

مکان یابی هاب چند محصوله در شبکه حمل و نقل کالای ایران با در نظر گرفتن روش های تامین مالی و رویکرد زیست محیطی

اسماعیل چراغی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، پردیس البرز، دانشگاه تهران، تهران، ایران

جعفر حیدری (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

یاسر رحیمی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

جعفر رزمی، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

E-mail: j.heydari@ut.ac.ir

دریافت: ۹۴/۰۶/۰۹ پذیرش: ۹۴/۱۲/۲۴

چکیده

با افزایش روزافزون جمعیت و در نتیجه افزایش تقاضای حمل و نقل کالا، اهمیت طراحی مناسب شبکه های حمل و نقل کالا بیش از پیش نمایان شده است. استفاده از هاب ها در شبکه های حمل و نقل باعث کاهش قابل توجهی در هزینه ها و تعداد مسیرهای ارتباطی و همچنین کاهش مصرف انرژی می گردد. بنابراین، با توجه به کاربردهای مهم شبکه های هاب در حمل و نقل کالا، در این مقاله، مسئله مکان‌یابی هاب میانه چند هدفه چند محصولی بررسی شده است. همچنین با توجه به اهمیت مسایل زیست محیطی و آلایندگی شبکه های حمل و نقل کالا، یکی از توابع هدف در نظر گرفته شده برای مدل ارائه شده، کمینه سازی انتشار گازهای گلخانه ای با استفاده از رویکرد تئوری صف است. از طرفی، با توجه به موضوع کمیابی منابع در اقتصاد و اهمیت بررسی چگونگی تامین مالی در پروژه های بزرگ و زیرساختی کشور که امکان تامین سرمایه کامل آن توسط دولت فراهم نیست، نیاز به تامین از سایر روش های تامین مالی امری حیاتی است؛ بر همین اساس فرض استفاده از تسهیلات مالی از سه روش ممکن با در نظر گرفتن محدودیت منابع برای تاسیس هاب‌ها نیز به مدل اضافه شده است. بنابراین در مدل‌سازی مسئله مکان‌یابی هاب چند محصولی با استفاده از حمل و نقل زمینی کالا، هزینه تأسیس هاب‌های ترکیبی (جاده‌ای-ریلی) و هزینه حمل و نقل بین هاب‌ها و هاب به غیر هاب در تابع هدف کمینه شده است. داده‌های مورد استفاده از آمار ارائه شده حمل و نقل جاده‌ای کشور در سال ۱۳۹۲ به دست آمده است. برای حل مسئله از دو الگوریتم فراابتکاری استفاده شده است. نتیجه بررسی نشان می دهد طراحی شبکه حمل و نقل کالایی کشور با استفاده از هاب های ترکیبی (جاده ای - ریلی) با تعداد ۱۲ هاب (استان کشور) دارای کمترین هزینه برای کل شبکه حمل و نقل کالا در کشور می‌باشد.

واژه های کلیدی: مکان‌یابی هاب میانه، هاب چندمحصولی، رویکرد زیست محیطی، روش‌های تامین مالی، الگوریتم های فراابتکاری، شبکه حمل و نقل کالای ایران

۱. مقدمه

اخیراً منشأ و انگیزش‌های HLP و نیز برخی از کاستی‌های این حوزه نیز مورد بررسی قرار گرفته است [Campbell and O'Kelly, 2012]. در این مقاله، یک مدل موجود مکان‌یابی هاب چند محصوله با در نظر گرفتن روش‌های تامین مالی که برای ۹ استان ایران رایج شده بود [Cheraghi, Heydari and Razmi, 2004] توسعه داده شده است و روش‌های حل فراابتکاری SA و ICA برای آن رایج و مدل برای ۳۱ استان کشور اجرا شده است. یکی از نوآوری‌های این مقاله طراحی و مدل‌سازی مساله تخصیص مکان‌یابی هاب پایدار و یکپارچه کردن تصمیمات زیست‌محیطی در یک مدل و در عین حال در نظر گرفتن روش‌های تامین منابع مالی مختلف برای تأسیس هاب‌ها به ازای گروه محصولات است.

۲. ادبیات موضوع

اولین بررسی HLP در سال ۱۹۹۴ انجام شد [Campbell, 1994] و [O'Kelly and Miller, 1994]. کاربرد HLP در صنعت مخابرات و حمل‌ونقل هوایی در سال ۱۹۹۸ مورد بررسی قرار گرفت [Klincewicz, 1998]. در یک تحقیق اخیر مقالات و تحقیقات HLP تا سال ۲۰۰۷ مرور و طبقه‌بندی شده است [Alumur et al. 2009]. علاوه بر این در سایر مقاله‌های مروری، به تعاریف اساسی، طبقه‌بندی، مدل‌های ریاضی و متدهای حل برای HLP اشاره شده است [Campbell and Ernst, 2002] و [Zanjirani Farahani et al. 2013]. در سال ۲۰۱۵ یک متدولوژی معرفی شد که مشخص می‌کند کدام استراتژی‌های یکپارچه‌سازی کالاها در یک شبکه هاب مقرون به صرفه هستند [Estrada-Romeua and Robustéb, 2015]. در تحقیق مذکور، ارسال کالا مطابق معیارهای هزینه و نزدیکی، جهت ایجاد یک حل اولیه در نظر گرفته شد و این حل اولیه توسط الگوریتم جستجوی ممنوعه^۲ بهبود داده شد. در سال ۲۰۱۴ یک مساله p-هاب میان دو هدفه مورد بررسی قرار گرفت که در آن شبکه هاب دارای ساختار درختی بود [Sedehzadeh and, Tavakkoli-Moghaddam, 2014]. توابع هدف مورد بررسی در این پژوهش به صورت

ایده شبکه‌های هاب و اسپوک ابتدا در سال ۱۹۹۶ ارائه شد [Goldman, 1996]. سپس در سال‌های بعدی از جنبه‌های مختلفی توسعه داده شد [O'Kelly, 1986a, 1986b]. برای اولین بار در سال ۱۹۸۷ یک مدلسازی ریاضی عدد صحیح درجه دوم برای شبکه هاب و اسپوک رایج شد [O'Kelly, 1987]. از آن زمان تاکنون توسعه‌های فراوانی بر روی مدل‌های این شبکه‌ها صورت گرفته است. این توجه گسترده به جهت کاربرد گسترده این شبکه‌ها در حوزه حمل‌ونقل و ارتباطات است [O'Kelly, 1987]. در میان این تحقیقات توجه کمتری به کاربرد این شبکه‌ها در حمل‌ونقل عمومی شده است که توجه بیشتری را در این حوزه می‌طلبد. به طور کلی، تعیین نقاط استقرار هاب‌ها (مکان‌یابی)، تعیین ساختار شبکه اصلی (تعیین نحوه ارتباط بین هاب‌ها) و تعیین ساختار شبکه فرعی (نحوه تخصیص نقاط اسپوک به هاب‌ها) و تعیین مسیر ارسالی جریان برای هر زوج مبدأ و مقصد از جمله تصمیماتی است که در مسائل مکان‌یابی هاب باید اتخاذ شوند. در زیر نمونه‌هایی از کاربردهای شبکه هاب در دنیای واقعی آورده شده است. مساله مکان‌یابی هاب یکی از حوزه‌های جدید و قابل رشد در تئوری مکان‌یابی است. اولین مقاله در حوزه بهینگی گره‌ها در سال ۱۹۶۴ منتشر شد که مشابه مفهوم مکان‌یابی هاب^۱ بود [Hakimi, 1964]. سپس اولین پژوهش درباره کاربرد مکان‌یابی شبکه‌های هاب برای خطوط هوایی و صنعت هوانوردی در سال ۱۹۸۵ ارائه شد [Toh and Higgins, 1985]. اولین فرموله‌سازی ریاضی و متد حل در حوزه HLP در سال ۱۹۹۲ منتشر شد [O'Kelly, 1992]. از آن پس تحقیقات زیادی در طی سال‌های اخیر با روند رشد قابل توجهی منتشر شدند. در سال‌های ۱۹۹۱ و ۱۹۹۲ مدل‌سازی‌های ریاضی متنوعی برای HLP معرفی گردیدند و توابع هدفی مشابه با مسائل کلاسیک مکان‌یابی را مورد بررسی قرار دادند [Campbell, 1991, 1992]. علاوه بر این، در سال‌های بعد مدل‌های بهتری در این حوزه توسعه داده شد [Aykin, 1994, 1995a, 1995b], [Klincewicz, 1991, 1992].

مکان یابی هاب چند محصوله در شبکه حمل و نقل کالای ایران با در نظر گرفتن روش های تامین مالی و رویکرد زیست محیطی

تک کاناله است استفاده شده است. در تحقیقات دیگری مدل صف $M/M/C/k$ و $M/M/c$ برای مساله مکان یابی هاب میانه در حمل و نقل هوایی ایران مورد بررسی قرار گرفته است [Rahimi et al. 2015; Mohammadi et al. 2016]. یکی از مسائل مهم استراتژیک در طراحی شبکه های هاب، علاوه بر مکان یابی نقاط هاب، تصمیم راجع به میزان ظرفیت هاب است. به دلیل بلند مدت بودن تصمیم راجع به مکان یابی نقاط هاب، تصمیم گیری راجع به میزان ظرفیت هاب می بایست علاوه بر تقاضای کنونی، میزان افزایش و کاهش تقاضا در آینده را نیز در نظر بگیرد. در یک بررسی انجام شده در سال ۲۰۱۰ مساله سستی مکان یابی هاب در حالت تخصیص یگانه با ظرفیت محدود مورد بازبینی قرار گرفته و نشان داده شده است این مساله در برخی از شرایط کامل نیست [Correia et al. 2010]. همچنین در این پژوهش با اضافه کردن برخی فرضیات به مدل پیشین، ناکارآمدی مدل سستی در برخی از موارد اصلاح شده است. در تحقیقاتی مجزا، مساله ظرفیت دار کردن مکان یابی هاب سستی در حالت تخصیص یگانه، برای نخستین بار توسعه داده شد [Correia, 2010, 2011]. در مساله معرفی شده به جای اینکه برای هر هاب ها تنها یک سطح ظرفیت وجود داشته باشد، بیش از یک سطح ظرفیت وجود دارد که از بین این سطوح ظرفیتی تنها یکی از آنها توسط حل مدل به عنوان ظرفیت نهایی هاب انتخاب می شود. مدل محدودیت شناسی برای مساله مکان یابی هاب پوششی در حالتیکه لینک های ارتباطی بین هاب ها محدودیت ظرفیت دارند نیز مورد بررسی قرار گرفته است [Sadeghi et al. 2015]. در یک بررسی در سال های اخیر کشسان بودن تقاضا در مسائل هاب کلاسیک وارد گردید [Khosravi et al. 2014]. پژوهش انجام شده تنها پژوهش در زمینه کشسان در نظر گرفتن تقاضا در مسائل هاب است که در آن فرض بر این است که تقاضا وابسته به مکان هاب است.

بررسی ادبیات موضوع نشان می دهد در زمینه چگونگی تامین مالی احداث هاب ها شکاف تحقیقاتی وجود دارد. با توجه به اهمیت هزینه های سرمایه گذاری ثابت در توجیه پذیری طرح ها، در این بررسی نحوه تامین مالی احداث هاب ها با سه روش مورد

کمینه کردن هزینه های حمل و نقل و کمینه کردن زمان انتقال بین گره های در نظر گرفته شده بود و عدم قطعیت در مدل در قالب پارامترهای فازی دخیل شده بود.

در یک بررسی دیگر، یک مدل چند هدفه مکان یابی هاب پوششی مورد بررسی قرار گرفت [Mohammadi et al. 2013]. در این مدل، اولین تابع هدف در پی کمینه کردن هزینه های کلی شبکه بود، در حالی که دومین تابع هدف در پی کمینه کردن بیشینه زمان حمل و نقل بین هر دو جفت گره تقاضا بود. در این پژوهش زمان انتقال بین هر دو جفت گره تقاضا غیرقطعی در نظر گرفته شده است. در سال ۲۰۱۴ پژوهشی انجام شد که مدل ارائه شده توسط پژوهش گران قبلی را توسعه داد [Karimi and Setak, 2014]. مدل جدید ارائه شده، تعداد کمتری از متغیرها و محدودیت ها را نسبت به مدل ارائه شده سال ۲۰۱۱ شامل می شد، لذا زمان حل آن به صورت قابل توجهی کاهش یافته بود. از دیگر مسائل ترکیبی جدید در حوزه مسائل مکان یابی هاب می توان به بررسی مساله مکان یابی هاب پوششی با تخصیص تکی که در آن از فرضیات مرسوم حوزه تئوری صف استفاده شده است، اشاره کرد [Mohammadi et al. 2011]. در این مطالعه از فرضیات تئوری صف به گونه ای استفاده شده است که جریان های ورودی به هر هاب تشکیل یک صف را می دهند و طول این صف نباید از یک حداکثر از پیش تعیین شده بیشتر باشد. در مدل مذکور در ابتدا یک مدل غیرخطی برای مساله ارائه شد و سپس توسط روش های عددی، مدل به صورت خطی در آمده است به نحوی که محدودیت صف ارائه شده در نهایت تبدیل به محدودیت ظرفیت هاب می شود. مطالعه دیگری که از جمله کاربردهای تئوری صف در مسائل مکان یابی هاب به شمار می رود به مدل سازی مساله مکان یابی هاب میانه با تخصیص تکی و بدون محدودیت ظرفیت در شرایط ازدحام پرداخته است [Camargo et al. 2011]. در این بررسی برای فرض ازدحام در هاب ها دو تابع غیرخطی تعریف شده است که در صورت بیشتر شدن مقدار جریان ورودی به یک هاب از مقدار مجاز آن هاب، مقداری هزینه به عنوان هزینه ازدحام به تابع هدف اضافه می شود. برای فرض ازدحام از سیستم صف $M/M/1$ که بصورت

- در نظر گرفتن ضریب تخفیف بین هر جفت هاب، برای انتقال کالا؛

- عدم وجود ارتباط مستقیم بین نقاط غیرهاب (نقاط تقاضا).

در این مقاله مدل ارائه شده در مساله مکان یابی هاب چند محصوله با در نظر گرفتن روش های تامین مالی که در ۹ استان کشور بررسی شده بودند، توسعه داده شده است (چراغی، حیدری و رزمی، ۱۳۹۳) و روش های حل فراابتکاری SA و ICA برای ۳۱ استان کشور مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. همچنین یکی از نوآوری های این مقاله طراحی و مدل سازی مساله تخصیص مکان یابی هاب پایدار و یکپارچه کردن تصمیمات زیست محیطی در یک مدل می باشد. ارائه یک رویکرد برای کاهش انرژی مورد نیاز وسایل نقلیه با استفاده از مدل صف M/M/c یکی دیگر از این نوآوری ها در این مقاله می باشد. همچنین در نظر گرفتن تأمین منابع مالی مختلف برای تأسیس هابها به ازای گروه محصولات و طراحی مدل جدید مکان یابی هاب میانه چندمحصوله چند هدفه با محدودیت تأمین مالی این مدل را کاربردی تر است. همچنین برای تک هدفه کردن مدل از روش برنامه ریزی تعاملی چند هدفه یک روش جدید موجود در ادبیات استفاده شده است. مجموعه ها و پارامترهای مدل ارائه شده در این مقاله در ذیل آورده شده است.

یکی از توابع هدف که در این مدل کمیته می شود کمیته سازی انتشار آلودگی (گازهای گلخانه ای) می باشد که ناشی از ورود وسایل حمل و نقل به هابها می شود. این تابع هدف شامل دو قسمت می باشد که قسمت اول کمیته کردن انتشار آلودگی گازهای گلخانه ای در مسیرها (لینکها) را نشان می دهد و قسمت دوم تابع هدف کمیته کردن انرژی وسایل حمل و نقل و زمان انتظار وسایل نقلیه در هابها را با استفاده از مدل صف M/M/c ارائه می دهد [Mohammadi et al, 2014]. تابع هدف دوم نیز هزینه تأسیس هابها و هزینه حمل و نقل بین هابها و هاب به غیرهاب را کمیته می کند.

بررسی قرار می گیرد. که عبارتند از: (۱) تأمین از بانکهای داخلی (تسهیلات بانکی)، (۲) تأمین مالی خارجی (تسهیلات ارزی)، (۳) آورده توسط سرمایه گذار (بودجه دولتی). همچنین با توجه به این که در بسیاری از کارهای پیشین جریان بین هاب و گره ها عمدتاً تک محصولی بوده است در این مقاله فرض چند محصول بودن جریان بین هاب و گره ها را در نظر گرفته ایم. یکی دیگر از شکاف های تحقیقاتی دیگری که در ادبیات موضوع وجود دارد، در نظر نگرفتن ملاحظات زیست محیطی است که در این مقاله یکی از توابع هدف کمیته کردن انتشار آلودگی ناشی از وسایل حمل و نقل با رویکرد تئوری صف است.

۳. روش شناسی پژوهش

در این مقاله، به منظور مدل سازی مسئله مورد نظر که یک مسئله مکان یابی هاب تخصیص تکی چندمحصوله و چند هدفه است، یک مدل برنامه ریزی ریاضی غیرخطی مختلط عدد صحیح توسعه داده شده است. هدف این مسئله کمیته کردن هزینه تأسیس هابها و هزینه حمل و نقل بین هابها و هاب به غیرهاب و همچنین کمیته کردن انتشار گاز گلخانه ای با رویکرد نظریه صف می باشد. مفروضات اصلی این مدل عبارتند از:

- هر یک از هابها از چندین محصول استفاده می کنند؛
- روش های مختلف تأمین مالی برای تأسیس هابها در نظر گرفته شده است؛
- تعداد هابها از پیش تعیین شده می باشد.
- فرض تخصیص تکی برقرار است.
- شبکه گراف هاب کامل می باشد.
- حجم محدودی از جریان وارد هابها می شود.
- زمان انتظار برای وسایل نقلیه در ورود به هاب جهت دریافت خدمت وجود دارد.
- جریان بین هر جفت گره مبدا و مقصد بر اساس واحد وسیله حمل و نقل در نظر گرفته شده است.

مجموعه ها:

$$i, j, k, l \in I$$

مجموعه گرهها (i و j نشان دهنده گره های غیرهاب و k و l نشان دهنده گره های هاب).

مکان یابی هاب چند محصوله در شبکه حمل و نقل کالای ایران با در نظر گرفتن روش های تامین مالی و رویکرد زیست محیطی

$p \in P$

مجموعه محصولات

$f \in F$

مجموعه روش های تامین مالی

پارامترها:

$FixCost_{kf}^p$

هزینه تأسیس هاب k به ازای محصول p به ازای روش تامین مالی f

$Cost_{ik}^p$

قدرت خروجی موتور

α

فاکتور تخفیف هزینه حمل و نقل بین گره هاب به هاب

λ

فاکتور تخفیف هزینه حمل و نقل بین گره های غیر هاب به هاب

Γ_k

ظرفیت هاب k

$(\frac{A}{P}, int\%, years)$

فاکتور تبدیل مقدار سرمایه گذاری اولیه به سری یکنواخت سالانه

$Numhub$

تعداد هاب ها

B_f

بودجه کل به ازای هر روش تامین مالی f

EW

وزن خالی هر وسیله نقلیه

LL

وزن بار حمل شده توسط هر وسیله نقلیه

d_{ij}

فاصله بین دو گره i و j

$FLOW_{ji}^p$

جریان بین گره i و گره j به ازای محصول p

W_k

زمان انتظار هاب k

λ_k

نرخ ورود وسیله نقلیه ها به هاب k

μ_k

نرخ سرویس هاب k

c_k

تعداد خدمت دهندگان هاب k

RW_k

وات/دقیقه مورد نیاز وسیله نقلیه هاب k

$O_i^p = \sum FLOW_{ij}^p$

مجموع مقدار جریان فرستاده شده به گره i به ازای محصول p

$D_i^p = \sum FLOW_{ji}^p$

مجموع مقدار جریان دریافت شده از گره i به ازای محصول p

متغیرهای تصمیم

Z_{kk}

اگر گره k هاب شود، مقدار ۱ می گیرد و در غیر این صورت صفر

Q_{kf}^p

اگر متغیر مقدار ۱ بگیرد، یعنی هاب k از سناریوی تامین مالی f به ازای محصول p استفاده می کند

Y_{ikl}^p

مقدار جریان بین خروجی گره i به هاب l از هاب k به ازای محصول p

X_{ik}^p

اگر گره i به هاب k به ازای محصول p تخصیص پیدا کند، مقدار ۱ می گیرد و در غیر این صورت صفر

اول تابع هدف هزینه حمل و نقل گره های غیر هاب به هاب، قسمت دوم هزینه جریان ورودی به هاب ها و قسمت سوم هزینه تأسیس هاب ها را کمینه می کند. محدودیت (۳) فرض تخصیص تکی را

همانطور که ذکر شد، تابع هدف اول انتشار آلودگی یا گازهای گلخانه ای در هاب ها و بین لینک ها را با رویکرد صف کمینه می کند. تابع هدف دوم مجموع هزینه ها را نشان می دهد که قسمت

اسماعیل چراغی، جعفر حیدری، یاسر رحیمی، جعفر رزمی

هاب تعدادی نقاط غیرهاب را می‌تواند به خود تخصیص دهد که مجموع جریان‌های ورودی به هاب k از مقدار Γ_k کمتر باشد. محدودیت (۸) تعادل جریان را نشان می‌دهد. محدودیت (۹) مقدار ظرفیت بودجه برای تأسیس هاب‌ها به‌ازای هر محصول را نشان می‌دهد.

نشان می‌دهد. محدودیت (۴) تضمین می‌کند که هزینه تأسیس هر هاب به‌ازای محصول خاص p فقط از طریق یک سناریو تأمین مالی شود. محدودیت (۵) تعداد هاب‌های مدل را نشان می‌دهد. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که زمانی از گره غیرهاب به هاب k جریان وجود دارد که هاب k تشکیل شده باشد. محدودیت (۷) به محدودیت ظرفیت نقطه k مربوط است و بیانگر این است که

مدلسازی ریاضی:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_1 = (EV + LL) & \left\{ \sum_k \sum_l \sum_i \sum_p \gamma_{kl} Y_{ikl}^p d_{kl} + \sum_k \sum_i \sum_p (O_i^p + D_i^p) X_{ik}^p d_{ik} \right\} \\ & + \beta \left\{ \sum_k \sum_i \sum_p v_{ik}^2 X_{ik}^p d_{ik} + \sum_k \sum_l v_{kl}^2 Z_{ll} Z_{kk} d_{kl} \right\} \\ & + \sum_k \sum_p \left(RW_K \times \sum_i (O_i^p + D_i^p) X_{ik}^p \right. \\ & \times \left[\frac{\left(\frac{\sum_i (O_i^p + D_i^p) X_{ik}^p}{\mu_k} \right)^{c_k} \mu_k}{(c_k - 1)! (c_k \mu_k - \sum_i (O_i^p + D_i^p) X_{ik}^p)^2} \right. \\ & \times \left. \left. \left. \left. \left. 1 + \sum_{n=1}^{\mu_k - 1} \left(\frac{\sum_i (O_i^p + D_i^p) X_{ik}^p}{\mu_k} \right)^n \frac{1}{n!} + \left(\frac{\sum_i (O_i^p + D_i^p) X_{ik}^p}{\mu_k} \right)^{c_k} \frac{1}{c_k!} \right. \right. \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. \left. \left. \times \frac{\sum_i (O_i^p + D_i^p) X_{ik}^p}{\mu_k - \sum_i (O_i^p + D_i^p) X_{ik}^p} \right)^{-1} \right] \right) \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_2 = \sum_i \sum_k \sum_p \sum_l \alpha \times \text{Cost}_{ik}^p \times Y_{ikl}^p + \sum_i \sum_k \sum_p \lambda \times \text{Cost}_{ik}^p \times X_{ik}^p (O_i^p + D_i^p) \\ + \sum_k \sum_p \sum_f (\text{FixCost}_{kf}^p \times Z_{kk} \times Q_{kf}^p) \times \left(\frac{A}{p}, \text{int}\%, \text{years} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\sum_k X_{ik}^p = 1 \quad \forall i, p \quad (3)$$

$$\sum_f Q_{kf}^p \leq Z_{kk} \quad \forall k, p \quad (4)$$

$$\sum_k Z_{kk} = \text{Numhub} \quad (5)$$

مکان یابی هاب چند محصوله در شبکه حمل و نقل کالای ایران با در نظر گرفتن روش های تامین مالی و رویکرد زیست محیطی

$$X_{ik}^p \leq Z_{kk} \quad \forall i, k, p \quad (6)$$

$$\sum_i \sum_p O_i^p X_{ik}^p \leq \Gamma_k Z_{kk} \quad \forall k \quad (7)$$

$$\sum_l Y_{ikl}^p + \sum_j W_{ij}^p \times X_{jk}^p = (O_i^p \times X_{ik}^p) + \sum_l Y_{ilk}^p \quad \forall i, k, p \quad (8)$$

$$\sum_k \sum_p (\text{FixCost}_{kf}^p \times Z_{kk} \times Q_{kf}^p) \leq B_f \quad \forall f \quad (9)$$

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

غیر قطعی مربوطه.

۴. رویکرد حل مدل

مرحله ۴: تبدیل کردن محدودیت های احتمالی به قطعی، و فرموله کردن مدل چند هدفه قطعی معادل با آن.

مرحله ۵: تعیین کردن راه حل ایده ال مثبت و راه حل ایده ال منفی برای هر تابع هدف. و بدست آوردن راه حل ایده ال مثبت (Z_1^{PIS}, x_1^{PIS}) و (Z_2^{PIS}, x_2^{PIS}) سپس مدل چند هدفه قطعی معادل برای هر تابع هدف می بایستی جداگانه حل شود، و سپس راه حل ایده ال منفی برای هر تابع هدف تخمین زده می شود:

$$Z_1^{NIS} = Z_1(x_2^{PIS}), Z_2^{NIS} = Z_2(x_1^{PIS})$$

مرحله ۶: تعیین کردن تابع عضویت خطی برای هر تابع هدف بر اساس معادله های (۱۰) و (۱۱):

$$\mu_1(Z) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_1 < Z_1^{PIS} \\ \frac{Z_1^{NIS} - Z_1}{Z_1^{NIS} - Z_1^{PIS}} & \text{if } Z_1^{PIS} \leq Z_1 \leq Z_1^{NIS} \\ 0 & \text{if } Z_1 > Z_1^{NIS} \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_2(Z) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_2 < Z_2^{PIS} \\ \frac{Z_2^{NIS} - Z_2}{Z_2^{NIS} - Z_2^{PIS}} & \text{if } Z_2^{PIS} \leq Z_2 \leq Z_2^{NIS} \\ 0 & \text{if } Z_2 > Z_2^{NIS} \end{cases} \quad (11)$$

رویکردهای بسیاری برای حل مدل های برنامه ریزی خطی چند هدفه قطعی توسعه داده شده است از جمله روش های تعاملی و عقبی^۳ [Hwang and Masud, 1979]. در این بین روش های فازی تعاملی یکی از جذاب ترین رویکردها در این حوزه است، چراکه در اندازه گیری و تنظیم کردن سطح رضایت هر تابع هدف بر اساس اولویت های تصمیم گیرنده قابلیت و توانایی زیادی دارد. در این مقاله برای حل مدل توسعه یافته یک رویکرد حل ترکیبی که به وسیله روش ترابی هسینی ارائه شده است، استفاده می شود [Torabi and Hassini, 2008]. در این گونه موارد، روش های برنامه ریزی چند هدفه کلاسیک مانند روش مجموع وزنی، حل روش های کلاسیک نتایج ضعیفی می دهد [Guu et al, 1999, Sakawa et al. 1987, Sakawa and Yano and Yumine, 1987]؛ این درحالی است که معمولاً روش مورد استفاده در این تحقیق جواب های مناسب و کارآیی را تضمین می کند. مراحل روش ترکیبی ارائه داده شده در زیر آمده است:

مرحله ۱: شناسایی همه متغیر های غیر قطعی و بدست آوردن مقادیر احتمالی مربوط به آن.

مرحله ۲: فرموله کردن مدل ریاضی مساله مکان یابی هاب چند هدفه خاص.

مرحله ۳: ترکیب کردن توابع هدف غیر قطعی و تبدیل به یک تابع هدف قطعی، و استفاده کردن از ارزش انتظاری پارامترهای

به طور صحیح تنظیم نشوند، نمی‌توان به جواب مناسبی دست یافت. با توجه به اینکه الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید و رقابت استعماری کاملاً شناخته شده هستند، لذا از ارایه توضیحات اضافه راجع به این الگوریتم‌های فراابتکاری خودداری می‌شود و صرفاً فرآیند تنظیم پارامترها بر اساس روش سطح پاسخ که یکی از روشهای طراحی آزمایش‌هاست، تشریح می‌شود.

روش سطوح پاسخ برای تخمین بهینه پارامترهای مختلف تأثیر گذار بر یک فرآیند بکار می‌رود. در این روش، از روش معادله رگرسیونی برای ارزیابی سطوح مختلف پارامترها استفاده می‌شود. روش کار چنین است که مجموعه‌ای از سطوح مختلف پارامترهای مؤثر الگوریتم بر مبنای شاخص‌های ورودی (معمولاً از مقدار تابع هدف استفاده می‌شود) مورد بررسی قرار گرفته و با برآزش بهترین معادله رگرسیونی بر سطوح مختلف پارامترها، مقادیر مطلوب برای تنظیم پارامترها پیشنهاد می‌شود.

قبل از هر چیز باید پارامترهایی که به صورت آماری تأثیر مهمی بر رفتار الگوریتم دارند، شناسایی شوند. برای هر یک از پارامترهای مؤثر دو سطح در نظر گرفته می‌شود: ۱- هنگامی که پارامتر در سطح پایین^۶ قرار دارد، و ۱+ هنگامی که پارامتر در سطح بالا است. نحوه کدگذاری سطوح مختلف پارامترها را می‌توان به صورت رابطه (۱۵) ارایه داد:

$$X_i = \frac{r_i - \left(\frac{h+l}{2}\right)}{\left(\frac{h-l}{2}\right)} \quad (15)$$

به طوری که h و l به ترتیب سطوح بالا و پایین پارامترها و X_i و r_i به ترتیب مقدار کدبندی شده و مقدار واقعی برای پارامترها هستند. عملکرد الگوریتم‌های فراابتکاری بر روی مجموعه داده‌هایی که به طور تصادفی ایجاد شده‌اند در یک مطالعه مقایسه‌ای هم از نظر کیفیت راه حل و هم زمان محاسبه ارزیابی شده است. این مجموعه داده‌ها شامل ۱۰ مسئله آزمایشی شامل نمونه‌های با اندازه کوچک تا نمونه‌های با اندازه بزرگ (تا ۳۱ گره) است. پارامترهای مورد نیاز در هر دو الگوریتم ICA و SA با استفاده از روش معروف سطح پاسخ تنظیم شدند که در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

در حقیقت $\mu_k(x)$ نشان دهنده درجه رضایت تابع هدف K ام است.

مرحله ۷: تبدیل کردن مدل چند هدفه قطعی معادل به تک هدفه با استفاده کردن از تابع تجمعی

لازم به ذکر است روش مورد استفاده فقط جواب‌های مناسب و کارآ (یعنی بهینه پارتو) را بدست می‌آورد. تابع تجمعی اصلاح شده در زیر محاسبه شده است:

$$\begin{aligned} \max \mathbb{Q}(w) &= \vartheta \lambda_0 + (1 - \vartheta) \sum_k \varphi_k \mu_k(Z) \\ \text{s.t.} & \\ \lambda_0 &\leq \mu_k(Z) \quad \forall \tau \in \{1,2\}, \omega \in \Psi \\ x &\in Z(x), \lambda_0, \varphi_\tau, \vartheta \in [0,1] \end{aligned}$$

جایی که $Z(x)$ نشان دهنده ناحیه شدنی بسیاری از محدودیت‌های مدل قطعی معادل است. همچنین φ_k و ϑ به ترتیب نشان دهنده اهمیت تابع هدف K امین و ضریب کمبود هستند ($\sum_k \varphi_k = 1; \varphi_k > 0$). همچنین ارزش بهینه متغیر $\lambda_0 = \min_k \{\mu_k(x)\}$ درجه رضایت توابع هدف را کمینه می‌کند. تابع تجمعی نرابی هسینی در واقع به نظر می‌رسد مقداری توافقی بین اپراتور کوچک و مجموع وزنی اپراتور بر اساس ارزش ϑ است. به عبارت دیگر تصمیم گیرنده می‌تواند تعادل و نامتعادل بودن حل ناموجه به وسیله تغییر دادن دستی مقدار پارامترهای φ_k و ϑ بر اساس اولویت‌های آنها بدست آورد. [Wang and Shu, 2007].
مرحله ۸: تعیین کردن مقدار φ_k و ϑ و حل کردن مدل تک هدفه مربوطه. اگر تصمیم گیرنده با جواب فعلی راضی شده باشد توقف، در غیر این صورت، ارائه دادن راه حل دیگری به وسیله تغییر دادن مقدار ϑ (و اگر ضرورت داشت با تغییر دادن مقدار φ_k)

۵. تنظیم پارامترهای الگوریتم‌های فراابتکاری

SA و ICA

کارایی یک الگوریتم به شدت به پارامترهای آن وابسته است به گونه‌ای که پارامترهای مختلف ممکن است جواب‌های کاملاً متفاوتی با کیفیت‌های متفاوت تولید کنند. بنابراین اگر پارامترها

مکان یابی هاب چند محصوله در شبکه حمل و نقل کالای ایران با در نظر گرفتن روش های تامین مالی و رویکرد زیست محیطی

۶. نتایج حل مدل

های فراابتکاری ارائه شده با افزایش سایز مساله افزایش می یابد اما در سایزهای کوچک به صورت نسبی افزایش می یابد. این نتایج نشان می دهد که رویکردهای هر دو الگوریتم فرا ابتکاری^۹ می تواند جواب های نزدیک به بهینه در زمان معقول پیدا کند در حالی که الگوریتم رقابت استعماری در تمام مساله های انجام شده بهتر از الگوریتم شبیه سازی تبرید است. شکل ۱ میانگین درصد اختلاف های نسبی دو الگوریتم را با توجه به نرم افزار گمز^{۱۰} نشان می دهد که عملکرد الگوریتم رقابت استعماری بهتر می باشد. شکل ۲ میانگین درصد اختلاف نسبی الگوریتم شبیه سازی تبرید در مقایسه با الگوریتم رقابت استعماری را به تصویر می کشد. از طرف دیگر شکل ۳ زمان CPU الگوریتم های شبیه سازی تبرید و رقابت استعماری را نشان می دهد که در آن زمان CPU الگوریتم رقابت استعماری کمتر است.

به منظور این که دریابیم که آیا تفاوت معناداری بین زمان های اجرای الگوریتم های رقابت استعماری و شبیه سازی تبرید وجود دارد از آزمون تی تست جفت نمونه ای استفاده شده است. D_i برابر با تفاوت بین زمان های اجرای دو الگوریتم برای هر مساله آزمایشی می باشد. بدین منظور داریم:

$$t = \frac{\sqrt{n} \times \bar{D}}{S_D} \quad \bar{D} = \frac{\sum \bar{D}}{n} \quad S_D = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{n - 1}}$$

آزمون تی تست جفت برای ۳۰ مساله آزمایشی در نرم افزار SPSS اجرا شد. جزئیات آماری این آزمون در جدول ۴ آورده شده است. این آزمون نشان می دهد که تفاوت معناداری بین زمان های اجرای الگوریتم های رقابت استعماری و شبیه سازی تبرید وجود ندارد.

برای حل این مدل ابتدا با رویکرد ترابی هسینی مدل را تبدیل به یک هدف کرده و سپس با نرم افزار GAMS و الگوریتم های فراابتکاری SA و ICA بر اساس پارامترهای تنظیم شده مدل حل می شود. جواب های حاصل از SA و ICA با جواب های بهینه به دست آمده از نرم افزار GAMS برای مسئله های آزمایشی تا ۹ گره مقایسه می شوند. از این رو برای مسئله های آزمایشی بزرگتر مقایسه میان SA و ICA فقط گزارش داده می شوند. در نتیجه برای مسئله های کوچک، فاصله ای میان الگوریتم های SA و ICA با GAMS از طریق درصد اندازه نسبی فاصله اندازه گیری می شود که به صورت $[100 \times (G_{GAMS} - G_{Meta}) / G_{Meta}]$ محاسبه می شود. برای مسئله های بزرگ نیز به همین ترتیب یک معیار اختلاف بین الگوریتم های SA و ICA به صورت $[100 \times (Q_{ICA} - Q_{SA}) / Q_{SA}]$ ایجاد می شود که در آن G_{ICA} و G_{SA} به ترتیب مقدار تابع هدف حاصل از الگوریتم های ICA و SA هستند. در مسئله های مورد نظر بر اساس جدول ۲ و ۳، ICA بیشتر اوقات بهتر از SA عمل می کند.

درصد نسبی اختلاف^۶ میانگین پنج تکرار هر مساله خاص بوده است و به صورت میانگین درصد اختلاف نسبی^۸ ثبت شده است. میانگین درصد اختلاف های نسبی به وسیله حل کردن مساله های نمونه با اجرای الگوریتم های فرا ابتکاری شبیه سازی تبرید و رقابت استعماری بدست آمده است. میانگین زمان های محاسباتی مربوط به آن در جدول ۲ و ۳ که به ترتیب برای مسایل با سایز کوچک و سایز بزرگ است محاسبه شده است. زمان های محاسباتی مورد نیاز دو الگوریتم فراابتکاری استفاده شده در ستون آخر جدول ۲ و ۳ آمده است. زمان محاسبات الگوریتم

اسماعیل چراغی، جعفر حیدری، یاسر رحیمی، جعفر رزمی

جدول ۱. پارامترهای سطح پاسخ

Algorithm	Parameters	Settings	Parameters	Settings
SA	T_0	13	Mutation No.	8
	α	0.93	NFC	40000
ICA	P_R	0.12	P_A	0.54
	$N\text{-imp}$	5	P_C	0.6
	ζ	0.195	β	1.8

جدول ۲. میانگین درصد فاصله های نسبی و زمان CPU برای مساله های ساین کوچک

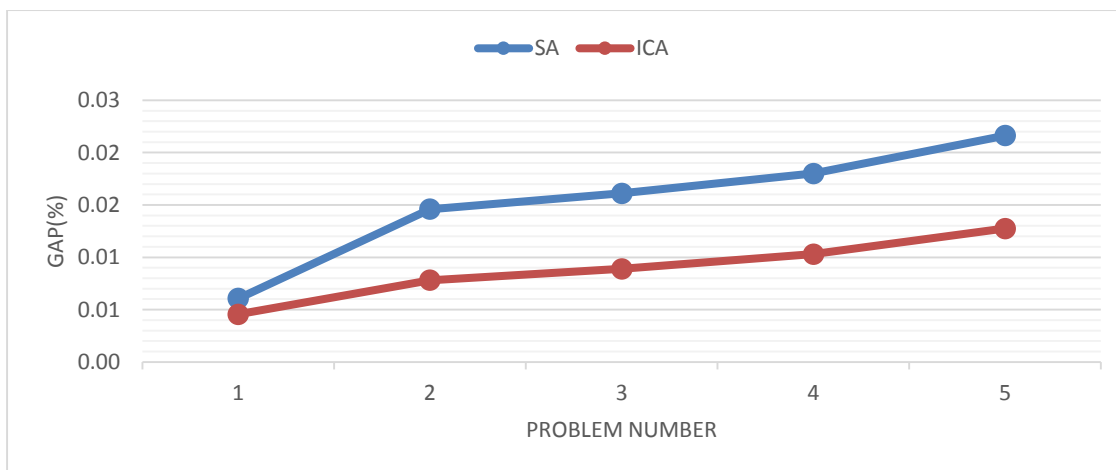
Data set	I	P	ICA							SA					Time	
			Replications					Gap	Time	Replications						Gap
			1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
1	9	2	0.35	0.35	0.87	0.35	0.35	0.45	102	1.04	0.43	0.82	0.67	0.35	0.62	304
2	3	3	1.97	0.83	0.03	0.02	1.05	0.78	105	0.34	4.64	0.99	1.19	1.05	1.46	309
3	4	4	0.26	0.35	1.43	1.30	1.11	0.89	108	0.82	1.90	0.25	4.94	1.11	1.61	312
4	5	5	2.05	1.35	0.42	0.96	0.36	1.3	112	1.67	2.04	0.59	2.18	2.53	1.80	319
5	6	1	0.97	1.17	3.01	0.40	1.27	166		4.03	3.01	2.42	0.66	0.69	2.16	324

جدول ۳. میانگین درصد فاصله های نسبی و زمان CPU برای مساله های ساین بزرگ

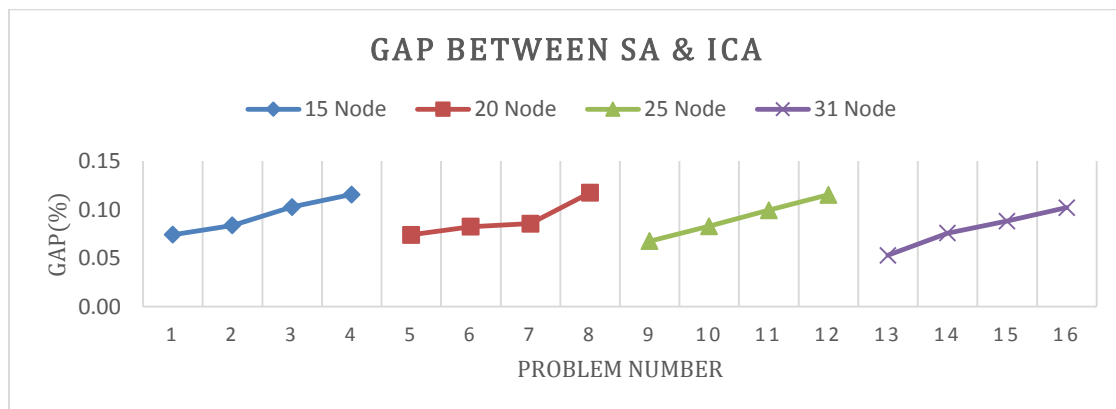
Data set	I	P	SA		ICA					Gap	Time ICA
			Time SA	Replications							
				1	2	3	4	5			
6	15	2	491	6.26	5.9	9.94	7.32	7.68	7.42	172	
7		5	552	3.8	8.79	18.56	7.08	11.25	8.38	169	
8		7	592	17.25	17	1.38	10.31	8.21	10.28	177	
9		10	660	10.09	14.23	10.14	11.45	11.91	11.57	206	
10	20	3	683	7.61	8.48	10.64	4.83	5.42	7.4	205	
11		7	742	13.17	9.29	3.74	10.09	4.92	8.24	226	

مکان یابی هاب چند محصوله در شبکه حمل و نقل کالای ایران با در نظر گرفتن روش های تامین مالی و رویکرد زیست محیطی

12	11	822	11.49	12.2	4.46	7.87	6.81	8.57	268
13	15	981	14.16	8.28	12.89	11.15	12.11	11.74	299
14	25	4	835	10.81	2.69	3.99	7.58	8.77	256
15	8	911	10.74	3.47	11.27	8.36	7.64	8.3	277
16	12	990	5.12	11.94	7.66	12.81	12.19	9.94	316
17	18	1219	7	12.46	15.45	10.27	12.48	11.53	371
18	31	3	1003	6.11	3.18	6.79	5.32	5.06	318
19	9	1124	9.11	15.99	4.21	1.42	7.2	7.59	351
20	14	1265	12.23	4.34	10.64	8.98	7.94	8.83	395
21	20	1506	7.12	11.59	11.36	10	10.98	10.21	469

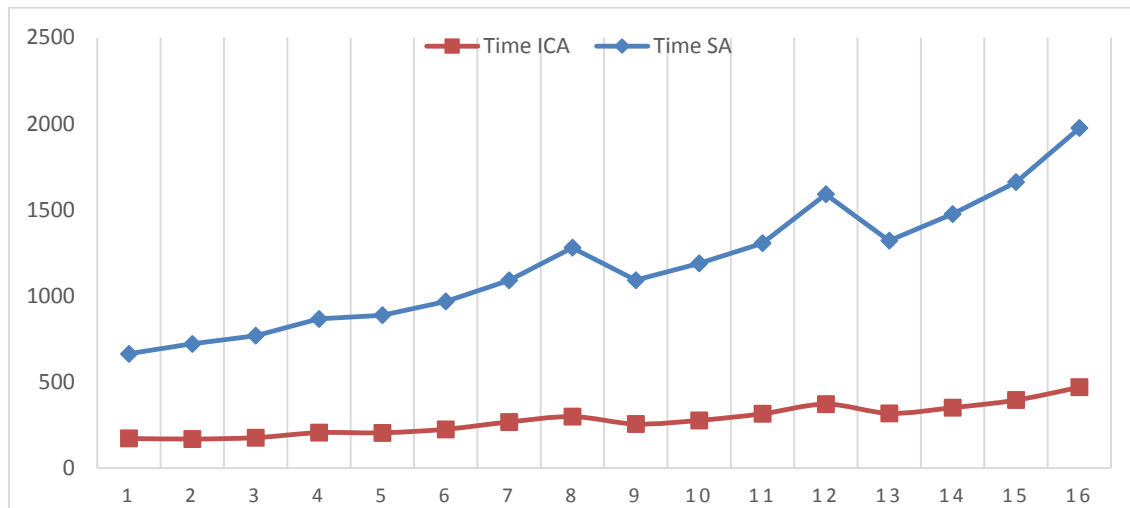


شکل ۱. فاصله الگوریتم های ICA و SA با استفاده از نرم افزار GAMS



شکل ۲. فاصله الگوریتم رقابت استعماری در مقایسه با الگوریتم شبیه سازی تبرید

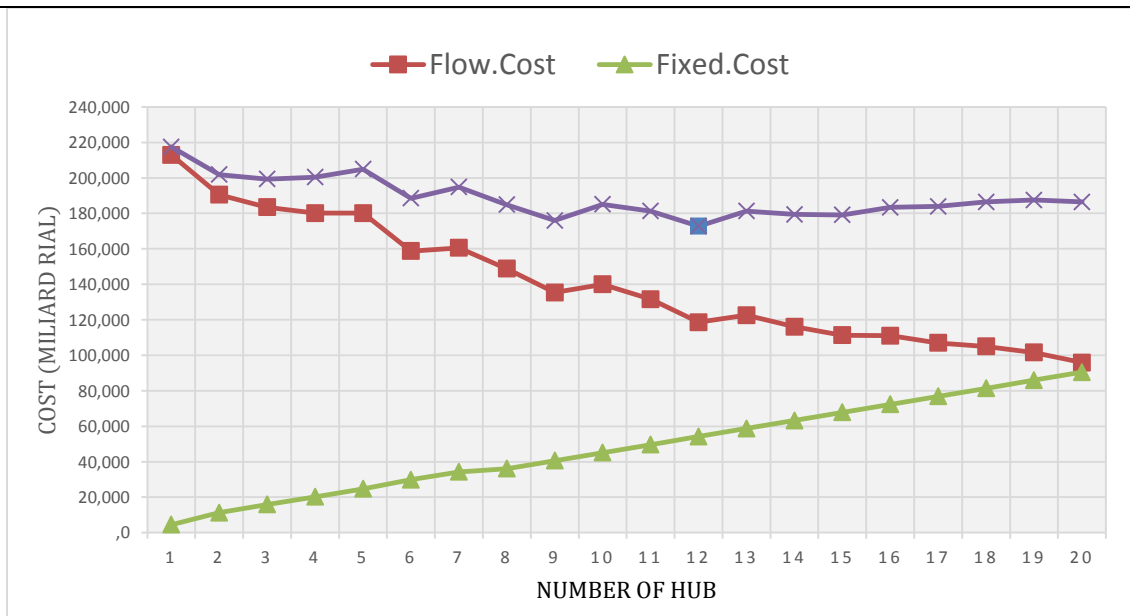
اسماعیل چراغی، جعفر حیدری، یاسر رحیمی، جعفر رزمی



شکل ۳. زمان CPU الگوریتم‌های رقابت استعماری و شبیه سازی تیرید

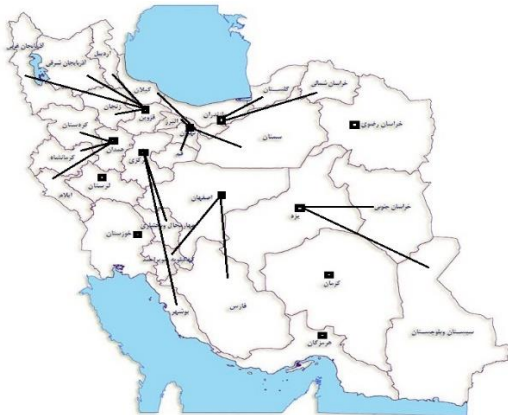
جدول ۴. جزئیات آماری آزمون تی تست جفت نمونه ای

		Paired Differences							
		95% Confidence Interval of the Difference							
Metric	Pair	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper	t	df	Sig. (2-tailed)
CPU Time	ICA-SA	153.04	91.34	19.93	111.46	194.62	7.67	20	.000

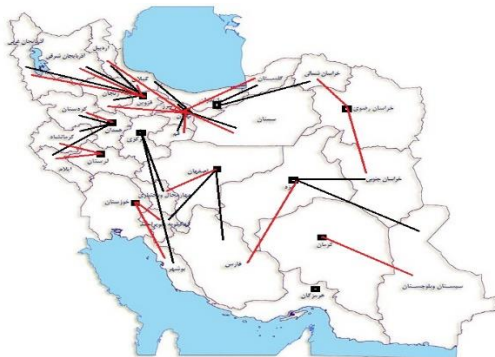


شکل ۴. مقایسه هزینه های سالانه حمل و نقل، احداث هاب و مجموع آنها به ازای احداث تعداد مختلف هاب

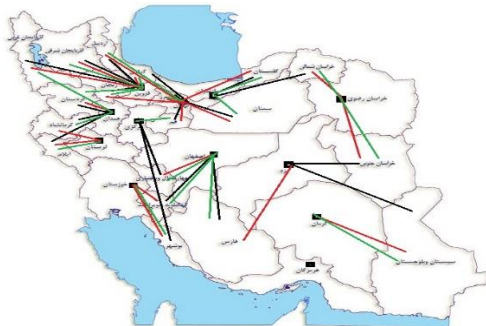
مکان یابی هاب چند محصوله در شبکه حمل و نقل کالای ایران با در نظر گرفتن روش های تامین مالی و رویکرد زیست محیطی



شکل ۶. موقعیت مراکز لجستیکی کشور برای حالت ۱۲ هاب (محصول اول)



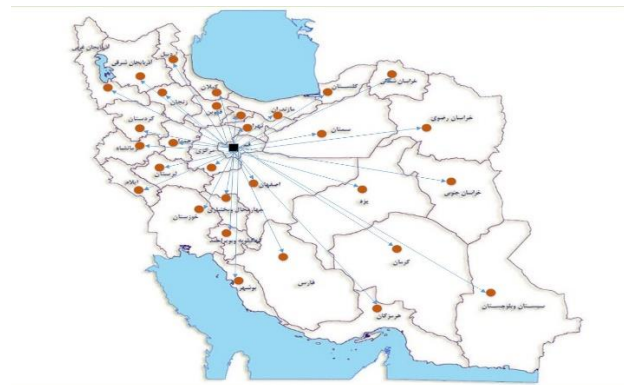
شکل ۷. موقعیت مراکز برای حالت ۱۲ هاب (محصول اول و دوم)



شکل ۸. موقعیت مراکز لجستیکی کشور برای حالت ۱۲ هاب (سه نوع محصول)

همان گونه که در شکل ۴ مشاهده می شود با افزایش تعداد هاب ها، هزینه های سالیانه حمل و نقل کاهش می یابد ولی در طرف مقابل، هزینه های سالیانه احداث هاب افزایش می یابد. دو روند متضاد موجود برای هزینه های حمل و نقل و احداث هاب موجب می شود شکل منحنی مجموع هزینه های سالیانه حالت سهمی وار داشته باشد که به ازای تعداد ۱۲ هاب دارای کمترین مقدار خود می باشد.

مدل ارائه شده در این مقاله با استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری برای تعداد هاب ها (از ۱ هاب تا ۲۰ هاب) برای ۳۱ استان کشور حل شده است. در ادامه نتایج حل برای دو مساله با ۱ هاب و ۱۲ هاب به صورت شماتیک در شکل های زیر به ترتیب ارائه شده است. در شکل ۵ استان قم به عنوان تنها هاب کشور انتخاب شده است و تمام استان های دیگر (گره های غیر هاب) به آن تخصیص داده شده است. در شکل های ۶ تا شکل ۸ نیز ۱۲ استان به عنوان هاب انتخاب شده اند که بقیه استان ها به این هاب ها تخصیص یافته اند. در این شکل ها کمان های سیاه، قرمز و سبز به ترتیب برای گروه های محصول اول، دوم و سوم نشان داده شده اند.



شکل ۵. موقعیت مراکز لجستیکی کشور برای حالت ۱ هاب

۷. تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی

برابر مقدار اولیه، میزان هزینه بین هاب ها و انتشار آلودگی یا گازهای گلخانه‌ای با افزایش مواجه شده است.

۷-۲ تحلیل حساسیت نسبت به پارامترهای کلیدی مدل

تحلیل حساسیت نسبت به پارامترهای کلیدی مدل برای مساله ای با فرض ۹ گره و ۵ هاب و با در نظر گرفتن محدودیت بودجه ای برای هزینه های ثابت یکنواخت شده ایجاد هاب می باشد.

تغییر در مقادیر توابع هدف اول و دوم به ازای تغییر در میزان جریان بین گره ها در شکل ۹ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود با تغییر جریان بین گره‌ها در بازه ی ۰,۶ تا ۱,۶ برابر مقدار اولیه، میزان هزینه بین هاب ها و انتشار آلودگی یا گازهای گلخانه‌ای با افزایش مواجه شده است.

با تغییر مقدار بودجه برای هزینه های ثابت یکنواخت شده ایجاد هاب، جریان بین گره غیر هاب به هاب و هزینه جریان بین هاب ها تغییر خواهد نمود. بنابراین مقدار تابع هدف دوم که در حالت بدون محدودیت بودجه و با ۹ گره و ۵ هاب برابر ۳۶,۳۲۹ میلیارد ریال است، با در نظر گرفتن محدودیت بودجه ای و تغییرات در بودجه، مقدار تابع هدف در بازه ی ۳۶ تا ۴۸ هزار میلیارد ریال تغییر می نماید. این تغییرات در شکل ۱۰ نشان داده شده است (چراغی، حیدری و رزمی، ۱۳۹۳).

اثر تغییر تعداد هاب ها بر تابع هدف در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود با افزایش تعداد هاب ها مقدار تابع هدف اول کاهش می یابد، زیرا با افزایش تعداد هاب ها، مقدار زمان انتظار در هاب ها کاهش و میزان آلودگی کاهش خواهد یافت. اما تابع هدف دوم با افزایش تعداد هاب افزایش پیدا خواهد کرد.

شکل ۱۲ اثر تغییر میانگین نرخ سرویس هاب ها بر تابع هدف اول را نشان می دهد. با افزایش مقدار نرخ سرویس (افزایش خدمت دهنده ها C) مقدار تابع هدف اول کاهش پیدا خواهد کرد زیرا زمانی که سرویس دهنده ها افزایش پیدا می کنند، مقدار زمان انتظار در هاب ها و مقدار آلودگی کاهش می یابد.

در این قسمت با تغییر پارامترهای تاثیر گذار بر مدل مشاهده می گردد که نتایج چگونه تغییر خواهند کرد. برای انجام آنالیز حساسیت، پارامترهایی که برای تحلیل حساسیت مهم بر شمرده می شوند شامل جریان حمل و نقل، بودجه، تعداد هاب ها و میانگین نرخ سرویس انتخاب می شوند. در تحلیل حساسیت به غیر از پارامتر مورد بررسی بقیه پارامترها ثابت در نظر گرفته می شوند. برای تحلیل حساسیت مسأله ای با ۹ گره و ۵ هاب در نظر گرفته شده است.

۷-۱ تحلیل حساسیت نسبت به پارامترهای روش TH

همانطور که در جدول ۵ دیده می شود، با تغییر مقادیر θ ارزش هر دو تابع هدف تغییر می کند. در نتیجه، با توجه به هر یک از توابع هدف درجات رضایت مندی نیز متقابلاً تغییر می کنند. این امر نشان می دهد که تصمیم گیرنده به راحتی می تواند مقدار θ را تنظیم کند تا میزان رضایت مندی هر یک از توابع هدف را به حداکثر برساند. با توجه به جدول ۵ می توان متوجه شد که با افزایش مقدار θ برای هر تابع هدف، درجه رضایت مندی همه توابع هدف نیز افزایش یافته است. این موضوع نشان می دهد که تصمیم گیرنده می تواند مقدار θ را بر اساس اولویت های توابع هدف تعیین کند تا مناسب ترین راه حل را تحت شرایط فعلی تصمیم حاصل کند. به علاوه این بدان معنی است که با افزایش مقدار θ مربوط به هر تابع هدف، تصمیم گیرنده مقدار بهتری برای تابع هدف بدست می آورد.

۷-۲ تحلیل حساسیت نسبت به پارامترهای کلیدی مدل

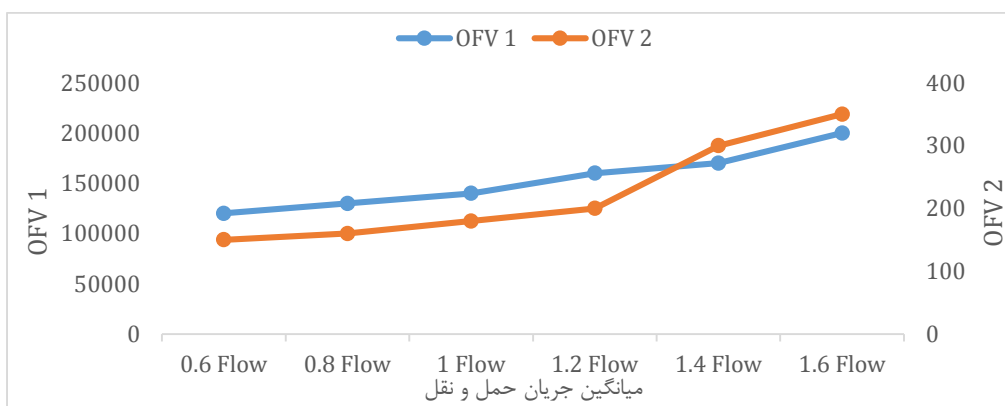
تحلیل حساسیت نسبت به پارامترهای کلیدی مدل برای مساله ای با فرض ۹ گره و ۵ هاب و با در نظر گرفتن محدودیت بودجه ای برای هزینه های ثابت یکنواخت شده ایجاد هاب می باشد.

تغییر در مقادیر توابع هدف اول و دوم به ازای تغییر در میزان جریان بین گره ها در شکل ۹ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود با تغییر جریان بین گره‌ها در بازه ی ۰,۶ تا ۱,۶

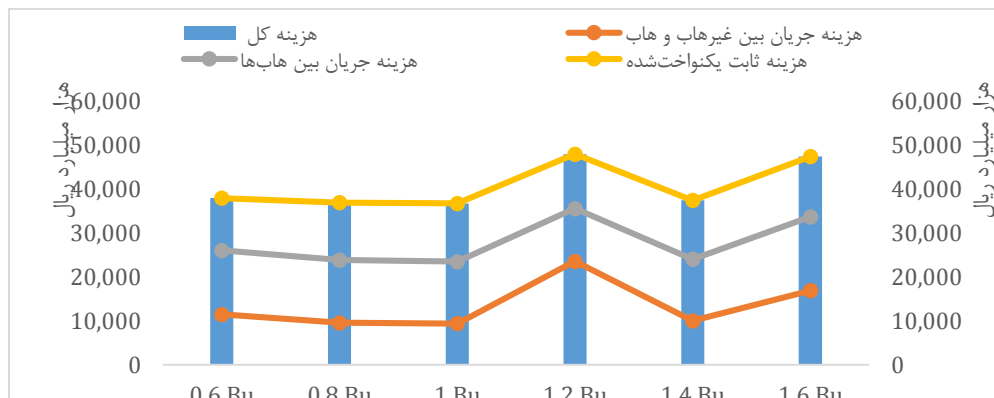
مکان یابی هاب چند محصوله در شبکه حمل و نقل کالای ایران با در نظر گرفتن روش های تامین مالی و رویکرد زیست محیطی

جدول ۵. خلاصه نتایج تحلیل حساسیت روی پارامترهای روش TH

Problem No.	ϑ	φ	Z_2	$\mu_2(Z)$	Z_1	$\mu_1(Z)$
1	0.6	0.3,0.7	37456.341	0.900	140.51	0.986
	0.6	0.5,0.5	39689.456	0.932	148.11	0.923
	0.6	0.7,0.3	43356.454	0.973	150.39	0.900
	0.4	0.3,0.7	48867.490	0.865	138.42	0.991
	0.4	0.5,0.5	52456.650	0.948	146.21	0.912
	0.4	0.7,0.3	60046.546	0.985	159.89	0.856
2	0.6	0.3,0.7	40456.456	0.899	386.45	0.976
	0.6	0.5,0.5	43456.768	0.947	394.37	0.909
	0.6	0.7,0.3	48876.567	0.978	412.58	0.865
	0.4	0.3,0.7	55345.566	0.867	369.42	0.978
	0.4	0.5,0.5	62345.456	0.945	382.88	0.913
	0.4	0.7,0.3	68678.678	0.987	408.23	0.889

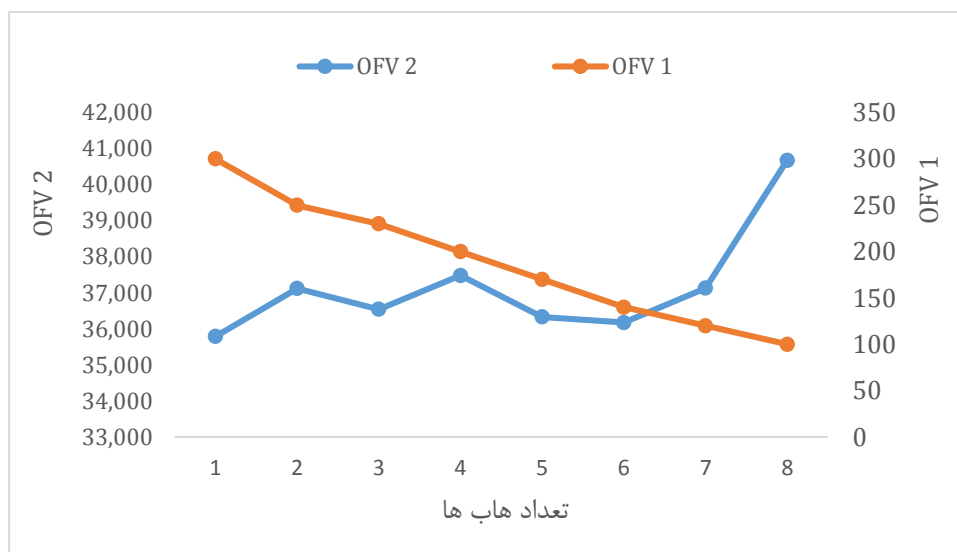


شکل ۹. تحلیل حساسیت روی مقادیر جریان حمل و نقل

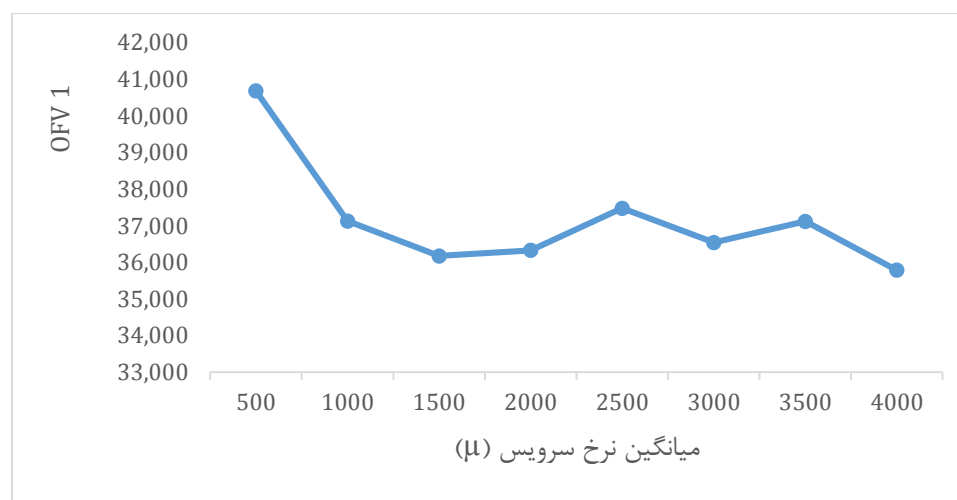


شکل ۱۰. اثر تغییر مقادیر بودجه روی هزینه های تابع هدف دوم

اسماعیل چراغی، جعفر حیدری، یاسر رحیمی، جعفر رزمی



شکل ۱۱. اثر تغییر تعداد هاب ها روی توابع هدف



شکل ۱۲. اثر تغییر میانگین نرخ سرویس هاب ها روی تابع هدف اول

محدودیت بودجه در احداث هاب‌ها ارائه شده است. مدل ارایه شده کاملاً کاربردی بوده و بر روی داده‌های واقعی حمل و نقل کالا در ایران پیاده‌سازی شده است. نتایج نشان داده است که راه‌اندازی ۱۲ هاب حمل و نقلی ترکیبی (جاده ای - ریلی) کالا می‌تواند نسبت به اهداف مدل ارایه شده جواب بهینه حاصل نماید. همچنین مدل ارایه شده می‌تواند در مورد انتخاب بهترین روش تامین مالی (از بین مجموعه‌ای از روش‌های موجود) برای تاسیس هاب‌ها نیز تصمیم‌گیری نماید. نهایتاً با توجه به مقیاس

۸. نتیجه گیری

در این مقاله، یک مدل جدید برای مکانیابی هاب میانه چند محصوله دو هدفه ارایه و با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری حل شد. هدف اولیه مدل کاهش هزینه‌های حمل و نقل در شبکه حمل و نقلی مورد بررسی بوده است و به عنوان دومین هدف حجم انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز مورد توجه قرار گرفته است. مدل ارایه شده با در نظر گرفتن روشهای تامین مالی ایجاد هاب و

مکان یابی هاب چند محصوله در شبکه حمل و نقل کالای ایران با در نظر گرفتن روش های تامین مالی و رویکرد زیست محیطی

مدل سازی مساله مکان یابی هاب چند محصوله با در نظر گرفتن روش های تامین مالی، چشم انداز مدیریت صنعتی، شماره ۱۶، صفحات ۵۵-۷۴

- Alumur, S., Kara, B. and Karasan O. E. (2009) "The design of single allocation incomplete hub networks", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 43, No. 10, pp. 936-951.

- Aykin T. (1994) "Lagrangean relaxation based approaches to capacitated hub-and-spoke network design problem", *European Journal of Operational Research* Vol. 79, No. 3, pp. 501-523.

- Aykin, T. (1995a) "Networking policies for hub-and-spoke systems with application to the air transportation system", *Transportation Science*, Vol. 29, No. 3, pp. 201-221.

- Aykin, T. (1995b) "The hub location and routing problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 83, pp.200-219.

- Camargo, R. S., Miranda, G. and Ferreira, R.. (2011) "A hybrid Outer-Approximation/Benders Decomposition algorithm for the single allocation hub location problem under congestion". *Operations Research Letters*, Vol. 39, pp. 329-337.

- Campbell, J. F. (1991) "Hub location problems and the p-hub median problem", Center for Business and Industrial Studies, University of Missouri – St. Louis, St. Louis, MO.

- Campbell, J. F. (1992) "Location and allocation for distribution systems with transshipments and transportation economies of scale", *Annals of Operations Research*, Vol. 40, pp. 77-99.

- Campbell, J. F. (1994) "A survey of network hub location", *Studies in Locational Analysis*, Vol. 6, pp. 31-49.

- Campbell, J. F., Ernst A. T. and Krishnamoorthy M. (2002) "Hub location problems", Drezner Z., Hamacher H., eds. "Facility Location: Applications and Theory (Springer, Berlin)", pp. 373-407.

بزرگ شبکه حمل و نقل کالا در کشور، برای حل مدل پیشنهادی دو الگوریتم فراابتکاری SA و ICA پیشنهاد شد که قابلیت دستیابی به جواب های نزدیک بهینه در مدل مورد بررسی را دارند. عملکرد الگوریتم های پیشنهادی در مقایسه با راه حل های بهینه به دست آمده توسط نرم افزار GAMS در مسایل اندازه کوچک مورد ارزیابی و تایید قرار گرفت. نتایج محاسباتی نشان می دهد که عملکرد الگوریتم ICA بهتر از SA است و می تواند به جواب های نسبتا بهتری برای طراحی شبکه حمل و نقل کالا در مساله مورد بررسی دست یابد. با توجه به ادبیات موضوع می توان محدودیت ظرفیت برای مسیر و وارد کردن مسئله قابلیت اطمینان^{۱۱} در مسائل مکان یابی هاب میانه و در نظر گرفتن موضوع حوادث^{۱۲} و اختلال^{۱۳} در مکان یابی هاب با پارامترهای فازی و همچنین استفاده از رویکرد های بهینه سازی استوار، محدودیت شانسی و مدل های احتمالی برای به واقعیت نزدیک شدن مدل را جهت توسعه مدل جاری پیشنهاد داد.

۹. سپاسگزاری

از حمایت مالی دانشگاه تهران در قالب طرح پژوهشی شماره ۲۹۹۱۷/۰۱/۰۱ قدردانی می گردد.

۱۰. پی نوشتها

- 1- Hub Location Problem (HLP)
- 2- Tabu Search Algorithm
- 3- Interactive and posteriori methods
- 4- Positive Ideal Solution (PIS)
- 5- Negative Ideal Solution (NIS)
- 6- Low Level
- 7- Gap
- 8- Average Percentage of Relative Gap
- 9- Meta-Heuristic Algorithms
- 10- GAMS Software
- 11- Reliability
- 12- Disaster
- 13- Disruption

۱۱. مراجع

- چراغی، اسماعیل، حیدری، جعفر و رزمی، جعفر. (۱۳۹۳)

12, No. 3, pp. 450–459.

-Hwang, C. L. and Masud, A. (1979) “Multiple objective decision making. Methods and applications: A state of the art survey”, Lecture notes in economics and mathematical systems, Vol. 164, Berlin: Springer-Verlag.

-Karimi, H. and Setak, M. (2014) “Proprietor and customer costs in the incomplete hub location-routing network topology”, Applied Mathematical Modelling, Vol. 38, No. 3, pp. 1011–1023.

-Khosravi, Sh, Akbari Jokar, M. R. (2014) “Hub location problem considering an elastic demand”, CIE44 and IMSS'14 Proceedings, 14-16, Istanbul / Turkey, pp. 581-588.

-Klincewicz, J. G. (1991) “Heuristics for the p-hub location problem”, European Journal of Operational Research, Vol. 53, pp. 25–37.

-Klincewicz, J. G. (1992) “Avoiding local optima in the p-hub location problem using Tabu search and grasp”, Annals of Operational Research, Vol.40, pp. 283–302.

-Klincewicz, J. G. (1998) “Hub location in backbone tributary network design: A review”, Location Science, Vol. 6, pp. 307–335.

-Lai, Y. J. and Hwang, C. L. (1992) “A new approach to some possibilistic linear programming problems”, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 49, pp. 121–133.

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

-Mohammadi, M., Jolai, J. and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013) “Solving a new stochastic multi-mode p-hub covering location problem considering risk by a novel multi-objective algorithm”, Applied Mathematical Modelling, Vol. 37, pp. 10053–10073.

-Mohammadi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Siadat., A. and Rahimi, Y. (2016) “A game-based meta-heuristic for a fuzzy bi-objective reliable hub location problem”, Engineering Applications

- Campbell, J. F. and O’Kelly, M. E. (2012) “Twenty-five years of hub location research”. Transportation Science, Vol. 46, No. 2, pp. 153–169.

- Correia, I, Nickel, S. and, Saldanha-da-Gama, F. (2010) “The capacitated single-allocation hub location problem revisited: A note on a classical formulation”, European Journal of Operational Research Vol. 207, pp. 92–96.

- Correia, I, Nickel, S. and Saldanha-da-Gama, F. (2011) “Hub and spoke network design with single-assignment, capacity decisions and balancing requirements”, Applied Mathematical Modelling, Vol. 35, pp. 4841–4851.

- Correia, I., Nickel, S. and Saldanha-da-Gama, F. (2010) “Single-assignment hub location problems with multiple capacity levels”. Transportation Research Part B, Vol. 44, pp. 1047–1066.

- Estrada-Romeua, M. and Robustéb, F. (2015) “Stopover and hub-and-spoke shipment strategies in less-than-truckload carriers”, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 76, pp. 108-121.

- Farahani, R.,Z., Hekmatfar, M., Arabani, A.,B. and Nikbakhsh, E. (2013) “Hub location problems: A review of models, classification, solution techniques, and applications”, Computers and Industrial Engineering, Vol. 64, pp. 1096–1109.

- Gelareh, S. and Nickel, S. (2011) “Hub location problems in transportation networks”, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 47, No. 6, pp. 1092-1111.

- Goldman, A.J. (1969) “Optimal location for centers in a network”, Transportation Science, Vol. 3, pp. 352–360.

- Guu, S. M. and Wu, Y. K. (1999) “Two phase approach for solving the fuzzy linear programming problems”. Fuzzy Sets and Systems, Vol. 107, pp. 191–195.

-Hakimi, S. L. (1964) “Optimum location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph”, Operations Research, Vol.

مکان یابی هاب چند محصوله در شبکه حمل و نقل کالای ایران با در نظر گرفتن روش های تامین مالی و رویکرد زیست محیطی

-Sadeghi, M., Jolai, F., Tavakkoli-Moghaddam, R. and Rahimi, Y. (2015) "A new stochastic approach for a reliable p-hub covering location problem", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 90, pp. 371–380.

-Sakawa, M., Yano, H. and Yumine, T. (1987) "An interactive fuzzy satisfying method for multi objective linear-programming problems and its application", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics SMC*, Vol. 17, pp. 654–661.

-Sedehzadeh, S. and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2014) "Using a fuzzy approach for a new bi-objective model for a multi-modal tree p-hub median location problem", *Int. J. Fuzzy Computation and Modelling*, Vol. 1, No. 2, pp. 194-211.

-Toh, R. S., Higgins, R. C. (1985) "The impact of hub and spoke network centralization and route monopoly on domestic airline profitability", *Transportation Journal*, Vol. 24, pp. 16–27.

-Torabi, S. A. and Hassini, E. (2008) "An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 159, No. 2, pp. 193-214.

-Wang, J. and Shu, Y. F. (2007) "A possibilistic decision model for new product supply chain design", *European Journal of Operational Research*, Vol. 177, pp. 1044–1061.

of *Artificial Intelligence*, Vol. 50, pp.1–19.

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

-O’Kelly, M. E. (1986a) "The location of interacting hub facilities", *Transportation Sci.* Vol. 20, No. 2, pp. 92–106.

-O’Kelly, M. E. (1986b) "Activity levels at hub facilities in interacting networks", *Geographical Anal.* Vol. 18, No. 4, pp. 343–356.

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

-O’Kelly M. E. (1992) "Hub facility location with fixed costs", *Papers in Regional Science*, Vol. 71, No. 3, pp. 293–306.

-O’Kelly, M. E. and Miller, H. (1994) "The hub network design problem: A review and synthesis", *Journal of Transport Geography*, Vol. 2, No. 1, pp. 31–40.

-Rahimi, Y., Tavakkoli-Moghaddam, R., Mohammadi, M. and Sadeghi, M. (2015) "Multi-objective hub network design under uncertainty considering congestion: An M/M/c/K queue system", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 40, pp.4179–4198.