیت هایی را می توان بکار برد تا کل هزینه ها به مقدار بودجه معین، محدود گردد و نیز از ترکیب گزینه های غیر عملی و ناسازگار با یکدیگر جلوگیری شود. محدودیتها را می توان هم به صورت معادله و هم نامعادله اعمال نمود.

۵-۸- انتخاب مناسب ترین راهکار بهسازی برای هر سایت در چارچوب بودجه موجود و با

استفاده از منطق بهینه سازی

در نهایت پس از برآورد منفعت و هزینه هر یک از اقدامات (یا ترکیبی از اقدامات)، و محاسبه سود خالص آن، جهت انتخاب مناسب ترین راهکار اصلاحی برای هر سایت، تحت یک بودجه مشخص، از روش برنامه ریزی عددی صفر-یک استفاده میشود. یادآوری میشود که مناسب ترین راهکار،



راهکاری است که دارای بیشترین سود خالص مثبت باشد. برنامه عددی برای ارایه ترکیب بهینه ای از راهکارهای اصلاحی در  $Y$  سایت مستقل از یکدیگر به شرح زیر است:

$$\text{Maximize } TB = \sum_{j=1}^y \sum_{k=1}^z NB_{jk} X_{jk} \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^z X_{1k} = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^z X_{2k} = 1 \quad (7)$$

.

.

.

$$\sum_{k=1}^z X_{yk} = 1 \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^y \sum_{k=1}^z CC_{jk} X_{jk} \leq B \quad (9)$$

$$X_{jk} \geq 0 \quad (10)$$

که در آن؛

$TB_{jk}$  منافع کل حاصل از تمامی راهکارهای انتخاب شده در کلیه سایت ها (ریال)

$NB_{jk}$  سود خالص حاصل از اجرای راهکار  $k$  در مکان  $j$

$Y$  تعداد کل سایت ها

$Z$  تعداد کل راهکارهای اصلاحی برای هر سایت

$CC_{jk}$  هزینه های ساخت برای راهکار اصلاحی  $k$  در مکان  $j$  (ریال)

$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ اگر اقدام } k \text{ در مکان } j \text{ به عنوان بخشی از اختصاص بهینه سرمایه، انتخاب شود.} \\ 0 \text{ اگر اقدام } k \text{ در مکان } j \text{ به عنوان بخشی از اختصاص بهینه سرمایه، انتخاب نشود.} \end{array} \right\} X_{jk}$

$B$  بودجه اصلاحات یا حداکثر سرمایه موجود، برای بهسازی کلیه سایت های مورد نظر

معادله (5)، تابع هدف برنامه عددی است و کل منافی را نشان می دهد که باید به حداکثر برسد. قیدهای به کار رفته در حل بهینه مسأله، توسط معادلات و نامعادلاتی نشان داده میشود که در زیر تابع هدف ارایه شده است. این قیدها حل مسأله را به انتخاب یک و فقط یک راهکار اصلاحی برای هر سایت

محدود می سازد. آخرین نامعادله ارایه شده نیز، کل مخارج فعالیتهای بهسازی را مقید می سازد تا کوچکتر یا مساوی بودجه موجود باشد.

حل بهینه برنامه عددی صحیح، شامل دسته ای از راهکارهای اصلاحی است که حداکثر سود خالص کل را با توجه به محدودیتهای ارایه شده نتیجه میدهد. این حل بهینه، شامل آن دسته از راهکارهای اصلاحی میشود که در هر سایت ارزش  $X_{jk}$  آن در برنامه عدد صحیح صفر-یک، برابر ۱ می شود. منابع خالص کل برای این دسته از راهکارها توسط تابع هدف رابطه (۵)، تعیین میشود و کل مخارج هزینه شده در اصلاحات موردنیاز جهت دستیابی به آن منافع را میتوان از طریق معادله به کار رفته در محاسبه محدودیت هزینه رابطه (۹)، به دست آورد.

## ۶- معرفی نرم افزار

برای حل مدل برنامه ریزی عددی صحیح، از نرم افزار winQSB استفاده شده است. این نرم افزار، از جمله نرم افزارهای بسیار سودمند در زمینه مهندسی صنایع، اقتصاد، بازرگانی و مدیریت صنایع می باشد که در آن از نرم افزار کنترل کیفیت آماری گرفته تا کنترل پروژه و برنامه ریزی خطی یافت می شود. همان طور که می دانید در برنامه ریزی خطی، با مدل سازی یکی از مسائل دنیای واقعی، و تبدیل هدف و محدودیت ها به مدل های ریاضی به حل مسئله و پیدا کردن شرایط بهینه می پردازیم. حل مسئله به صورت دستی نیاز به تحلیل ماتریس های بزرگ و پیچیده سیمپلکس دارد و اینکار علاوه بر اینکه زمان بسیاری به خود اختصاص می دهد، از دقت و صحت مناسب برخوردار نیست و احتمال اشتباه در حل بسیار زیاد می باشد. به همین دلیل استفاده از نرم افزار Liner Programming نه تنها در وقت صرفه جویی می کند بلکه خروجی کامل و زیبایی دارد که می تواند به صورت نوشتاری و گرافیکی حل مسئله را نمایش داده و همین طور اگر نیاز باشد روش حل مسئله را جزء به جزء نشان می دهد.

## ۷- بررسی یک نمونه عملی

در این قسمت با ارائه یک مثال عملی، به بررسی مدل می پردازیم. مساله به این صورت است که ۵ قطعه داریم و در هر قطعه، بسته به شرایط و نواقص موجود، Z اقدام ایمنی در نظر گرفته شده است. می خواهیم بدانیم کدام اقدام و یا چه ترکیبی از اقدامات ایمنی در هر قطعه از راه انتخاب شود تا با توجه به بودجه موجود، بیشترین سود خالص بدست آید.

لازم به ذکر است که تعداد تصادفات مورد انتظار سالیانه به تفکیک فوتی (F)، جرحی (I) و خسارتی (P) و مشکلات و نواقص ایمنی قطعات راه، مطابق جدول ۱ به عنوان داده های اولیه موجود

می باشد و متغیر  $X_{jk}$  نماینده راهکار  $k$  ام در سایت  $j$  ام می باشد. بطور نمونه  $X_{34}$  نشانگر راهکار چهارم در سایت سوم می باشد.

جدول ۱: مشکلات و راهکارهای ارائه شده در ۵ سایت مختلف

قطعه	تصادفات	مشکل	راهکار (K)	متغیر در مدل	CRF	عمر پروژه	هزینه راهکار میلیون ریال
۱	۱ F	نقص علائم افقی	اصلاح علائم افقی	X11	۳۰٪	۱	۱۰
	۲ I	نقص علائم عمودی	اصلاح علائم عمودی	X12	۳۰٪	۵	۲۰
	۵ P	کم بودن عرض معبر	تعریض مسیر	X13	۲۰٪	۲۰	۱/۱۰۰۰
		تصادفات بالا در شب	ایجاد روشنایی	X14	۲۰٪	۲۰	۲۰۰
۲	۲ F	نقص علائم افقی	اصلاح علائم افقی	X21	۳۰٪	۱	۶
	۴ I	نقص علائم عمودی	اصلاح علائم عمودی	X22	۳۰٪	۵	۱۲
	۸ P	سرعت زیاد	آرام سازی ترافیک	X23	۲۰٪	۱۰	۵۰
		کم بودن عرض معبر	تعریض مسیر	X24	۲۰٪	۲۰	۶۰۰
۳	۱ F	نقص علائم افقی	اصلاح علائم افقی	X31	۳۰٪	۱	۱۰
	۵ I	نقص علائم عمودی	اصلاح علائم عمودی	X32	۳۰٪	۵	۱۷
		تقاطع نامناسب Y شکل	اصلاح تقاطع Y به T	X33	۴۰٪	۲۰	۳۰
	۹ P	قوس با زاویه تند	تعریض قوس	X34	۴۰٪	۲۰	۳۰۰
		کم بودن عرض معبر	تعریض مسیر	X35	۲۰٪	۲۰	۶۰۰
۴	۲ F	نقص علائم افقی	اصلاح علائم افقی	X41	۳۰٪	۱	۶
	۵ I	نقص علائم عمودی	اصلاح علائم عمودی	X42	۳۰٪	۵	۱۰
		لغزندگی سطح جاده	افزایش مقاومت لغزشی	X43	۳۵٪	۵	۳۰
	۷ P	کم بودن عرض معبر	تعریض مسیر	X44	۲۰٪	۲۰	۶۰۰
				استفاده از چراغ چشمک	X45	۴۰٪	۲۰
۵	۲ F	نقص علائم افقی	اصلاح علائم افقی	X51	۳۰٪	۱	۱۰
	۳ I	نقص علائم عمودی	اصلاح علائم عمودی	X52	۳۰٪	۵	۱۶
		تصادفات بالا در شب	ایجاد روشنایی	X53	۲۰٪	۲۰	۲۰۰
	۹ P	سرعت زیاد	آرام سازی ترافیک	X54	۲۰٪	۱۰	۵۰
		ترکیب قوسهای افقی و	اصلاح قوس	X55	۴۰٪	۲۰	۳۰۰
		کم بودن عرض معبر	تعریض مسیر	X56	۲۰٪	۲۰	۶۰۰

برای انجام مدل، با توجه به مشکلات موجود در هر قطعه از راه، یک اقدام و یا ترکیبی از آنها در نظر گرفته شده است. این اقدامات به همراه سود خالص و هزینه هر یک، در جدول ۲ آورده شده

است. لازم به ذکر است که از داده های این جدول برای ایجاد مدل برنامه ریزی عدد صحیح صفر-یک استفاده می شود. مقادیر سود خالص به عنوان ضرایب تابع هدف و اقلام هزینه به عنوان ضرایب محدودیت بودجه به عنوان داده ورودی در مدل می باشند.

جدول ۲: اقدام و یا ترکیبی از اقدامات منتخب، در هر یک از قطعات

قطعه	راهکار (K)	متغیر در مدل	هزینه راهکار (میلیون ریال)	سود خالص (ریال)
۱	(۱) اصلاح علائم افقی	X11	۱۰	۳۱۴/۴۰۵/۰۰۰
	(۲) اصلاح علائم عمودی	X12	۲۰	۱/۲۹۲/۲۰۰/۰۰۰
	(۳) تعریض مسیر	X13	۱/۰۰۰	۸۱۵/۲۱۰/۰۰۰
	(۴) ایجاد روشنایی	X14	۲۰۰	۱/۶۱۵/۲۱۰/۰۰۰
	(۵) اقدام ۱ و ۲	X15	۳۰	۱/۶۰۶/۶۰۵/۰۰۰
	(۶) اقدام ۱ و ۲ و ۳	X16	۱/۰۳۰	۲/۴۲۱/۸۱۵/۰۰۰
	(۷) اقدام ۱ و ۲ و ۴	X17	۲۳۰	۳/۲۲۱/۸۱۵/۰۰۰
	(۸) اقدام ۱ و ۲ و ۳ و ۴	X18	۱/۲۳۰	۴/۰۳۷/۰۲۵/۰۰۰
۲	(۱) اصلاح علائم افقی	X21	۶	۶۱۳/۴۴۰/۰۰۰
	(۲) اصلاح علائم عمودی	X22	۱۲	۲/۴۹۳/۶۰۰/۰۰۰
	(۳) آرام سازی ترافیک	X23	۵۰	۲/۵۷۱/۶۰۰/۰۰۰
	(۴) تعریض مسیر	X24	۶۰۰	۲/۸۶۶/۰۸۰/۰۰۰
	(۵) اقدام ۱ و ۲	X25	۱۸	۳/۱۰۷/۰۴۰/۰۰۰
	(۶) اقدام ۱ و ۲ و ۳	X26	۶۸	۵/۶۷۸/۶۴۰/۰۰۰
	(۷) اقدام ۱ و ۲ و ۴	X27	۶۱۸	۵/۹۷۳/۱۲۰/۰۰۰
	(۸) اقدام ۱ و ۲ و ۳ و ۴	X28	۶۶۸	۸/۵۴۴/۷۲۰/۰۰۰
۳	(۱) اصلاح علائم افقی	X31	۱۰	۵۴۹/۳۶۵/۰۰۰
	(۲) اصلاح علائم عمودی	X32	۱۷	۲/۲۴۵/۶۰۰/۰۰۰
	(۳) اصلاح تقاطع Y به T	X33	۳۰	۵/۹۵۹/۸۶۰/۰۰۰
	(۴) تعریض قوس	X34	۳۰۰	۵/۹۵۹/۸۶۰/۰۰۰
	(۵) تعریض مسیر	X35	۶۰۰	۲/۵۲۹/۹۳۰/۰۰۰
	(۶) اقدام ۱ و ۲	X36	۲۷	۲/۷۹۴/۹۶۵/۰۰۰
	(۷) اقدام ۱ و ۲ و ۳	X37	۳۲۷	۸/۷۵۴/۸۲۵/۰۰۰
	(۸) اقدام ۱ و ۳ و ۴	X38	۶۱۰	۱۲/۴۶۹/۰۸۵/۰۰۰
	(۹) اقدام ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵	X39	۱/۲۲۷	۱۷/۲۴۴/۶۱۵/۰۰۰
۴	(۱) اصلاح علائم افقی	X41	۶	۶۵۷/۴۹۵/۰۰۰

۲/۶۷۳/۸۰۰/۰۰۰	۱۰	X42	(۲) اصلاح علائم عمودی	
۳/۱۰۱/۱۰۰/۰۰۰	۳۰	X43	(۳) افزایش مقاومت لغزشی	
۳/۱۱۲/۵۹۰/۰۰۰	۶۰۰	X44	(۴) تعریض مسیر	
۷/۴۱۵/۱۸۰/۰۰۰	۱۰	X45	(۵) استفاده از چراغ چشمک زن	
۳/۳۳۱/۲۹۵/۰۰۰	۱۶	X46	(۶) اقدام ۱ و ۲	
۶/۴۳۲/۳۹۵/۰۰۰	۴۶	X47	(۷) اقدام ۱ و ۲ و ۳	
۱۰/۷۴۶/۴۷۵/۰۰۰	۲۶	X48	(۸) اقدام ۱ و ۲ و ۵	
۱۰/۵۱۶/۲۸۰/۰۰۰	۴۰	X49	(۹) اقدام ۳ و ۵	
۱۶/۹۶۰/۱۶۵/۰۰۰	۶۵۶	X410	(۱۰) اقدام ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵	
۵۶۵/۳۸۵/۰۰۰	۱۰	X51	(۱) اصلاح علائم افقی	
۲/۳۱۱/۴۰۰/۰۰۰	۱۶	X52	(۲) اصلاح علائم عمودی	
۳/۰۱۹/۵۷۰/۰۰۰	۲۰۰	X53	(۳) ایجاد روشنایی	
۲/۳۸۵/۱۵۰/۰۰۰	۵۰	X54	(۴) آرام سازی ترافیک	
۶/۱۳۹/۱۴۰/۰۰۰	۳۰۰	X55	(۵) اصلاح قوس	
۲/۶۱۹/۵۷۰/۰۰۰	۶۰۰	X56	(۶) تعریض مسیر	
۲/۸۷۶/۷۸۵/۰۰۰	۲۶	X57	(۷) اقدام ۱ و ۲	
۵/۸۹۶/۳۵۵/۰۰۰	۲۲۶	X58	(۸) اقدام ۱ و ۲ و ۳	
۵/۲۶۱/۹۳۵/۰۰۰	۷۶	X59	(۹) اقدام ۱ و ۲ و ۴	
۹/۰۱۵/۹۲۵/۰۰۰	۳۲۶	X510	(۱۰) اقدام ۱ و ۲ و ۵	
۸/۲۸۱/۵۰۵/۰۰۰	۲۷۶	X511	(۱۱) اقدام ۱ و ۲ و ۳ و ۴	
۵/۴۹۶/۳۵۵/۰۰۰	۶۲۶	X512	(۱۲) اقدام ۱ و ۲ و ۶	
۱۷/۰۴۰/۲۱۵/۰۰۰	۱/۱۷۶	X513	(۱۳) اقدام ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶	

## ۸- نتیجه گیری

به ازای بودجه ۷۰۰ میلیون ریال، مدل اجرا شد و در هر یک از قطعات، نتایج زیر بدست آمد:

در قطعه اول: (1 = X15) اصلاح علائم افقی و عمودی

در قطعه دوم (1 = X26) اصلاح علائم افقی و عمودی و آرام سازی ترافیک

در قطعه سوم (1 = X37) اصلاح علائم افقی و عمودی و اصلاح تقاطع (تبدیل Y شکل به T شکل)

در قطعه چهارم (1 = X48) اصلاح علائم افقی و عمودی و استفاده از چراغ چشمک زن

و در قطعه پنجم (1 = X510) اصلاح علائم افقی و عمودی و اصلاح قوس افقی، به عنوان ترکیب بهینه

ای از اقدامات اصلاحی انتخاب شدند.

از آنجا که حل مدل برنامه ریزی خطی ماهیتاً منجر به تخصیص بهینه منابع می گردد با استفاده از این مدل، به ازای سطوح بودجه متفاوت، میتوان به بیشترین میزان بازدهی از سرمایه گذاری انجام شده دست پیدا کرد.

## ۹- مراجع

1- <http://www.safetyanalyst.org/docs.htm>

2. <http://www.engtoolkit.com.au/default.asp?p=search&ia=x>

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

۴- راهنمای تهیه گزارش توجیه طرح های راهسازی، ۱۳۸۶، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور

5-Low-Cost Treatment for Horizontal Curve Safety, Federal Highway Administration, December 2006

6-Research to improve the accuracy of economic evaluations in road safety Blair Turner, Senior Research Scientist, ARRB Group

7-Tsolakis, D, Preski, K & Patrick, S 2005, *Guide to project evaluation: part 1: introduction to project evaluation*, AGPE01/05, Austroads, Sydney, NSW.

8-Turner, B 2007, Crash reduction estimates for road safety treatments. Road safety risk reporter 6. ARRB Group, Vermont South, Australia.

<http://www.arrb.com.au/documents/RiskReporter/RiskReporter6.pdf> (viewed 27th July, 2007).

۹- راهنمای ایمنی راه (مجمع جهانی راه- پیارک)، دفتر مطالعات فناوری و ایمنی معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری، پاییز ۱۳۸۴

۱۰- مدیریت ایمنی راه، بانک توسعه آسیایی (ترجمه دفتر مطالعات فناوری وزارت راه و ترابری)، پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری