

بهسازی و تخصیص بودجه‌ی بهینه به منظور افزایش ایمنی محور شیراز-آباده

علیرضا فخارزاده جهرمی^۱ و سمیه محمودی

گروه تحقیق در عملیات، دانشگاه صنعتی شیراز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۵/۱۲

چکیده: نظر به اهمیت مشکلات ناشی از تصادفات ترافیکی و تبعات ناشی از آن در حمل‌ونقل بین‌شهری، این مقاله به ارائه راهکاری برای تخصیص بودجه به منظور بهسازی محور شیراز-آباده باهدف بیشینه‌سازی ایمنی آن پرداخته است. برای بهسازی‌های جاده‌ها دو نوع متغیر پیوسته و دودویی معرفی می‌شوند. لذا مدل مسئله با توجه به مدل کوله‌پشتی به صورت یک مسئله برنامه‌ریزی صحیح آمیخته است که هدف آن انتخاب بهینه بهسازی‌ها و بیشینه نمودن میزان کاهش تصادفات می‌باشد. نظر به بزرگی بعد، با استفاده از روش تجزیه بندر و دو بخش نمودن داده‌های مرتبط با محور تردد، نتایج تخصیص بهینه ارائه می‌گردند، بر اساس روش تجزیه بندر که خاص مسائل با بعد بزرگ است، ابتدا مسئله اولیه به دو مسئله‌ی کوچک‌تر تجزیه شده و سپس به صورت فرآیندی تکراری در هر تکرار قیدی جدید معرفی و به مسئله اضافه می‌شود تا در هر گام، جواب فعلی به جواب بهینه نزدیک و نزدیک‌تر شود. مطابق قضایای موجود، الگوریتم پس از تعداد متناهی تکرار به جواب بهینه همگرا می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تخصیص بودجه، بهسازی، برنامه‌ریزی صحیح آمیخته، تجزیه بندر، برش بندر.

رده‌بندی ریاضی (۲۰۱۰): ۹۰C۰۸، ۱۶D۷۰.

۱- مقدمه

بدون شک ساخت راه‌های جدید نیازمند اعتبارات و هزینه‌های هنگفتی است و اصولاً نیاز به صرف زمان زیادی دارد. نتایج به دست آمده از مطالعات نشان می‌دهد که اصلاح و یا حذف

نقاط حادثه‌خیز تأثیر بسزایی در ارتقای ایمنی و کاهش تصادفات دارد. از طرفی با توجه به مشکل کمبود بودجه اختصاصی، نیازمند عقلانی تخصیص بهینه بودجه‌ای به انجام این بهسازی‌ها آن‌چنان هستیم که حداکثر ایمنی را ایجاد نماید. البته این نوع تخصیص کار پیچیده‌ای است زیرا تخمین پارامترهایی نظیر برآورد هزینه بهسازی‌ها و فاکتورهای کاهش تصادف (ARFs)^۱ به‌سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد [۱] و برای به دست آوردن آن‌ها شیوه‌های متفاوتی پیشنهاد شده است. در واقع فاکتور کاهش تصادف، اندازه‌گیری و محاسبه اثر یک بهسازی در کاهش تعداد یا شدت تصادفات در یک مکان یا دسته‌ای از مکان‌ها است. با تخمین کاهش مورد انتظار تصادفات، پارامترها این امکان را به کاربران می‌دهند که در هر برنامه‌ریزی، منابع موجود را به‌صورت بهینه برای پروژه‌های ایمنی جاده‌ها تخصیص و اولویت‌بندی کنند [۲ و ۳]. برای به دست آوردن این فاکتورها روش‌های متفاوتی پیشنهاد و تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است. از جمله محققانی که در این زمینه پژوهش نموده است، کنتاکی بوده که به‌عنوان یکی از مجریان پروژه‌های تحقیقی، به بررسی فاکتورهای کاهش تصادف پرداخته است؛ بر این اساس از سال ۱۹۸۵ دانشگاه کنتاکی با عنوان مرکز حمل‌ونقل^۲ به فعالیت پرداخت چنان‌که در سال‌های ۱۹۸۵ کریسی^۳ و ایجنت^۴ و در سال ۱۹۹۶ ایجنت و جانز^۵ و در سال ۱۹۹۷ دیکسون^۶ تحقیقات خود را در این مرکز کامل نمودند [۲، ۴، ۵ و ۶] از جمله روش‌هایی که برای بررسی فاکتورهای کاهش تصادف در نظر گرفته شده‌اند، روش نرخ سود و هزینه^۷، روش درصد کاهش، برنامه‌ریزی پویا و غیره می‌باشند. اولین ارزیابی رسمی برآورد هزینه‌های بهسازی‌های جاده‌ای در دهه‌ی ۱۹۵۰ در انگلستان و آمریکا انجام گرفت. امروزه تمام کشورهای صنعتی هزینه‌های بهسازی‌ها را بررسی کرده و به‌دقت مورد محاسبه قرار داده و نتایج آن را در تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های عمرانی و اقتصادی خود لحاظ می‌کنند. در کشور ما برآورد هزینه‌های تصادفات برای اولین بار در سال ۱۳۸۰ توسط دکتر اسماعیل آیتی از دانشگاه فردوسی مشهد مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. همچنین در سال ۱۳۸۲ به‌منظور شناسایی نقاط حادثه‌خیز کارگروهی متشکل از نمایندگان پلیس‌راه، اداره کل نگهداری، وزارتخانه راه و ترابری تشکیل شد [۷، ۸]. بدون شک راه و وضعیت هندسی و فنی آن به‌عنوان یکی از ارکان ترافیک نقش مهمی در وقوع تصادفات دارد.

1- Accident Reduction Factors

2 -The Transportation Center at the University of Kentucky

3- Creasy

4 -Agent

5 -Janes

6- Dixon

7- Before-and-after method

۲- اهمیت محور

محور شیراز- اصفهان از مهم‌ترین حلقه‌های ارتباطی شبکه راه‌های ملی است که نقش مهمی در ارتباط با مناطق جنوب، حاشیه خلیج فارس، مناطق مرکزی و شمالی کشور را دارد و به‌عنوان کریدور جنوب به شمال مطرح است. این محور از شهرهای مرودشت، سعادت‌شهر، صفاشهر و آباده عبور می‌کند و در طول مسیر تقاطع‌های مهمی وجود دارد که محور را با استان‌های هم‌جوار مرتبط می‌کند. لذا این محور یکی از محورهای پرتردد می‌باشد که به‌جز ترافیک استان فارس، حجم سنگینی از ترافیک استان هرمزگان، بوشهر، کرمان، یزد و غیره را در بردارد. از طرفی با توجه به عدم کارایی خطوط راه‌آهن در این مسیر، تقریباً تمامی سفرهای زمینی از طریق جاده صورت می‌گیرد. با توجه به این حجم ترافیکی زیاد، بر اساس آمارهای به‌دست‌آمده محور شیراز-سعادت‌شهر-آباده با ۳۶۵۰ تصادف دارای بیشترین تصادفات در بین محورهای استان می‌باشد و به‌تنهایی ۳۸ درصد از تصادفات استان را به خود اختصاص داده است [۸].

با توجه به نظر مهندسين ترافیک و کارشناسان در این زمینه، به‌طور معمول تصادفات در نقاط خاصی تحت عنوان نقاط حادثه‌خیز اتفاق می‌افتند و اغلب نواقص فنی و هندسی راه در آن نقاط باعث بروز تصادف می‌گردد. بدون شک ساخت راه‌های جدید نیازمند اعتبارات و هزینه‌های هنگفتی است و یا حداقل نیازمند به‌صرف زمان زیادی است. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات نشان می‌دهد که اصلاح و یا حذف نقاط حادثه‌خیز تأثیر بسزایی در ارتقاء ایمنی و کاهش حوادث ترافیکی دارد [۹].

۲-۱- مدل بهبود ایمنی راه

برای مدل بندی مسئله یک مجموعه از جاده‌ها و یک مجموعه از بهسازی‌های پیشنهادی و بودجه اختصاص داده‌شده را برای پیاده‌سازی این بهسازی‌ها بین جاده‌های موجود در نظر می‌گیریم. در مدل برنامه‌ریزی بهبود راه دو نوع بهینه‌سازی مجزا و پیوسته وجود دارد، به‌عنوان مثال هموارسازی یک پیچ (خمیدگی) خطرناک در جاده و تعمیر قسمتی از پل نمونه‌هایی از بهسازی‌های مجزا می‌باشند؛ بنابراین برای این نوع بهسازی، فقط حق دو انتخاب داریم که پیاده‌سازی بهسازی انجام شود یا خیر. در نتیجه نمایش ریاضی آن با متغیرهای دودویی است؛ اما بهسازی پیوسته متناسب با ناحیه‌ای از طول جاده است؛ مانند روکش آسفالت و یا عریض نمودن حاشیه جاده [۱۰]. همچنین امکان استفاده ترکیبی از چندین بهسازی پیوسته و یا مجزا در بخش‌های یکسانی از جاده‌ها نیز وجود دارند که در مدل لحاظ شده‌اند. البته لازم به ذکر است بهسازی‌های پیوسته و مجزا مستقل از یکدیگر می‌باشند.

بنابراین مدل ریاضی مسئله می‌تواند به صورت یک مسئله‌ی کوله‌پشتی از نوع برنامه‌ریزی صحیح آمیخته با قیده‌های چندگانه خطی به صورت زیر ارائه شود [۱۱]:

۲-۲- مدل ریاضی مسئله

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \sum_{k \in S} \sum_{i \in R_k} \sum_{z \in Z} p_{kiz} x_{kiz} + \sum_{k \in S} \sum_{j \in D_k} \sum_{z \in Z} q_{kij} y_{kij} \\
 & \text{S.to:} \sum_{k \in S} \sum_{i \in R_k} \sum_{z \in Z} c_{kiz} x_{kiz} + \sum_{k \in S} \sum_{j \in D_k} \sum_{z \in Z} d_{kij} y_{kij} \leq b; \\
 & \sum_{i \in R_k} \sum_{z \in Z} x_{kiz} \leq l_k, \quad \forall k \in S; \\
 & x_{kiz} \geq 0, \quad i \in R_k, z \in Z, \forall k \in S; \\
 & y_{kij} \in \{0, 1\}, \quad j \in D_k, z \in Z, \forall k \in S.
 \end{aligned} \tag{1}$$

اندیس‌ها و پارامترها و متغیرها در مدل فوق به صورت زیر تعریف می‌شوند:

S : مجموعه اندیس بخش‌های جاده؛

Z : مجموعه اندیس‌های نقاط پرحادثه در بخش‌های جاده؛

R_k : مجموعه اندیس بهسازی‌های پیوسته برای بخش k ؛

D_k : مجموعه اندیس بهسازی‌های مجزا برای بخش k ؛

c_{kiz} : هزینه برای بهسازی پیوسته i پیاده‌سازی شده در بخش k (کیلومتر/ریال) از نقطه‌ی حادثه‌خیز z ؛

d_{kij} : هزینه برای بهسازی مجزا j پیاده‌سازی شده در بخش k (ریال) از نقطه‌ی حادثه‌خیز z ؛

p_{kiz} : کاهش تصادفات روزانه وقتی که بهسازی پیوسته i در بخش k از نقطه‌ی حادثه‌خیز z پیاده‌سازی می‌شود (برابر حاصل ضرب فاکتور کاهش تصادف و میانگین حجم ترافیک روزانه برای هر میلیون وسیله نقلیه است)؛

q_{kij} : کاهش تصادفات روزانه وقتی که بهسازی مجزا j در بخش k از نقطه‌ی حادثه‌خیز z پیاده‌سازی می‌شود (مشابه حالت پیوسته محاسبه می‌شود)؛

l_k : طول بخش k ؛

b : میانگین بودجه؛

x_{kiz} : متغیر پیوسته که طول بخش k از نقطه‌ی حادثه‌خیز z جاده که در آن بهسازی پیوسته i پیاده‌سازی می‌شود؛

y_{kij} : متغیری دودویی، اگر بهسازی مجزا i در بخش k از نقطه‌ی حادثه‌خیز Z پیاده‌سازی شود مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌شود.

هدف مسئله بیشینه نمودن کاهش روزانه تصادفات مورد انتظار می‌باشد؛ قید اول تضمین می‌کند که مقدار پول پرداختی برای بهسازی‌های منتخب از بودجه موجود تجاوز نمی‌کند و قید دوم تضمین می‌کند که هیچ هم‌پوشانی از بهسازی‌های پیوسته (منفرد یا ترکیبی) در هیچ بخشی از جاده صورت نمی‌گیرد. در واقع مجموع واحد طول‌های بهسازی‌های پیوسته که در بخش‌های مختلف جاده بکار رفته است، از مقدار طول بخش موردنظر تجاوز نمی‌کند.

در بعضی حالت‌ها ممکن است هزینه‌های موردنیاز برای پیاده‌سازی دو یا چند بهسازی روی قسمت‌های یکسانی از یک جاده، بیشتر یا کمتر از هزینه‌های در نظر گرفته‌شده برای این بهسازی‌ها به صورت مستقل باشند. همچنین میزان بازده با به کار بردن چند بهسازی به صورت ترکیبی می‌تواند بیشتر یا کمتر از حالتی باشد که به صورت مستقل پیاده‌سازی می‌شوند؛ بنابراین حالت‌های ترکیبی بهسازی‌ها را با اندیس گذاری‌های خاصی در متغیرها تعریف می‌کنیم. برای توضیحات بیشتر به عنوان مثال (از نقطه‌ی حادثه‌خیز Z اگر اندیس i را برای نشان دادن نوع بهسازی‌های پیوسته تعریف نموده و سه بهسازی پیوسته را در بخش دو جاده در نظر بگیریم، اندیس i از ۱ تا ۳ تغییر می‌کند. متغیرهای X_{11Z} ، X_{22Z} و X_{33Z} به ترتیب نشان می‌دهند که سه بهسازی ۱، ۲ و ۳ روی طول دو بخش از جاده پیاده‌سازی می‌شوند؛ اما برای نشان دادن ترکیب این بهسازی‌ها اندیس i از ۳ به بعد تغییر می‌کند؛ بنابراین برای ترکیب بهسازی‌های وابسته به صورت دوه‌دو، سه متغیر ترکیبی معرفی می‌کنیم. به این صورت که ترکیب بهسازی‌های ۱ و ۲ با X_{12Z} ، ۱ و ۳ با X_{13Z} و ۲ و ۳ به صورت X_{23Z} می‌باشند و در نهایت یک متغیر ترکیبی برای سه بهسازی ۱ و ۲ و ۳ به صورت X_{123Z} معرفی می‌شود؛ بنابراین دو بخش بزرگراه شامل ۳ بهسازی منفرد و ۴ بهسازی ترکیبی می‌باشد.

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید نوع یکسانی از بهسازی‌ها که برای بخش‌های مختلف جاده‌ها در نظر گرفته‌شده و همچنین ترکیب بهسازی‌های پیوسته، شامل اندیس‌های متفاوتی هستند و این به دلیل امکان متفاوت بودن هزینه‌ها و بازده بهسازی‌ها در بخش‌های مختلف است، یک فرض کلیدی در مدل‌سازی مسئله این است که هیچ تعاملی بین بهسازی‌های پیوسته و مجزا صورت نگیرد. البته این یک فرض منطقی است زیرا این نوع بهسازی‌ها مستقل از یکدیگر می‌باشند.

۳- تجزیه بندر

مسائل غیرخطی و برنامه‌ریزی صحیح آمیخته برای یک مجموعه از داده‌ها با اندازه متوسط و کوچک با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند وین کیو اس پی^۱، لینگو^۲ و غیره به آسانی قابل حل می‌باشند؛ اما فرآیند حل این‌گونه مسائل برای یک مجموعه از داده‌های بزرگ، منجر به افزایش حجم، زمان و پیچیدگی محاسبات می‌شود در نتیجه حل این دسته از مسائل با نرم‌افزارهای معمولی از نظر عملی دشوار و در برخی موارد امکان‌پذیر نیست. برای رفع این مشکل یکی از پیشنهادها، استفاده از روش تجزیه بندر است. تجزیه بندر در سال ۱۹۶۲ توسط ج. ف. بندر^۳ برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی (خاصه مسائل با مقیاس بزرگ) پیشنهاد شد [۱۲]. در واقع این روش، یک روش حل مسئله با دیدگاه کلاسیک است و اساس آن تجزیه و ایجاد برش می‌باشد. با استفاده از این روش ابتدا مسئله‌ی آغازین به یک زیر مسئله‌ی خطی با متغیرهای پیوسته و یک مسئله‌ی اصلی غیرخطی تفکیک می‌شود که نوع متغیرهای آن می‌تواند پیوسته، صحیح یا دودویی باشد. زیر مسئله از نوع بیشینه‌سازی و مسئله‌ی اصلی از نوع کمینه‌سازی می‌باشد. روند حل این دو مسئله بر اساس روش تجزیه بندر به این صورت است که در ابتدا با حل مسئله‌ی اصلی و به دست آوردن متغیرهای آن، یک کران پایین برای مسئله‌ی آغازین به دست می‌آید؛ سپس با حل زیر مسئله، یک کران بالا برای مسئله‌ی آغازین و یک قید تحت عنوان برش بندر برای مسئله‌ی اصلی حاصل می‌شود؛ با اضافه کردن این برش به مسئله‌ی اصلی غیرخطی، فضای جواب کوچک‌تر می‌گردد. در نتیجه با حل آن مقدار کران پایین مسئله‌ی آغازین کاهش می‌یابد و یا بدون تغییر باقی می‌ماند. با ادامه این روند تکراری کران‌های بالا و پایین مسئله‌ی آغازین به یکدیگر نزدیک و نزدیک‌تر می‌شوند [۱۳، ۱۴]. الگوریتم با در نظر گرفتن خطای نسبی موردنظر در اختلاف عددی این دو کران، خاتمه می‌یابد و به جواب بهینه همگرا می‌شود [۱۱، ۱۲، ۱۵، ۱۶ و ۱۷].

۳-۱- پیاده‌سازی روش تجزیه بندر

مدل مسئله شامل دو جزء خطی و غیرخطی می‌باشد که قسمت خطی آن شامل متغیرهای پیوسته x_{kiz} و قسمت غیرخطی آن شامل متغیرهای دودویی y_{kiz} است. برای حل این مدل با روش بهینه‌سازی تجزیه بندر لازم است مسئله‌ی (۱) به دو قسمت خطی برای به دست آوردن زیر مسئله و قسمت غیرخطی برای تعریف مسئله اصلی تفکیک شود. در ابتدا مسئله‌ی

1- WINQSP

2- LINGO

3- Bender

(۱) را به یک مسئله کمیته‌سازی تبدیل می‌کنیم؛ بنابراین با تفکیک قسمت غیرخطی آن مسئله اصلی اولیه $M(y, m=0)$ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$-Min \sum_{k \in S} \sum_{j \in D_k} \sum_{z \in Z} (-q_{kz}) y_{kz} \quad (2)$$

$$S. to: y_{kz} \in \{0, 1\}, \quad j \in D_k, z \in Z, \forall k \in S.$$

از حل این مسئله، متغیرهای y_{kz} به دست آمده و با جایگذاری آن‌ها در قسمت خطی مسئله اولیه و سپس حل دوگان آن، زیر مسئله $S(\sigma, \pi | y)$ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$-Max \sigma (b - \sum_{k \in S} \sum_{j \in D_k} \sum_{z \in Z} d_{kz} y_{kz}) + \sum_{k \in S} \pi_k l_k$$

$$S. to: \sigma c_{kiz} + \pi_k \leq -p_{kiz}, \quad i \in R_k, z \in Z, \forall k \in S; \quad (3)$$

$$\sigma, \pi_k \leq 0. \quad \forall k \in S.$$

با حل زیر مسئله و جایگذاری متغیرهای دوگان (σ, π) در تابع هدف (۳)، یک برش بندر حاصل می‌شود که از اضافه کردن آن به (۲) مسئله اصلی $M(y, m)$ به صورت زیر حاصل می‌شود [۱۸]:

$$-Min \sum_{k \in S} \sum_{j \in D_k} \sum_{z \in Z} (-q_{kz}) y_{kz} + m$$

$$S. to: -\sigma_t (b - \sum_{k \in S} \sum_{j \in D_k} \sum_{z \in Z} d_{kz} y_{kz}) - \sum_{k \in S} \pi_{kt} l_k \leq m,$$

$$j \in D_k, z \in Z, \forall k \in S, \forall t \in B; \quad (4)$$

$$m \geq 0,$$

$$y_{kz} \in \{0, 1\}. \quad j \in D_k, z \in Z, \forall k \in S.$$

در این مسئله y_{kz} و m به ترتیب متغیرهای دودویی و پیوسته می‌باشند. در واقع متغیر m تقریبی از مقدار تابع هدف زیر مسئله می‌باشد که در هر مرحله به تابع هدف مسئله اصلی اضافه می‌شود. با حل مسئله اصلی یک کران پایین و به دنبال آن با حل زیر مسئله، کران بالایی برای مسئله اولیه به دست خواهد آمد. با تکرار این فرآیند و نزدیک شدن کران‌های بالا و پایین جواب بهینه حاصل می‌شود [۱۹].

۳-۲- حل مسئله تخصیص بهینه بودجه برای محور شیراز-آباده

ابتدا با توجه به اهمیت موضوع، محدوده مکانی محور شیراز-آباده مشخص و آمارهای تصادف برای این محور در سال ۱۳۸۹ مورد بررسی قرار گرفته است. اطلاعات و آمارهای مورد استفاده

در این تحقیق از پزشکی قانونی، پلیس راه، اداره راه و ترابری و اداره پایانه‌های مسافربری استان فارس جمع‌آوری شده است. در این تحقیق محور شیراز-آباده به سه بخش شیراز-مرودشت، مرودشت-سعادت شهر و سعادت شهر-آباده تقسیم شده است که طول و میانگین حجم ترافیک روزانه برای هر یک از این سه بخش در جدول ۱ نشان داده شده است [۸، ۲۰]:

جدول (۱): ویژگی‌های بخش‌های محور

بخش	اندیس	طول (متر)	میانگین ترافیک روزانه (وسایل نقلیه)
شیراز-مرودشت	۱	۳۸۸۰۰	۱۶۱/۱
مرودشت-سعادت شهر	۲	۶۲۰۰	۶۲/۰۱
سعادت شهر-آباده	۳	۱۷۱۹۰۰	۲۰/۳۴

برای بخش‌های اول، دوم و سوم به ترتیب تعداد ۲، ۵ و ۲۸ نقطه حادثه‌خیز شناسایی شد و تعداد ۱۲ بهسازی مجزا و ۶ بهسازی مجزای ترکیبی و ۴ بهسازی پیوسته برای پیاده‌سازی در این سه بخش محور تعیین گردید. همان‌گونه که می‌دانیم اندیس بهسازی‌های مجزا با z نمایش داده شد که برای بهسازی‌های مجزای منفرد $z=1,2,\dots,12$ و برای بهسازی‌های مجزای ترکیبی $z=13,14,\dots,18$ می‌باشد. البته همه بهسازی‌های مجزای منفرد برای نقاط مختلف بخش‌های محور در نظر گرفته نشده است؛ اما برای اندیس گذاری حالت‌های ترکیبی ممکن این‌گونه بهسازی‌ها، آن‌ها را به ۱۲ نوع تفکیک نمودیم که به ترتیب اندیس گذاری به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

۱- تعریض پل، ۲- احداث پل، ۳- ساماندهی رمپ، ۴- ساماندهی لوپ، ۵- احداث پارکینگ، ۶- اصلاح قوس، ۷- احداث دوربرگردان، ۸- ساماندهی تقاطع، ۹- احداث رمپ ورود و خروج، ۱۰- احداث باند کاهش و افزایش، ۱۱- احداث تونل، ۱۲- احداث کمربندی.

نوع بهسازی‌های پیوسته با اندیس i نمایش داده می‌شود؛ بنابراین برای ۴ نوع بهسازی‌های پیوسته‌ی منفرد ($i=1,2,3,4$) ممکن می‌باشد و به ترتیب اندیس گذاری به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

۱- حذف ترانشه، ۲- پهنا سازی راه، ۳- شانه سازی، ۴- تکمیل واریانت.

البته این بهسازی‌ها به صورت منفرد در بخش‌های مختلف محور تعیین شده و نیازی به بررسی حالت‌های ترکیبی آن نبوده است. متأسفانه در ایران پارامترهای مهمی نظیر فاکتورهای کاهش تصادف مورد بررسی و تحقیق قرار نگرفته‌اند و آنچه در جدول‌های زیر آورده شده است مربوط به [۳] می‌باشد. البته این منبع یکی از مهم‌ترین گزارش‌های معتبر جهانی بوده که با

آمارگیری‌های متعدد از کشورهای مختلف در طی سالیان متوالی به این مهم دست‌یافته شده است. همچنین برآورد هزینه بهسازی‌های پیوسته از اداره راهداری استان فارس (مربوط به حدود ۴ سال قبل) گرفته شده است که البته می‌تواند نمادین فرض شود. این دو پارامتر مهم برای بهسازی‌های پیوسته برای بخش‌های ۲ و ۳ در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند.

جدول (۲): داده برای بهسازی‌های پیوسته در بخش ۲

نقطه حادثه‌خیز (z)	بهسازی (i)	متغیر پیوسته (x_{kiz})	هزینه (متر/ریال) $\times 10^6$	فاکتور کاهش تصادف (تعداد تصادفات برای هر وسیله نقلیه در هر متر)
۲	۲	x_{222}	۰/۱۳	۰/۰۴۰
۳	۲	x_{223}	۰/۳۵	۰/۰۴۰
۴	۴	x_{244}	۰/۱۴	۰/۰۲۸
۵	۳	x_{235}	۰/۰۲	۰/۰۰۹

جدول (۳): داده برای بهسازی‌های پیوسته در بخش ۳

نقطه حادثه‌خیز (z)	بهسازی (i)	متغیر پیوسته (x_{kiz})	هزینه (متر/ریال) $\times 10^6$	فاکتور کاهش تصادف (تعداد تصادفات برای هر وسیله نقلیه در هر متر)
۹	۱	x_{319}	۰/۳۲	۰/۰۴۰
۱۶	۱	x_{3116}	۰/۲۸	۰/۰۴۰
۱۷	۱	x_{3117}	۰/۴۲	۰/۰۴۰
۱۹	۱	x_{3119}	۰/۳۲	۰/۰۴۰

داده‌های مربوط به هزینه‌های بهسازی‌های مجزا و فاکتورهای کاهش تصادف مربوط به آن‌ها به ترتیب برای بخش‌های ۲ و ۳ در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده‌اند [۸].

جدول (۴): داده برای بهسازی‌های مجزا در بخش ۱

نقطه حادثه‌خیز (z)	بهسازی (i)	متغیر مجزا (y_{kiz})	هزینه (ریال) $\times 10^6$	فاکتور کاهش تصادف (وسیله نقلیه/تعداد تصادفات)
۹	۱	y_{1119}	۴۲۰۰	۰/۰۴۵
۱۶	۱	y_{1116}	۲۲۰۰	۰/۰۴۵

جدول (۵): داده برای بهسازی‌های مجزا در بخش ۲

فاکتور کاهش تصادف (وسیله نقلیه/تعداد تصادفات)	هزینه (ریال) $\times 10^6$	متغیر مجزا ($Y_{k z}$)	بهسازی (j)	نقطه حادثه‌خیز (z)
۰/۰۹۰	۳۸۰۰	$Y_{۳۲۱}$	۲	۱
۰/۰۹۰	۳۴۰۰	$Y_{۳۲۲}$	۲	۲
۰/۰۲۶	۲۷۰۰	$Y_{۳۱۴۳}$	۳ و ۴	۳
۰/۰۵۸	۳۲۰۰	$Y_{۳۲۴}$	۲	۴
۰/۰۴۴	۴۲۰۰	$Y_{۳۱۵۵}$	۱ و ۵	۵
۰/۰۹۰	۲۵۰۰	$Y_{۳۲۶}$	۲	۶
۰/۰۹۰	۳۲۰۰	$Y_{۳۲۷}$	۲	۷
۰/۰۶۱	۴۲۰۰	$Y_{۳۱۸۸}$	۱ و ۵ و ۱۰	۸
۰/۰۹۰	۴۲۰۰	$Y_{۳۲۱۰}$	۲	۱۰
۰/۰۲۸	۲۸۰۰	$Y_{۳۱۲۱۱}$	۱۲	۱۱
۰/۰۹۰	۳۹۰۰	$Y_{۳۲۱۲}$	۲	۱۲
۰/۰۴۶	۳۷۰۰	$Y_{۳۱۶۱۳}$	۱ و ۹	۱۳
۰/۰۳۱	۴۵۰۰	$Y_{۳۱۷۱۴}$	۵ و ۹	۱۴
۰/۰۴۵	۳۵۰۰	$Y_{۳۱۱۵}$	۱	۱۵
۰/۰۹۰	۲۸۰۰	$Y_{۳۱۱۶}$	۶	۱۶
۰/۰۵۸	۳۲۰۰	$Y_{۳۶۱۸}$	۶	۱۸
۰/۰۵۸	۴۲۰۰	$Y_{۳۶۲۰}$	۶	۲۰
۰/۰۵۸	۳۰۰۰	$Y_{۳۶۲۱}$	۶	۲۱
۰/۰۵۴	۲۲۰۰	$Y_{۳۱۹۲۲}$	۷ و ۸ و ۹	۲۲
۰/۰۹۰	۳۵۰۰	$Y_{۳۲۲۳}$	۲	۲۳
۰/۰۹۰	۲۹۰۰	$Y_{۳۲۲۴}$	۲	۲۴
۰/۰۹۰	۳۴۰۰	$Y_{۳۲۲۵}$	۲	۲۵
۰/۰۹۰	۴۲۰۰	$Y_{۳۲۲۶}$	۲	۲۶

مراجع

- [1] Costa, A.M. (2005), A survey on bender decomposition applied to fixed-charge network design problems, *Computer & Operation Research*, **32**, 1429-1450.

[2] Melachrinoudis, E. And Kozanidis, G. (2002), A mixed integer knapsack model for allocation funds to highway safety improvement, *Transportation Research Part A*, **36**, 789-803.

[۳] پور معلم، ن. و سلیمی، م. (۱۳۸۸)، تحلیل و ارزیابی نقاط حادثه‌خیز (از دیدگاه شناخت محل حادثه، هزینه‌های ناشی از خسارات و ضایعات و راهکارهای اصلاحی، بانک اطلاعات نشریات کشور).

[4] Agent, K.R., O'Conneh, L., Green, E.R., Kreis, D., Pigman, J.G., Tollner, N., and Thompson, E. (2003), Development of procedure for identifying high crash locations and prioritizing safety improvements, *Kentucky Transportation Center*, No. 859, pp.257-4518.

[۵] برادران، م.، رئوف، س.، اشرف واقفی، ب.، محسنی افشار، ز. و کاظمیان، ل. (۱۳۸۴)، گزارش جهانی پیشگیری از حوادث جاده‌ای"، انتشارات دانشگاه علوم پزشکی بابل.

[۶] وزارت راه و ترابری استان فارس، اداره حمل‌ونقل پایانه‌های مسافربری شیراز، گزارش ۱۲ ماهه، (۱۳۸۹).

[7] Li, X. (2011), Stochastic separable Mixed-Integer Nonlinear programming via Nonconvex Generalized Bender Decomposition, *Massachusetts Institute of Technology*.

[8] Geoffion, A. M. And Graves, G. W. (1980), Multicommodity distribution system design by Bender decomposition, *Management Science*, **26**, 855-856.

[۹] بازار، م. س.، جارویس، ج. و حنیف، د. (۱۳۷۸)، برنامه‌ریزی خطی، ترجمه خرم، نشر کتاب دانشگاهی، تهران.

[10] Botton, Q., Fortz, B., Gouveia, L. and Poss, M. (2011), Benders decomposition for the hop-constrained survivable network design problem, *Center for Operation Research*, No. 34.

[11] Agent, K.R., Stamatiadis, N., and Janes, S. (1996), Development of Accident Reduction Factors, *Kentucky Transportation Research*, Report No. KTC-96-13.

[12] Gan, A., and Shen, J. (2005), Update of Florida Crash Reduction Factors and Countermeasures to improve the development of district safety improvement projects, *Lehman Center for Transportation Research*; Report No. BDO15-04.

- [13] Dixon, K. (1997), Count measure Handbook, Georgia Institute of Technology.
- [14] Tarko, A., Eranky, S., and Sinha, K.C. (1998), Methodological Considerations in the Development and Use of Crash Reduction Factors, Paper presented at the 77th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 1998, Washington.
- [15] Elmer, D.J., Frincker, J.D., and Sinha, K.C. (1992), Crash Reduction Factors for Indiana, Highway Research Project, Report No. JHRP-91-11.
- [16] Bisschop, J. (2008), AIMMS-optimization modeling, *Paragon Decision Technology*, 257-277.
- [17] Creasy, T., and Agent, K.R. (1985), Development of Accident Reduction Factors, Kentucky Transportation Research, Report No. UKTRP-85-6.
- [18] You, F. and Grossmann, I. (2011), Multi cut Benders Decomposition Algorithm for process supply chain planning under uncertainly, *Annals of Operations Research*, **210**, 191-211.
- [19] Hovey, P. and Mashrur Ch. (2005), Development of crash reduction factors, The Ohio Department of Transportation Office of Research; Report No. FHWA-OH-12.

[۲۰] وزارت راه و ترابری استان فارس، اداره راهداری شیراز، شناسایی مقاطع تصادف خیز، (۱۳۸۹).

Make Improvements and Optimal Allocation of Budget in Order to Increase safety of The Shiraz-Abadeh Road

Alireza Fakharzadeh Jahromi and Somayeh Mahmoodi

Department of Operational Research, Shiraz University of Technology,
Shiraz, Iran.

Abstract

Regarding the importance of difficulties that made by accidents in the transportation between the cities, this paper presents a way for optimal budget allocation to improve disaster points of the Shiraz-Abadeh road for increasing its traffic safety. For this aim, two possible kinds of improvements (continuous and discrete) are considered and the problem is modeled as a mixed integer programming with continues and binary variables in which its aim is to obtain the optimal allocation and maximizes the reducing rate of accidents. Regarding the difficulties caused by high dimensionality of the problem, we present a new solution method based on the bender decomposition technique to illustrate the optimal allocation. First, the original problem is split into two smaller problems. Then, in an iterative procedure, in each iteration a new constraint is introduced and added to the problem. Thus, in each step, the current solution comes nearer to the optimal one; based on the existed theorem, after a finite number of iterations, the algorithm converges to the optimal solution.

Keywords: Budget allocation, improvement, Mixed integer linear programming, Bender decomposition, Bender cut.

Mathematics Subject classification (2010): 90C08, 16D70.