چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۱۶ ـ زمستان ۱۳۹۳
ص‌ص ۷۴ – ۵۵

مدل‌سازی مسئله مکان‌یابی هاب چندمحصوله با درنظر گرفتن روش‌های تأمین مالی

اسماعیل چراغی*، جعفر حیدری، جعفر رزمی*****

چکیده

هاب‌ها تسهیلات ویژه‌ای هستند که در شبکه‌های توزیع، به‌عنوان واسطه‌های توزیع عمل می‌کنند. در این مقاله، مسئله مکان‌یابی هاب میانه تک‌تخصیصه چندمحصوله بررسی شده است. با توجه به موضوع کمیابی منابع در اقتصاد، چگونگی تأمین مالی و محدودیت‌های بودجه‌ای در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی اهمیت زیادی دارد. در پروژه‌های مهم و زیرساختی مورد نیاز کشور برای توسعه زیرساخت‌ها، به حضور سرمایه‌گذاری خارجی و استفاده از تسهیلات بانک‌ها و مؤسسات خارجی نیاز اساسی است؛ بنابراین، در مدل پیشنهادشده، شیوه‌های تأمین مالی شامل «تسهیلات بانکی»، «تسهیلات ارزی» و «بودجه دولتی با لحاظ کردن محدودیت منابع مالی» برای تأسیس هاب به مدل اضافه شده است. با توسعه ساختار مدل‌سازی مسئله مکان‌یابی هاب چندمحصوله با استفاده از حمل‌ونقل زمینی، هزینه تأسیس‌هاب‌های ترکیبی (جاده‌ای- ریلی) و هزینه حمل‌ونقل بین‌هاب‌ها و هاب به غیرهاب در تابع هدف کمینه شده است. اطلاعات به‌کاررفته از آمار ارائه‌شده حمل‌ونقل جاده‌ای کشور در سال ۱۳۹۲ به‌دست آمده است. برای حل مسئله، از نرم‌افزار گمز ۲۴,۱,۳ برای کدنویسی مدل استفاده شده است. نتایج نشان داد که مدل پیشنهادی نقاط بهینه تأسیس هاب‌ها و همچنین بهترین شیوه تأمین منابع مالی با درنظر گرفتن محدودیت‌های مالی را تعیین می‌کند.

کلیدواژه‌ها: مکان‌یابی هاب میانه؛ هاب چندمحصولی؛ شبکه حمل‌ونقل؛ روش‌های تأمین مالی؛ محدودیت بودجه.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۱۰/۶، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۱۲/۱۷.

* دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
** استادیار، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول).
E-mail: J.Heydari@ut.ac.ir
*** استاد، دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

سیستم حمل‌ونقل یکی از بخش‌های مهم و تأثیرگذار در کشورها به‌شمار می‌رود. با توجه به اینکه گسترش شهرنشینی در سال‌های اخیر با سرعت زیادی درحال افزایش است و این سیستم از عوامل زیادی تأثیر می‌پذیرد، روزبه‌روز بر پیچیدگی سیستم حمل‌ونقل افزوده می‌شود؛ به همین دلیل، ارتقای سیستم حمل‌ونقل درجهت مطابقت هرچه بیشتر با واقعیت و زندگی روزمره، علاوه‌بر اینکه باعث کاهش حجم ترافیک می‌شود، ازلحاظ اقتصادی، مدیریت شهری و عمرانی و ازدید سازمان‌های مرتبط با مسئله بسیار مؤثر خواهد بود. استفاده از سیستم محور و پره[1] در بسیاری از سیستم‌های حمل‌ونقل و سیستم‌های ارتباطی، جابه‌جایی مسافر در فرودگاه‌ها، دریافت و ارسال مرسولات پستی و دریافت و ارسال اطلاعات در سیستم‌های مخابراتی رایج شده است. طراحی کارآمد سیستم محور و پره باعث ارتقای کیفیت سیستم‌های حمل‌ونقل و ارتباطی نیز می‌شود. با توجه به دلایل مطرح‌شده در این تحقیق، سعی شده است یک شبکه کارآمد با بهترین ساختار محور و پره در سیستم حمل‌ونقل دوربرد و بین شهری ارائه شود. مسئله مکان‌یابی مراکز فعالیت زمانی مطرح می‌شود که با سیستم‌هایی متشکل از بخش‌های زیاد (سیستم حمل‌ونقل و ...) و لزوم انتقال کالا، اطلاعات یا انسان بین دو بخش از این بخش‌ها مواجه باشیم و از زمانی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد که باید مقداری جریان از یک مجموعه نقاط مبدأ به یک مجموعه نقاط مقصد فرستاده شوند. این در صورتی است که ایجاد لینک مستقیم بین هر جفت نقطه به‌دلیل هزینه بالای آن امکان‌پذیر نیست؛ درنتیجه شبکه‌هایی تحت عنوان محور و پره طراحی شد تا ارتباط بین آن‌ها توسط یک‌سری مراکز میانجی و واسطه صورت گیرد. هاب‌ها تسهیلاتی هستند که نقش جداسازی[2]، ادغام[3] و تعویض[4] جریان‌ها را در یک سیستم حمل‌ونقل ایفا می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که ازلحاظ اقتصادی و بودجه زمانی در ارتقای عملکرد سیستم نقش به‌سزایی دارند. با توجه به وضعیت خاص کشورهای درحال‌توسعه و بحران‌های مالی آن‌ها، امکان تأمین سرمایه مورد نیاز برای اجرای پروژه‌های بزرگ به‌راحتی فراهم نمی‌شود. در بسیاری از پروژه‌ها، به‌دلیل مسائلی مانند حجم بالای سرمایه مورد نیاز، حساسیت بالای پروژه ازنظر مسائل سیاسی، اقتصادی و امنیتی و عدم تمایل حضور خارجیان و سرمایه‌گذاری آن‌ها، مسئولان حکومتی به مسئله تأمین مالی توجه نمی‌کنند. اندیشیدن به راهکاری برای تأمین منابع مالی مورد نیاز پروژه از مراحل اولیه برای اطمینان از انجام شدن پروژه است. درحالی که سرمایه‌گذاری هنگفت در طرح‌های زیربنایی یک نیاز مبرم برای کشورهای درحال توسعه است، دولت‌ها قادر نیستند که سرمایه لازم برای تأمین مالی این پروژه‌ها را تأمین کنند. دولت‌ها برای حل این معضل، باید

1. Hub and Spoke
2. Distribution
3. Concentration
4. Switch

روش‌های تأمین مالی پروژه‌ها را به‌کار گیرند. این روش‌ها به بخش خصوصی امکان می‌دهد تا در پروژه‌های زیربنایی و عمومی مشارکت کند؛ بدون اینکه برای همیشه مالک طرح‌های زیربنایی شود. در این مقاله، مسئله مکان‌یابی هاب میانه تک‌تخصیصه ظرفیت‌دار[1] با فرض روش‌های تأمین منابع مالی مختلف برای تأسیس هاب‌ها و چندمحصوله بودن هر هاب ارائه شده است.

درادامه، بخش دوم به مروری سریع در ادبیات موضوع اختصاص یافته است، در بخش سوم تعریف مسئله به‌صورت تکنیکی انجام می‌شود و در بخش چهارم مدل‌های ریاضی ارائه می‌شوند. در بخش پنجم مدل‌های ارائه‌شده به‌واسطه استفاده از داده‌های واقعی بخش حمل‌ونقل کشور اجرا و نتایج اجرای مدل ارائه می‌شود و بخش ششم به نتیجه‌گیری اختصاص یافته است.

۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق

مسئله مکان‌یابی میانه از مفاهیم نوین در علم مکان‌یابی است؛ به‌گونه‌ای که مفهوم مکان یابی برای اولین‌بار توسط حکیمی [۱۳] مطرح شد و سپس اولین مدل ریاضی در زمینه مکان یابی هاب توسط اکلی [۲۱] ارائه شد. گفتنی است که تحقیقات کمپل [۴] در این زمینه در راستای پژوهش اکلی [۲۱] نقش به‌سزایی در تکمیل انواع مدل‌های مکان‌یابی هاب داشته است. ارنست و کریشنامورسی [۸] مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح جدیدی را ارائه دادند که به متغیرها و محدودیت‌های کمتری نیاز داشت و برای حل مسائل با اندازه‌های بالاتر مناسب بود. درادامه، ارنست و کریشنامورسی [۹] کار قبلی خود را توسعه دادند و مدل جدیدی برای مسئله مکان‌یابی هاب ظرفیت‌دار با تخصیص تکی ارائه کردند.

کانترارز و همکاران [۵] برای مسئله مکان‌یابی هاب بدون ظرفیت، از روش تجزیه بندرز استفاده کردند که می‌تواند مسائل با ۵۰۰ گره و ۲۵۰۰ نوع محصول را در زمان معقول حل کند. در همین راستا، کانترارز و همکاران [۶] از روش تجزیه بندرز برای مسئله مکان‌یابی هاب با چند سطح ظرفیت استفاده کردند که می‌تواند مسائل با تعداد ۳۰۰ گره و ۹۰۰۰۰ محصول مختلف را حل کند. کامارگو و همکاران [۱] مسئله مکان‌یابی هاب میانه با فرض تخصیص تکی را از دو دیدگاه «استفاده‌کننده از شبکه» و «سازمان صاحب شبکه» مدل‌سازی کردند. آن‌ها همچنین مسئله خود را تحت شرایط ازدحام درنظر گرفتند و برای هاب‌هایی که جریان ورودی به آن‌ها بیشتر از ظرفیتشان است، یک هزینه غیرخطی درنظر گرفتند که به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد. لین و همکاران [۱۷] مفروضات جدیدی برای مسئله مکان‌یابی هاب میانه و تخصیص تکی با محدودیت ظرفیت ارائه کردند؛ بدین صورت که مسیر رفت و برگشت جریان بین دو نقطه در

1. Capacitated Single Allocation p-hub Median Problem

شبکه هاب را به‌صورت جدا درنظر گرفتند. گارسیا و همکاران [۱۰] مدل جدیدی را برای مسئله مکان‌یابی هاب میانه و بدون محدودیت ظرفیت با پیچیدگی کمتر درمقایسه با مدل‌های دیگر ارائه دادند. این مدل به‌دنبال کمینه کردن هزینه‌های حمل‌ونقل در کل شبکه است و تعداد هاب‌هایی که می‌توانند استقرار یابند نیز باید به‌اندازه یک مقدار از قبل تعیین شده باشد. ازبین مفروضات جدید در مسئله مکان‌یابی هاب میانه تخصیص تکی درزمینه حمل‌ونقل هوایی مسافر می‌توان به مقاله اوکلی [۲۲] اشاره کرد که علاوه‌بر کمینه کردن هزینه‌های حمل‌ونقل، به‌دنبال کمینه کردن مصرف سوخت و تأثیرات زیست‌محیطی است. یانگ و همکاران [۲۵] مسئله مکان‌یابی هاب مرکز را با فرض غیرقطعی بودن زمان حمل‌ونقل به‌صورت فازی مدل‌سازی کردند. آن‌ها به‌دلیل سخت بودن مسئله مکان‌یابی هاب، مدل ارائه‌شده خود را به دو زیرمدل فازی تقسیم و آن‌ها را در زمان کمتر حل کردند. لین و همکاران [۱۸] کاربرد جدیدی از مسئله مکان‌یابی هاب ارائه کردند که به سیستم حمل‌ونقل عمومی مربوط می‌شود و افراد از نقاط غیرهاب به هاب و به‌صورت پیاده می‌آیند و سپس بین هاب‌ها را با دوچرخه طی می‌کنند. در مطالعه‌ای دیگر، ایلدهلی و همکاران [۷] مسئله مکان‌یابی هاب میانه را با فرض چندسطحی بودن هاب و همچنین ازدحام در هاب‌ها مدل کردند. کامارگو و همکاران [۲] مسئله مکان‌یابی هاب میانه با تخصیص تکی و بدون محدودیت ظرفیت را مدل‌سازی کردند و نوآوری آن‌ها در نحوه ارائه هزینه حمل‌ونقل بین هاب است. آن‌ها برای هزینه حمل‌ونقل بین هاب‌ها از یک تابع صعودی استفاده کردند؛ به‌گونه‌ای که هرچه مقدار جریان انتقالی بین دوهاب بیشتر باشد، هزینه بیشتری به‌دلیل ازدحام جریان باید پرداخت شود. در مفروضات جدید ارائه‌شده توسط پرورش و همکاران [۲۳]، مسئله مکان‌یابی هاب دوسطحی با فرض اختلال مدل‌سازی شده است. فرض این است که هاب‌ها به‌دلیل بلایا و یا عوامل طبیعی دچار اختلال می‌شوند. در این شرایط، شبکه هزینه زیادی بابت اختلال و به‌دلیل عدم جابه‌جایی جریان می‌پردازد. در مقاله‌ای مشابه، کیم [۱۵] مسئله مکان‌یابی هاب میانه با تخصیص چندگانه را با فرض اختلال مدل‌سازی کرد؛ به‌گونه‌ای که یک‌سری مراکز پشتیبان (هاب پشتیبان) در شبکه احداث می‌شود و در شرایط اختلال، این مراکز پشتیبان خدمت‌دهی و جریان‌ها را در شبکه منتقل می‌کنند. ایلدهلی و همکاران [۷] از روش آزادسازی لاگرانژ برای حل مدل مکان‌یابی هاب ظرفیت‌دار و در شرایط ازدحام استفاده کردند. ایشفاق و ساکس [۱۴] برای مسئله مکان‌یابی هاب با تخصیص تکی، از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ برای محاسبه حد پایین و برای مسائل با اندازه بالا از الگوریتم جست‌وجوی ممنوع[1] استفاده کردند. در مطالعات دیگر درزمینه مسائل مکان‌یابی هاب، از روش الگوریتم بندرز استفاده شده است [۱۲، ۱۱، ۳]. محمدی و همکاران [۱۹] از روش فراابتکاری

1. Tabu Search

الگوریتم رقابت استعماری برای حل مسئله مکان‌یابی هاب استفاده کرد. محمدی و همکاران [۲۰] برای حل مسئله مکان‌یابی هاب تحت فرض عدم‌قطعیت، از دو الگوریتم «شبیه‌سازی تبرید» و «رقابت استعماری» استفاده کرده است. رزمی و همکاران [۲۴] طراحی شبکه توزیع با استفاده از حل مسئله مکان‌یابی هاب با توجه به محدودیت ظرفیت و سطح خدمت را ارائه کردند.

با توجه به ادبیات موضوع بررسی‌شده در مسائل مکان‌یابی هاب میانه، فرض چندمحصولی بودن هاب‌ها در حالت حمل‌ونقل زمینی کمتر بررسی شده است؛ بنابراین در این مقاله، فرض چندمحصولی بودن هاب‌ها بررسی می‌شود. همچنین با توجه به اینکه هزینه‌های ثابت برای تأمین هاب‌ها در تمامی مقالات بررسی‌شده یک مقدار ثابت ازپیش‌تعیین‌شده است، در این مقاله برای تأمین مالی هزینه‌های ثابت از سه روش تأمین مالی استفاده می‌شود. بررسی ادبیات موضوع نشان می‌دهد که محدودیت مالی برای تأمین مالی هزینه‌های تأسیس هاب درنظر گرفته نشده است. در این مقاله، محدودیت تأمین مالی از هریک از منابع تأمین مالی و به‌ازای هر محصول درنظر گرفته شده است.

در این مقاله، مدل مکان‌یابی هاب میانه تک‌تخصیص چندمحصوله با تأمین‌های مالی مختلف هزینه ثابت تأسیس هاب‌های ترکیبی با محدودیت تأمین مالی توسعه داده شده است که مجموع هزینه حمل‌ونقل و تأسیس هاب‌ها را کمینه می‌کند.

۳. روش شناسی پژوهش

در این مقاله، به‌منظور مدل‌سازی مسئله تحقیق که یک مسئله مکان‌یابی هاب تخصیص تکی چندمحصوله و تک‌هدفه است، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی مختلط عددصحیح[1] توسعه داده شده است. هدف این مسئله کمینه کردن هزینه تأسیس هاب‌ها و هزینه حمل‌ونقل بین هاب‌ها و هاب به غیرهاب است.

مفروضات اصلی این مدل عبارت‌اند از:

- هریک از هاب‌ها از چندین محصول استفاده می‌کنند؛
- روش‌های مختلف تأمین مالی برای تأسیس هاب‌ها درنظر گرفته شده است؛
- طراحی جدید مدل مکان‌یابی هاب میانه چند محصوله با محدودیت تأمین مالی؛
- کامل بودن شبکه گراف هاب‌ها؛ یعنی همه هاب‌ها به یکدیگر اتصال دارند؛
- درنظر گرفتن ضریب تخفیف بین هر جفت هاب، برای انتقال کالا؛
- عدم وجود ارتباط مستقیم بین نقاط غیرهاب (نقاط تقاضا).

مدل‌سازی ریاضی مسئله. مدل مکان‌یابی هاب میانه با فرض تخصیص تکی عبارت است از

1. Mixed Integer Nonlinear Programming Problem

تخصیص کل جریان هر مبداء و یا مقصد دقیقاً به یک نقطه هاب. مدل ما در حالت تخصیص تکی برپایه مدل ارائه‌شده توسط ارنست و کریشنامورسی [۹] است. درادامه، مفروضات دیگری که در مدل اضافه شده‌اند و تعریف متغیر و پارامترهای استفاده‌شده آمده است.

مفروضات و نمادگذاری مدل:

ـ تأمین منابع مالی مختلف برای تأسیس‌هاب‌ها به ازای گروه محصولات؛

ـ طراحی جدید مدل مکان‌یابی‌هاب میانه چندمحصوله با محدودیت تأمین مالی؛

ـ تعدادهاب‌ها مفروض است؛

ـ موقعیت‌های کاندیدا برای تأسیس‌هاب‌ها وجود دارد؛

ـ گره‌های غیرهاب دقیقاً به یک هاب تخصیص داده می‌شوند (تخصیص تکی)؛

ـ ارتباط هاب‌ها با هم کامل است؛

ـ برای تأسیس هاب‌ها در شبکه هزینه درنظر گرفته شده است؛

ـ هزینه‌های حمل‌ونقل و زمان حمل‌ونقل در مسیر قطعی هستند.

مجموعه‌ها:

$i, j, k, l \in I$: مجموعه گره‌ها (i و j نشان‌دهنده گره‌های غیرهاب و k و l نشان‌دهنده گره‌های هاب).

$p \in P$: مجموعه محصولات

$f \in F$: مجموعه روش‌های تأمین مالی

پارامترها:

W_{ij}^{p}: جریان بین گره i و گره j به‌ازای محصول p

$O_i^p = \sum_j W_{ji}^p$: مجموع مقدار جریان فرستاده‌شده به گره i

$D_i^p = \sum_j W_{ij}^p$: مجموع مقدار جریان دریافت‌شده از گره i

$FixCost_{kf}^{p}$: هزینه تأسیس هاب k به‌ازای محصول p به‌ازای روش تأمین مالی f

$Cost_{ik}^{p}$: هزینه حمل‌ونقل بین گره i وهاب k به‌ازای محصول p

α: فاکتور تخفیف هزینه حمل‌ونقل بین گره هاب به هاب

λ: فاکتور تخفیف هزینه حمل‌ونقل بین گره‌های غیرهاب به هاب

Γ_k: ظرفیت هاب k

$(\frac{A}{P}, int\%, years)$: فاکتور تبدیل مقدار سرمایه‌گذاری اولیه به سری یکنواخت سالیانه

$Numhub$: تعداد هاب‌ها

B_f: بودجه کل به‌ازای هر روش تأمین مالی f

متغیرهای تصمیم:

X_{ik}^{p}: اگر گره i به هاب k به‌ازای محصول p تخصیص پیدا کند، مقدار ۱ می‌گیرد و در غیر این صورت صفر.

Z_{kk}: اگر گره k هاب شود، مقدار ۱ می‌گیرد و در غیر این صورت صفر.

Y_{ikl}^{p}: مقدار جریان بین خروجی گره i به هاب l از هاب k به‌ازای محصول p.

Q_{kf}^{p}: اگر متغیر مقدار ۱ بگیرد، یعنی هاب k از سناریوی تأمین مالی f به‌ازای محصول p استفاده می‌کند.

مدل ریاضی:

$$\text{Min} \sum_{i}\sum_{k}\sum_{p}\sum_{l} \alpha \times \text{Cost}_{ik}^{p} \times Y_{ikl}^{p} + \sum_{i}\sum_{k}\sum_{p} \lambda \times \text{Cost}_{ik}^{p} \times X_{ik}^{p} \left(O_i^p + D_i^p\right) + \sum_{k}\sum_{p}\sum_{f} (\text{FixCost}_{kf}^{p} \times Z_{kk} \times Q_{kf}^{p}) \times \left(\frac{A}{P}, \text{int}\%, \text{years}\right) \quad ۱$$

Subject to:

$$\sum_{k} X_{ik}^{p} = 1 \qquad \forall\, i, p \qquad ۲$$

$$\sum_{f} Q_{kf}^{p} \le Z_{kk} \qquad \forall\, k, p \qquad ۳$$

$$\sum_{k} Z_{kk} = \text{Numhub} \qquad ۴$$

$$X_{ik}^{p} \le Z_{kk} \qquad \forall\, i, k, p \qquad ۵$$

$$\sum_{i}\sum_{p} O_i^p X_{ik}^{p} \le \Gamma_k Z_{kk} \qquad \forall k \qquad ۶$$

$$\sum_{l} Y_{ikl}^{p} + \sum_{j} W_{ij}^{p} \times X_{jk}^{p} = \left(O_i^p \times X_{ik}^{p}\right) + \sum_{l} Y_{ilk}^{p} \qquad \forall\, i, k, p \qquad ۷$$

$$\sum_{k}\sum_{p} \left(\text{FixCost}_{kf}^{p} \times Z_{kk} \times Q_{kf}^{p}\right) \le B_f \qquad \forall\, f \qquad ۸$$

$$Q_{kf}^{p}, Z_{kk}, X_{ik}^{p} \in \{0,1\}$$

تابع هدف ۱ مجموع هزینه‌ها را نشان می‌دهد که قسمت اول تابع هدف هزینه حمل‌ونقل

گره‌های غیرهاب به هاب، قسمت دوم هزینه جریان ورودی به هاب‌ها و قسمت سوم هزینه تأسیس هاب‌ها را کمینه می‌کند. محدودیت ۲ فرض تخصیص تکی را نشان می‌دهد. محدودیت ۳ تضمین می‌کند که هزینه تأسیس هر هاب به‌ازای محصول خاص p فقط ازطریق یک سناریو تأمین مالی شود. محدودیت ۴ تعداد هاب‌های مدل را نشان می‌دهد. محدودیت ۵ تضمین می‌کند که زمانی از گره غیرهاب به هاب k جریان وجود دارد که هاب k تشکیل شده باشد. محدودیت ۶ به محدودیت ظرفیت نقطه k مربوط است و بیانگر این است که هاب تعدادی نقاط غیرهاب را می‌تواند به خود تخصیص دهد که مجموع جریان‌های ورودی به هاب k از مقدار Γ_k کمتر باشد. محدودیت ۷ تعادل جریان را نشان می‌دهد. محدودیت ۸ مقدار ظرفیت بودجه برای تأسیس هاب‌ها به‌ازای هر محصول را نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه مقدار بهینه تابع هدف بیانگر هزینه سالانه حمل‌ونقل ازطریق شبکه هاب است، برای درنظر گرفتن هزینه‌های احداث هاب‌ها در کنار هزینه‌های حمل‌ونقل باید معادل سالیانه هزینه‌های احداث هاب‌ها را به‌جای میزان سرمایه‌گذاری اولیه احداث هاب (به‌صورت یکجا و قبل از شروع به بهره‌برداری از هاب‌ها انجام می‌شود) درنظر گرفت. برای این کار، از تکنیک‌های اقتصاد مهندسی استفاده می‌شود.

روش‌های تأمین مالی هزینه ایجاد هاب. با توجه به اینکه تأمین کامل هزینه طرح‌های زیربنایی از محل بودجه‌های عمرانی، به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه مقدور نیست، برخی از طرح‌های بزرگ با استفاده از روش‌های متفاوت تأمین مالی برای جذب سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی می‌کوشند؛ بنابراین، در مدل مورد بررسی نیز تأمین مالی هزینه ایجاد هاب‌های موردنظر به سه روش زیر درنظر گرفته شده است:

ـ تأمین از بانک‌های داخلی (تسهیلات بانکی)؛

ـ تأمین مالی خارجی (تسهیلات ارزی)؛

ـ آورده توسط سرمایه‌گذار (بودجه دولتی).

به این ترتیب، فرض شده است که سه روش برای تأمین مالی تأسیس هاب‌ها وجود دارد. در روش اول که تأمین مالی ازسیستم بانکی کشور است، فرض می‌شود که بانک‌ها حاضرند ازطریق پرداخت تسهیلات بانکی با نرخ مصوب (در این بررسی ۲۰ درصد برای هر سال درنظر گرفته شده است) مشارکت کنند. در روش دوم، تأمین مالی ازطریق منابع خارجی (ارزی) است. در بیشتر کشورها، مسئولان مملکتی سعی می‌کنند شرایطی را مهیا کنند که بتوانند بخش عمده‌ای از سرمایه‌های خارجی را در طرح‌های سرمایه‌گذاری داخلی که نیاز به سرمایه‌های هنگفت دارند، جذب کنند. هزینه جذب سرمایه‌گذاری خارجی علاوه‌بر نرخ بهره سالیانه، براساس نرخ لایبور

شامل تغییرات نرخ ارز بین کشور میزبان و کشور سرمایه‌گذار است. در این بررسی، هزینه سود سالیانه تسهیلات ارزی (دلار) برابر ۱۲ درصد درنظر گرفته شده است. همچنین، برای محاسبه نرخ ارز در زمان بازپرداخت تسهیلات، سه نرخ محاسبه شده است: ابتدا تغییرات نرخ ارز طی سال‌های ۱۳۵۷–۱۳۹۲ بررسی و متوسط افزایش نرخ ارز به‌عنوان حداکثر تغییرات نرخ ارز منظور شده است، سپس نرخ ارز به قیمت جاری و همچنین نرخ ارز به قیمت مرکز مبادلات ارزی به‌عنوان حداقل نرخ ارز درنظر گرفته شده و بعد با درنظر گرفتن اینکه بیشترین احتمال برای نرخ ارز با توجه به سیاست دولت در کاهش نرخ تورم و جلوگیری از افزایش بی‌رویه ارزی است، نرخ ارز کنونی درنظر گرفته شده و با استفاده از توزیع بتا محاسبه شده است.

روش سوم تأمین مالی ازطریق سرمایه‌گذار یا بودجه مصوب دولت است. در این روش، هزینه فرصت ازدست‌رفته سرمایه به‌عنوان سود مورد انتظار درنظر گرفته شده است. برای محاسبه فرصت ازدست‌رفته سرمایه متوسط بازده بازار سرمایه به‌عنوان حداکثر عایدی، نرخ بهره صفر حداقل عایدی و سود سپرده بانکی به‌عنوان بیشترین احتمال عایدی کسب‌شده درنظر گرفته شده است و با استفاده از توزیع بتا متوسط نرخ مورد نظر برای روش سوم محاسبه شده است.

شیوه محاسبه هزینه ایجاد هاب. در این مقاله، احداث هاب‌های ترکیبی ریلی– جاده‌ای فرض شده است. این نوع از هاب‌ها توانایی تخلیه و بارگیری برای وسایط نقلیه جاده‌ای و قطار را دارند. همچنین، فرض شده است که حمل‌ونقل کالا بین شهرهای غیرهاب به هاب‌ها ازطریق جاده و حمل‌ونقل بین هاب‌ها به‌دلیل کاهش هزینه حمل‌ونقل به‌صورت ریلی باشد.

این هزینه شامل هزینه خرید زمین، اتصال به شبکه جاده‌ای و ریلی، احداث فضاهای انبارش روباز و سرپوشیده، نصب تجهیزات استاندارد تغییر نوع حمل از ریلی به جاده‌ای و بالعکس، احداث تسهیلات ارائه خدمات پشتیبانی (بانک، بیمه، مخابرات، رستوران، پارکینگ و...) و استخدام نیروی کار مجرب در این هاب‌ها است. تخمین دقیق این هزینه‌ها به محاسبات و نظرات افراد خبره نیاز دارد که خود به‌تنهایی می‌تواند به‌عنوان یک طرح پژوهشی تعریف شود؛ بنابراین در این قسمت، به یک مقدار تقریبی برای هزینه احداث هاب‌ها که به‌صورت میانگین مقادیر گزارش شده، اکتفا می‌کنیم. البته در گزارش‌های مربوط به طرح‌های احداث هاب‌های لجستیکی در اقصی نقاط دنیا، هزینه احداث یک هاب لجستیکی بسیار متغیر است و بسته به امکانات و اندازه هاب‌های احداث‌شده ارقامی بین ۳۵۰۰ تا ۱۹۰۰۰ میلیارد ریال است.

هزینه احداث هاب‌ها شامل خرید زمین و قیمت ساخت است. برای بدست آوردن متوسط هزینه خرید زمین از داده‌های مرکز آمار ایران استفاده شده است. همچنین برای محاسبه متوسط قیمت ساخت ازنظر کارشناسان خبره استفاده شده است. متوسط قیمت برای گروه محصولات

نوع دوم، محاسبه شده است و برای نوع اول و سوم به‌ترتیب ۲۰ درصد کمتر و ۳۰ درصد بیشتر تغییر یافته است.

فاکتور تبدیل مقدار سرمایه‌گذاری اولیه به سری یکنواخت سالیانه. برای درنظر گرفتن هزینه‌های احداث هاب‌ها، درکنار هزینه‌های حمل‌ونقل باید معادل سالیانه هزینه‌های احداث هاب‌ها را به‌جای میزان سرمایه‌گذاری اولیه احداث‌ها که به‌صورت یکجا و قبل از شروع به بهره‌برداری از هاب‌ها انجام می‌شود، درنظر گرفت. به این منظور، از تکنیک‌های اقتصاد مهندسی و فاکتور تبدیل مقدار سرمایه‌گذاری اولیه به سری یکنواخت سالیانه استفاده می‌شود:

$$f(\frac{A}{P}, int\%, years) = \frac{i(1+int)^{years}}{(1+int)^{years}-1}$$

محاسبه فاکتور تخفیف هزینه حمل‌ونقل . برای بهره‌مندی از خاصیت اصل صرفه اقتصادی، در شبکه طراحی‌شده، حمل‌ونقل کالا بین شهرهای غیرهاب و هاب با استفاده از کامیون (حمل‌ونقل جاده‌ای) فرض شده است و حمل کالا بین هر جفت شهرهای هاب‌شده با استفاده از قطار (حمل‌ونقل ریلی) انجام می‌شود [۱۶].

با توجه به توضیحات بالا و با دانستن میزان کرایه حمل به‌ازای هر تن- کیلومتر حمل کالا با استفاده از کامیون و قطار، می‌توان ضریب تخفیف کرایه حمل بین گره‌های هاب (ضریب بهره‌مندی از خاصیت اقتصادی مقیاس) را تخمین زد. هزینه حمل هر تن کیلومتر کالا با استفاده از کامیون (C-truck) و قطار (C-train) در سال ۱۳۸۸ به‌ترتیب برابر با ۳۲۰ و ۲۲۰ ریال توسط وزارت راه و شهرسازی محاسبه شده است. مقدار ضریب α به‌صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\alpha = \frac{Ctrain}{Ctruck}$$

بنابراین، فاکتور تخفیف هزینه حمل‌ونقل بین گره هاب به هاب برابر ۰/۶۹ محاسبه می‌شود. همچنین، فاکتور تخفیف هزینه حمل بین گره غیرهاب به هاب برابر یک درنظر گرفته شده است.

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

نتایج محاسباتی. مسئله ارائه‌شده یک مدل ریاضی مختلط غیرخطی[1] است. برای حل این نوع از مسائل ریاضی، روش‌های دقیقی مثل شاخه و کران، شاخه و برش[2] و شاخه و قیمت[3] ارائه شده است. برای حل مسئله و به‌دست آوردن نقطه بهینه، مسئله در نرم‌افزار گمز ۲۴,۱,۳ کدنویسی شده است. همچنین، با استفاده از مسئله‌های تولیدشده به‌صورت تصادفی تا سایز ۹ گره و ۵ هاب، اعتبار و قابلیت اطمینان مدل ارائه‌شده روی یک کامپیوتر پنتیوم ۴ با پردازنده ۳ گیگاهرتز و حافظه داخلی ۴ GB سنجیده شده است. مسائل آزمایشی تولیدشده تصادفی با رویکرد غیرخطی شاخه و کاهش[4] با موفقیت حل شده‌اند و نقطه بهینه نیز به‌دست آمده است.

مورد مطالعه. از بین ۳۱ استان کشور، ۹ استان که به‌ترتیب بیشترین حمل‌ونقل کالا در سال ۱۳۹۲ را در کشور داشتند انتخاب شدند و اطلاعات و آمار آن‌ها در مدل استفاده شده است. استان‌ها عبارت‌اند از: اصفهان، تهران، خراسان رضوی، خوزستان، فارس، هرمزگان، یزد و آذربایجان شرقی.

اطلاعات آماری استفاده‌شده عبارت‌اند از:

ـ میزان کالای حمل‌شده جاده‌ای بین استان‌ها براساس نوع کالا؛

ـ هزینه هر تن- کیلومتر حمل کالای حمل‌شده؛

ـ میانگین کرایه حمل هر تن— کیلومتر کالای حمل‌شده به استان‌های مبداء؛

ـ فاصله بین شهرهای بزرگ استان‌های مورد نظر.

سپس کالاها به سه گروه محصولات زیر تقسیم شدند:

ـ گروه محصولات کشاورزی و پوشاک؛

ـ گروه محصولات عمرانی و صنعتی؛

ـ گروه محصولات شیمیایی.

با در نظر گرفتن میانگین وزنی کرایه حمل هر تن— کیلومتر محصول برای سه گروه بالا، اطلاعات مورد نیاز مدل استخراج گردید.

نتایج حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی بدون محدودیت مالی. بررسی مدل بدون محدودیت مالی نشان‌دهنده شرایطی است که محدودیتی در انتخاب روش تأمین مالی برای ایجاد هاب از

1. Mixed-Integer Non-Linear Programming (MINLP)
2. Branch-and-Cut
3. Branch-and-Price
4. Branch-and-Reduce

روش‌های مختلف مالی مدل وجود ندارد. بر همین اساس، ابتدا فرض محدودیت در تأمین مالی درنظر گرفته نمی‌شود و تعداد هاب‌های مورد نظر به‌ترتیب از ۱ تا ۸ افزایش می‌یابد تا بهترین انتخاب بین جواب‌های به‌دست‌آمده مشخص شود. البته در بیشتر موارد، چنین فرضی صادق نیست؛ بنابراین، در ادامه بررسی‌ها به این محدودیت توجه و مدل بار دیگر بررسی می‌شود. نتایج محاسبات بدون محدودیت مالی در جدول ۱ ارائه شده است.

در جدول ۱، اسامی مرکز هر استان را با شماره نشان داده‌ایم که عبارت‌اند از: اصفهان ۱، تهران ۲، مشهد ۳، اهواز ۴، شیراز ۵، بندرعباس ۶، یزد ۷، تبریز ۸ و کرمانشاه ۹. ,

جدول ۱. مقدار تابع هدف به‌دست‌آمده بدون محدودیت مالی

زمان حل (دقیقه)	نام شهرها (هاب)	هزینه جریان غیرهاب و هاب (میلیارد ریال)	هزینه جریان بین هاب‌ها (میلیارد ریال)	هزینه ثابت یکنواخت‌شده (میلیارد ریال)	هزینه کل (میلیارد ریال)	ظرفیت هاب (میلیون تن)	تعداد هاب
۱۷/۲۵	۱-۳-۴-۵-۶-۷-۸-۹	۶,۲۰۱	۱۶,۴۴۶	۱۸,۰۲۸	۴۰,۶۷۵	۳۰	۸
۱۶/۷	۱-۲-۳-۴-۵-۶-۷	۳,۲۴۴	۱۶,۷۳۹	۱۷,۱۴۵	۳۷,۱۲۸	۳۰	۷
۱۶/۶۸	۱-۲-۳-۴-۶-۷	۴,۸۵۳	۱۶,۴۰۷	۱۴,۹۱۵	۳۶,۱۷۵	۳۰	۶
۱۶/۵	۱-۲-۳-۴-۷	۱۰,۳۳۳	۱۳,۶۱۱	۱۲,۳۸۵	۳۶,۳۲۹	۳۵	۵
۱۶/۵۳	۱-۲-۵-۷	۱۶,۶۹۰	۱۰,۶۷۰	۱۰,۱۱۸	۳۷,۴۷۸	۳۵	۴
۱۶/۴۸	۱-۲-۷	۱۹,۰۴۲	۹,۵۶۳	۷,۹۳۷	۳۶,۵۴۳	۴۰	۳
۲/۲۶	۲-۷	۲۲,۹۲۹	۸,۵۲۲	۳,۶۶۹	۳۷,۱۲۰	۶۰	۲
۲/۴۹	۱	۳۳,۵۲۰	۰	۲,۲۶۸	۳۵,۷۸۸	۱۲۰	۱

هزینه کل ایجاد هاب با استفاده از فاکتور تبدیل سرمایه‌گذاری اولیه در مدل ریاضی ارائه شده و متوسط عمر درنظرگرفته‌شده برای هر هاب به هزینه یکنواخت سالیانه تبدیل شده است. همچنین، هزینه کل با تغییر تعداد هاب‌ها و ظرفیت در بازه ۳۵ تا ۴۰ هزار میلیارد ریال تغییر می‌کند. براساس جدول ۱، حداقل هزینه کل شبکه بدون محدودیت مالی با تعداد ۱هاب و با هزینه کل ۳۵,۷۸۸ میلیارد ریال است و برای احداث هاب از روش تأمین مالی ۲ استفاده شده است.

جدول ۲. نحوه تخصیص شهرهای غیرهاب به هاب در شبکه با سه هاب

		گروه محصولات مختلف		
غیرهاب	هاب	۱	۲	۳
مشهد	اصفهان	۰	۰	۱
اهواز	اصفهان	۱	۱	۱
شیراز	اصفهان	۰	۰	۱
تبریز	اصفهان	۱	۰	۰
کرمانشاه	اصفهان	۱	۰	۱
مشهد	تهران	۰	۱	۰
تبریز	تهران	۰	۱	۱
کرمانشاه	تهران	۰	۱	۰
مشهد	یزد	۱	۰	۰
شیراز	یزد	۱	۱	۰
بندرعباس	یزد	۱	۱	۱

جدول ۲ نحوه تخصیص شهرهای غیرهاب به هاب با فرض سه هاب در جدول ۱ را نشان می‌دهد. جدول ۲ نشان می‌دهد که تخصیص شهرهای غیرهاب به هاب براساس گروه کالا متفاوت است. برای نمونه، در جدول ۲ محصول سه شهر شیراز به شهر اصفهان و محصولات یک و دو شهر شیراز به شهر یزد تخصیص یافته است.

نتایج حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی با محدودیت در تأمین منابع مالی. هدف اصلی این مقاله نشان دادن تأثیر محدودیت و کمیابی منابع مالی در بررسی طرح‌های سرمایه‌گذاری کلان و زیربنایی است. تأمین مالی بدون محدویت معمولاً امکان‌پذیر نیست و در شرایط واقعی تأمین مالی هزینه‌های سرمایه‌گذاری دارای محدودیت در تأمین از هریک از روش‌های تأمین مالی ذکرشده تا سقف معینی است؛ درنتیجه امکان بررسی بدون درنظر گرفتن محدودیت بودجه‌ای در بخش قبلی، در بیشتر اوقات –به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه– غیرواقعی است.

جدول ۳. مقدار تابع هدف به‌دست‌آمده با محدودیت در تأمین منابع مالی و تغییرات بودجه

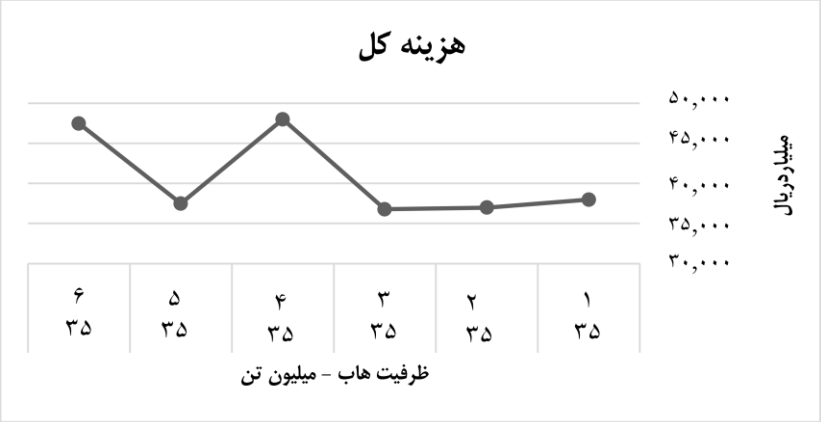
ردیف	ظرفیت هاب (میلیون تن)	روش تأمین مالی (میلیارد ریال)			هزینه کل (میلیارد ریال)	هزینه ثابت یکنواخت‌شده (میلیارد ریال)	هزینه جریان بین هاب‌ها (میلیارد ریال)	هزینه جریان بین غیرهاب و هاب(میلیارد ریال)	نام شهرها (هاب)
		روش اول	روش دوم	روش سوم					
۱	۳۵	۱۰,۰۰۰	۱۰,۰۰۰	۷۰,۰۰۰	۳۷,۹۶۶	۱۱,۸۹۳	۱۴,۶۰۰	۱۱,۴۷۳	۷-۶-۴-۳-۱
۲	۳۵	۶۰,۰۰۰	۴۰,۰۰۰	۴۰,۰۰۰	۳۶,۹۶۹	۱۳,۱۰۰	۱۴,۲۸۱	۹,۵۸۷	۷-۶-۳-۲-۱
۳	۳۵	۳۰,۰۰۰	۳۰,۰۰۰	۳۰,۰۰۰	۳۶,۷۷۸	۱۳,۲۶۶	۱۴,۱۳۸	۹,۳۷۴	۷-۶-۳-۲-۱
۴	۳۵	۱۰,۰۰۰	۷۰,۰۰۰	۱۰,۰۰۰	۴۸,۰۰۲	۱۲,۳۸۵	۱۲,۰۴۲	۲۳,۵۷۵	۷-۵-۳-۲-۱
۵	۳۵	۴۰,۰۰۰	۲۰,۰۰۰	۲۰,۰۰۰	۳۷,۴۸۷	۱۳,۴۴۸	۱۴,۰۱۴	۱۰,۰۲۶	۷-۶-۳-۲-۱
۶	۳۵	۷۰,۰۰۰	۱۰,۰۰۰	۱۰,۰۰۰	۴۷,۴۶۶	۱۳,۷۵۸	۱۶,۷۹۳	۱۶,۹۱۵	۹-۷-۶-۳-۲

برای بررسی تأثیر محدودیت تأمین منابع در تعیین هاب‌ها، مفروضات زیر تعریف می‌شود:

ـ تعداد هاب‌ها ازمیان ۹ مرکز استان درنظرگرفته‌شده برابر ۵ هاب است.

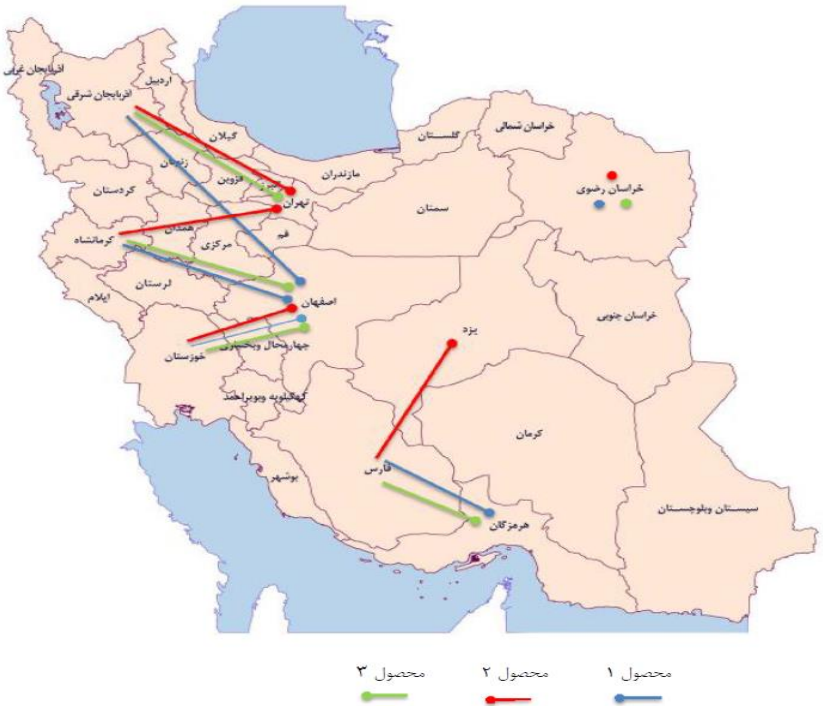
ـ تغییرات در سقف بودجه هرسه روش تأمین مالی گروه محصولات اعمال می‌شود.

نتایج محاسبات در جدول ۳ و شکل ۱ نشان داده شده‌اند. با توجه به اینکه هدف مدل در جدول ۳ به‌دست آوردن حداقل هزینه کل شبکه با درنظر گرفتن محدودیت بودجه است و تعداد هاب‌ها برابر ۵ ثابت فرض شده است، تغییرات اعمال‌شده در بودجه با تغییرات در هاب‌های انتخاب‌شده و درنتیجه تغییرات در جریان شبکه به حداقل‌سازی هزینه جریان کل در مدل منجر شده که در حالت سوم، تابع هدف مورد نظر به کمترین مقدار خود رسیده است. همچنین، در جدول ۱ ملاحظه شد که مقدار تابع هدف در حالت خاص ۵ هاب برابر ۳۶،۳۲۹ میلیارد ریال است؛ درحالی که با درنظر گرفتن محدودیت بودجه و تغییرات ظرفیت هاب، مقدار تابع هدف در بازه حدودی ۳۶ تا ۴۸ هزار میلیارد ریال تغییر می‌کند که با توجه به ثابت بودن ظرفیت هاب‌ها، نشان‌دهنده تأثیر محدودیت بودجه در تصمیم‌گیری‌های کلان اقتصادی طرح‌ها است و این موضوع در دنیای واقعی بسیار کاربردی است.

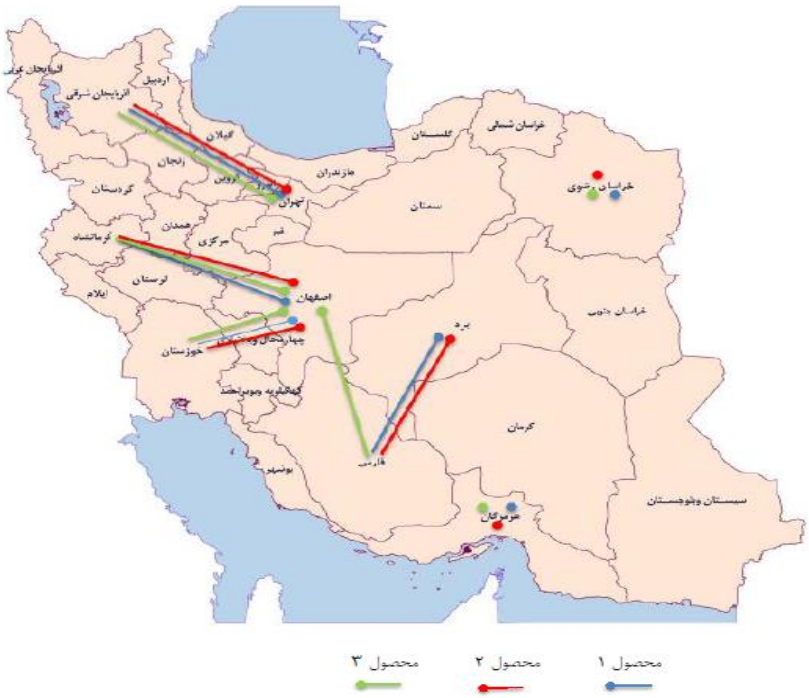


شکل ۱. مقادیر تابع هدف محاسبه‌شده در جدول ۳ با فرض ۵ هاب

برای بررسی تأثیر هزینه هاب از روش‌های مختلف تأمین مالی با توجه به اینکه در شرایط فعلی امکان تأمین مالی خارجی (روش دوم) کمتر از تأمین مالی داخلی است و همچنین تأمین مالی ازطریق بودجه دولتی و یا آورده سرمایه‌گذار (روش سوم) سقف محدودی دارد، در جدول ۳ تابع هدف با ظرفیت ثابت و تغییرات در سقف تأمین مالی بررسی شد.



شکل ۲. نتایج تخصیص در مدل ۵ هاب ردیف دوم جدول ۳



شکل ۳. نتایج تخصیص در مدل ۵ هاب ردیف سوم جدول ۳

نتیجه به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که علاوه‌بر تغییرات در هزینه کل تابع هدف، بعضی از هاب‌های انتخاب‌شده تغییر یافته است. شکل ۲ و شکل ۳ نحوه تخصیص شهرهای غیرهاب به هاب را نشان می‌دهند. در شکل ۲ و ۳، شهرهای تهران، اصفهان، مشهد، یزد و بندرعباس هاب هستند.

با اعمال تغییرات در سقف بودجه روش‌های تأمین مالی، نحوه تأمین مالی مورد نیاز هاب‌ها برای دستیابی به حداقل هزینه کل جریان در تابع هدف متفاوت بوده است. جدول‌های ۴ و ۵ نحوه تخصیص بودجه در مدل ۵ هاب ردیف دوم و سوم جدول ۳ را نشان می‌دهند.

جدول ۴. نحوه تأمین مالی در مدل ۵ هاب ردیف دوم جدول ۳

	روش تأمین مالی		
هاب	**۱**	**۲**	**۳**
اصفهان	۰	۱	۰
تهران	۰	۱	۱
مشهد	۱	۱	۱
یزد	۰	۱	۱

بندرعباس	۰	۱	۱

جدول ۵. نحوه تأمین مالی در مدل ۵ هاب ردیف سوم جدول ۳

	روش تأمین مالی		
هاب	**۱**	**۲**	**۳**
اصفهان	۰	۱	۰
تهران	۱	۰	۱
مشهد	۰	۱	۱
یزد	۱	۱	۱
بندرعباس	۰	۱	۱

با توجه به گروه‌بندی کالاها در مدل، به‌منظور طراحی شبکه بهینه هاب‌ها، به بعضی از شهرها که هاب شده‌اند هرسه نوع محصول و به بعضی دیگر یک یا دو محصول تخصیص داده شده است. مشاهده می‌شود که با تغییر سقف بودجه، علاوه‌بر تغییر هاب‌ها، تخصیص گروه کالاها به هاب‌ها در بعضی از شهرها تغییر می‌یابد که اهمیت محدودیت بودجه در تعیین هاب‌ها تأیید می‌شود.

همچنین، بعضی از شهرها در بیشتر حالات مورد بررسی بالا، با توجه به جریان بالای حمل‌ونقل گروه کالاها، هاب شده و تخصیص گروه کالاها انجام یافته است. این شهرها عبارت‌اند از: اصفهان، تهران، مشهد، یزد و بندرعباس.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به اینکه در پژوهش‌های انجام‌شده در مسئله مکان‌یابی هاب، هزینه تأسیس هاب‌ها ثابت و بدون تحلیل‌های اقتصادی درنظر گرفته شده‌اند، در این مقاله برای اولین‌بار در ایران برای تأمین هزینه‌های تأسیس هاب از سه روش مالی مختلف با درنظر گرفتن محدودیت در تأمین منابع مالی استفاده شده است. همچنین، درنظر گرفتن سه گروه کلی محصولات در حمل‌ونقل کشور، مدل ارائه‌شده را به دنیای واقعی نزدیک‌تر و کاربردی‌تر کرده است. گفتنی است که همه اطلاعات استفاده‌شده در این مقاله برگرفته از آمار ارائه‌شده حمل‌ونقل جاده‌ای کشور در سال ۱۳۹۲ هستند.

برای حل مسئله و به‌دست آوردن نقطه بهینه تأسیس هاب‌ها، مسئله در نرم‌افزار گمز ۲۴,۱,۳ کدنویسی شده است. مدل در دو حالت با تغییر تعداد هاب‌ها و بدون درنظر گرفتن محدودیت بودجه‌ای و ثابت نگه داشتن تعداد هاب‌ها و محدودیت بودجه با تغییر در حداکثر مقدار بودجه هریک از سه روش تأمین مالی بررسی شد؛ درنتیجه، انتخاب شهرهای هاب‌شده براساس نوع محصولات تغییر کرد و اثر انتخاب هاب‌ها توسط مدل نسبت‌به روش تأمین مالی تحلیل

حساسیت شد. تحقیق حاضر می‌تواند به صورت‌های مختلفی توسعه یابد که شاید یکی از جذاب‌ترین آن‌ها درنظر گرفتن مدل‌های صف برای ظرفیت هاب‌ها و مدل‌سازی تحت عدم‌قطعیت برای برخی پارامترها و همچنین توسعه مدل و روش‌های حل مقتضی برای ۳۱ استان کشور باشد.

منابع

1. Camargo, R.S., Miranda, G. (2012). Single allocation hub location problem under congestion: Network owner and user perspectives. *Expert Systems with Applications, 39*, 3385–3391.

2. Camargo R.S. Miranda G. Luna H.P. (2009). Benders Decomposition for Hub Location Problems with Economies of Scale. *Transportation Science, 43 (1)*, 86–97.

3. Camargoa, R.S., Miranda, G., Ferreira, R. (2011). A hybrid Outer-Approximation/Benders Decomposition algorithm for the single allocation hub location problem under congestion. *Operations Research Letters 39*: 329–337.

4. Campbell, J.F., (1994b). Integer programming formulations of discrete hub location problems. *European Journal of Operational Research, 72(2),* 387–405.

5. Contreras, I., Cordeau, J.F., Laporte, G. (2011). Benders Decomposition for Large-Scale Uncapacitated Hub Location. *Operational Research, 59 (6),* 1477–1490.

6. Contreras, I., Cordeau, J.F., Laporte G. (2011). Exact Solution of Large-Scale Hub Location Problems with Multiple Capacity Levels. *Transportation Science, 46 (4)*, 439–459.

7. Elhedhli, S. Wu, H. (2010). A Lagrangean Heuristic for Hub-and-Spoke System Design with Capacity Selection and Congestion. *Informs Journal on Computing, 22 (2)*, 282–296.

8. Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M (1996). Efficient algorithms for the uncapacitated single allocation p-hub median problem. *Location Science, 4 (3),* 139–154.

9. Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M (1999). Solution algorithms for the capacitated single allocation hub location problem. *Annals of Operations Research, 86*, 141–159.

10. Garcia, S., Landete, M., Marin, A. (2012). New formulation and a branch-and-cut algorithm for the multiple allocation *p*-hub median problem. *European Journal of Operational Research, 220*, 48–57.

11. Gelareh, S., Nickel, S. (2011). Hub location problems in transportation networks. *Transportation Research, Part E, 47*, 1092–1111.

12. Gelareh, S., Pisinger, D. (2011). Fleet deployment, network design and hub location of liner shipping companies. *Transportation Research, Part E, 47*, 947–964.

13. Hakimi, S.L. (1964). Optimum location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations Research, 12(3),* 450–459.

14. Ishfaq, R., Sox, C.R. (2011). Hub location–allocation in intermodal logistic networks. *European Journal of Operational Research, 210*, 213–230.

15. Kim, H. (2012). *P*-hub protection models for survivable hub network design. *Journal of Geography System, 14*, 437–461.

16. Limbourg, S., Jourquin, B. (2009). Optimal rail-road terminal locations on the European network. *Transportation Research, Part E, 45*, 551–563.

17. Lin, C.C., Lin ,J.Y., Chen, Y.C. (2012). The capacitated *p*-hub median problem with integral constraints: An application to a Chinese air cargo network. *Applied Mathematical Modelling, 36*, 2777–2787.

18. Lin, J.R., Yang, T.H., Chang, Y.C. (2013). A hub location inventory model for bicycle sharing system design: Formulation and solution. *Computers & Industrial Engineering, 65*, 77–86.

19. Mohammadi, M. Jolai F. Rostami H. (2011). An M/M/c queue model for hub covering location problem. *Mathematical and Computer Modelling. Mathematical and Computer Modelling, 54*, 2623–2638.

20. Mohammadi, M., Torabi, S.A., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2014). Sustainable hub location under mixed uncertainty. *Transportation Research, Part E, 62*, 89–115.

21. O'Kelly, M.E. (1987). A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities. European Journal of *Operational Research, 32*, 393–404.

22. O'Kelly, M. (2012). Fuel burn and environmental implications of airline hub networks. *Transportation Research, Part D 17*, 555–567.

23. Parvaresh, F., Moattar, Husseini, S.M., Hashemi, Golpayegany, S.A., Karimi, B. (2012). Hub network design problem in the presence of disruptions. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Article in press.

24. Razmi, J., Rahmanniya, F. (2013). Design of distribution network using hub location model with regard to capacity constraint and service level. International Journal *Logistics Systems and Management*, Vol. 16, No. 4,386–398.

25. Yang, K., Liu, Y., Yang, G. (2013). An improved hybrid particle swarm optimization algorithm for fuzzy *p*-hub center problem. *Computers & Industrial Engineering, 64*, 133–142.