International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2017)

December 2017, Volume 28, Number 4
Pp 663 - 681

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

A Two Phase Hybrid Heuristic Based On Clustering and Simulated Annealing for Two Echelon Location-Routing Problem

Abbas Jokar & Seyyed-Mahdi Hosseini-Motlagh *

Abbas Jokar, *PhD student of Industrial Engineering department, Iran University of Science and Technology*
Seyyed-Mahdi Hosseini-Motlagh, *Assistant Professor, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology*

Keywords

Two-Echelon- Location-Routing Problem; Simulation annealing; Clustering

ABSTRACT

The two-echelon location-routing problem is one of the practical problems in the transportation network, which includes two levels in their network. In this paper a two phase hybrid heuristic based on clustering for solving location-routing problem is proposed. In the first phase, initial solution is constructed and in the second phase the initial solution is improved. The initial solution is created based on clustering. In this paper Three clustering strategies are introduced which each of these strategies will produce a different initial solution. The second phase of heuristic method consists of two steps. In the first step, the initial solution is improved smartly and in the second step neighbor solutions are generated randomly. In the overall framework of the second phase, to escape from local optimum, simulation annealing is used. At the end of the second phase, the algorithm return to the first phase and clustering is done with different number and then runs the second phase.

To evaluate the quality of the proposed method, two data sets sample with 24 and 13 instances of literature are considered. The results of the implementation of the proposed method are compared with the results of a meta-heuristic method in the literature (GRASP) and lower bound of these data set samples. Comparison of the results shows the effectiveness of the proposed method.

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 4, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۴، جلـــد ۲۸، زمستان ۱۳۹۶

صفحـــه ۶۶۴- ۶۸۱

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

ارائه یک روش ابتکاری ترکیبی دوفازی مبتنی بر روش خوشه‌بندی و شبیه-سازی تبرید برای حل مساله مکان‌یابی – مسیریابی دوسطحی

عباس جوکار و سید مهدی حسینی مطلق *

کلمات کلیدی

مکان‌یابی مسیریابی – دوسطحی، شبیه سازی تبرید، خوشه بندی.

چکیده:

مساله مکان‌یابی – مسیریابی دوسطحی یکی از مسائل کاربردی در شبکه حمل و نقل می باشد کـه شـامل دو نوع وسائل نقلیه در دو سطح مجزا جهت سرویس دهی به مشتریان در شبکه می باشد. به طور معمـول تولید کنندگان محصولات در سطح اولیه قرار داشته که پس از تولید کالا، با استفاده از وسائل نقلیه حجیم مثل قطار، یا تریلرهای بزرگ، کالا را به انبار توزیع کنندگان در سطح ثانویه انتقال داده و کالا از طریق این سطوح و بوسیله وسائل نقلیه کوچکتر بین مشتریان توزیع مـی شـود. در ایـن مقالـه یـک روش ابتکـاری ترکیبی دوفازی بر مبنای خوشه بندی برای حل مساله مکان‌یابی – مسیریابی دو سطحی ارائه شده اسـت. در فاز اول ساخت جواب اولیه و در فاز دوم بهبود جواب اولیه انجام می شـود. در فـاز اول جـواب اولیـه بـر مبنای خوشه بندی مشتریان ایجاد می گردد. در این روش ابتکاری سه استراتژی خوشه بنـدی ارائـه شـده است که هر کدام از این استراتژی ها جواب اولیه متفاوتی ایجاد می کنند. فاز دوم ایـن روش ابتکـاری نیـز شامل دو مرحله می‌باشد. مرحله اول بهبود جواب اولیه به صورت هوشـمند اسـت در مرحلـه دوم ایـن فـاز جواب‌های همسایه ایجاد شده به صورت تصادفی تولید می‌شوند. در چارچوب کلـی فـاز دوم، بـرای فـرار از بهینه محلی از روش فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید استفاده شده است. در پایان فاز دوم، الگوریتم پیشنهادی به فاز اول برگشته و خوشه بندی مشتریان با تعداد خوشه های جدید انجام می شود. برای ارزیابی کیفیـت روش پیشنهادی، یک نمونه مثال مسـاله در حالـت دو سـطحی و دو نمونـه مثـال ۲۴ تـایی و ۱۳ تـایی از ادبیات در نظر گرفته شده است که نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی با نتـایج روش‌هـای فراابتکـاری موجود در ادبیات و همچنین حد پایین ارائه شده برای این مثال ها مقایسه گردید. مقایسـه نتـایج بدسـت آمده کارا بودن روش پیشنهادی را نشان می دهد.

۱. مقدمه

مساله مکان‌یابی- مسیر یـابی دوسـطحی نقـش مهمـی در شـبکه حمل و نقل به خصوص در لجستیک شهری ایفـاء مـی‌کنـد کـه دو علت در این امر موثر است.

تاریخ وصول: ۹۴/۰۳/۲۰

تاریخ تصویب: ۹۵/۰۱/۲۲

عباس جوکار ، دانشجوی دکترای مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

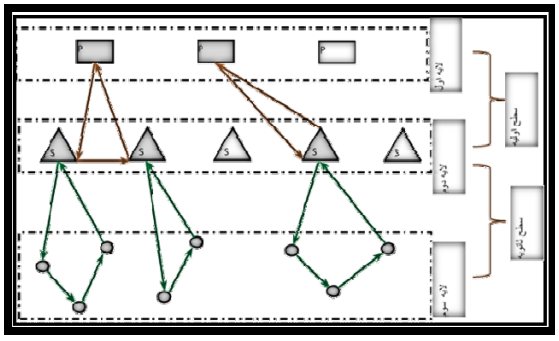
*نویسنده مسئول مقاله: **سید مهـدی حسـینی مطلـق**، اسـتادیار دانشـکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران **motlagh@iust.ac.ir**

اولاً وجود انبارهای میانی (نزدیک شهرها) سبب کـاهش چشـمگیر هزینه‌های ارسال نسبت به ارسال مستقیم از انبار مرکزی می‌شود. دوماً مسئولان شهری علاقه‌مند هستند که ترافیک درون شـهری را کاهش دهند و به همین سبب برای آنها مطلوب است که کـامیون-های کوچکتری در سطح شهر تردد نماینـد [۲],[۷],[۱]. نمـایی از مسأله مکان‌یابی–مسیریابی دوسطحی (با سه لایـه) را نشـان مـی-دهـد، کـه بـه ترتیـب در لایـه اول تسـهیلات اولیـه، در لایـه دوم تسهیلات ثانویه و لایه سوم مشـتریان نهـایی قـرار دارنـد و کـالا از سمت لایه اول به سمت مشتریان ارسال می‌شود. در این مسـاله در بین تسهیلات اولیه و ثانویه مساله مکان‌یابی انجام شـده و بـه طـور همزمان مساله مسیریابی برای سرویس‌دهی به مشتریان با اسـتفاده

از تسهیلات بازگشایی شده‌سطح ثانویه انجام می‌شود که خود این تسهیلات از طریق تسهیلات بازگشایی شده سطح اولیه کالا دریافت می‌کنند. همانطور که از شکل مشخص است در این مساله به طور همزمان دو مساله مکان‌یابی-مسیریابی انجام میشود.

در مساله مکان‌یابی-مسیریابی دوسطحی، دو نوع وسیله نقلیه وجود دارد. وسائل نقلیه مورد استفاده در سطح اولیه که وظیفه ارسال کالا از تسهیلات اولیه به تسهیلات ثانویه را دارند به طور معمول وسائل نقلیه حجیم و بزرگ هستند و وسائل نقلیه مورد استفاده بین تسهیلات ثانویه و مشتریان که معمولا وسائلی با حجم و در اندازه های متوسط می باشند. در این مقاله فرض بر این است که وسائل نقلیه در هر سطح همگن هستند[۴].

در این مقاله یک روش ابتکاری ترکیبی دوفازی بر مبنای خوشه بندی برای حل مساله مکان‌یابی – مسیریابی دو سطحی ارائه شده است. در فاز اول الگوریتم پیشنهادی جواب اولیه بر مبنای تکنیک خوشه بندی مشتریان ایجاد شده و در فاز دوم، بهبود جواب اولیه انجام می شود. در این روش ابتکاری سه استراتژی خوشه بندی ارائه شده است که هر کدام از این استراتژی ها جواب اولیه متفاوتی ایجاد می کنند. فاز دوم روش ابتکاری نیز از دو مرحله تشکیل شده است که در مرحله اول تولید جواب همسایگی به صورت هوشمند انجام می گیرد و در مرحله دوم این فاز جواب‌های همسایه به صورت تصادفی تولید می‌شوند. در چارچوب کلی فاز دوم، برای فرار از بهینه محلی از روش فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید استفاده شده است.



شکل ۱. نمایی از مساله دو سطحی

در ادامه مقاله در بخش دوم ابتدا به مرور ادبیات مساله مکان‌یابی-مسیریابی دوسطحی پرداخته شده است، سپس در بخش سوم با معرفی علائم و اختصارات لازم مدل ریاضی مساله ارائه می‌شود و در بخش چهارم الگوریتم ابتکاری خود معرفی شده است. در بخش بعدی به نتایج حاصل از حل مدل در ابعاد گوناگونی از مسائل نمونه آن پرداخته شده است. سپس در بخش آخر به نتیجه‌گیری و ارائه زمینه‌های تحقیقات آتی پرداخته می‌شود.

۲. مرور ادبیات

مسأله مکان‌یابی – مسیریابی دوسطحی بسیار شبیه مسائل مکان-یابی و مسیریابی وسیله نقلیه دوسطحی می‌باشد. اما پرسش اصلی این است که چگونه این دو سطح را به هم مرتبط ساخته بگونه‌ای که وابستگی آنها رعایت شود. مسأله مسیریابی دوسطحی نزدیکترین مساله در ادبیات به مساله این مقاله می‌باشد که حالت خاصی از مساله مسأله مکان‌یابی – مسیریابی دوسطحی است بطوریکه مکان تسهیلات از قبل مشخص شده و فقط مساله توزیع در هر سطح در نظر گرفته می‌شود [۹]. ادبیات در حوزه مسأله مکان‌یابی – مسیریابی دوسطحی بسیار کم است. اولین مقاله ای که در این حوزه کار شده است مربوط به ژاکوبسن و مادسن [۱۰] می باشد. در این مقاله فرض شده بود که مکان تسهیلات میانی می‌تواند در مکان هر کدام از مشتریان واقع شود. این مساله توسط سه روش ابتکاری سازنده روی یک مجموعه مثال واقعی حل شده است. گونزالس-فلیو [۱۱]مدل ریاضی مساله مکان‌یابی – مسیریابی n سطحی را ارائه نمودند. انگوین و همکاران [۱۲] با ترکیب روش فراابتکاری فرآیند جستجوی تعاملی تصادفی حریصانه[۱] (GRASP) با روش فرآیند یادگیری، کیفیت روش ترکیبی خود را روی دو نمونه مجموعه مثال ۲۴ و ۳۰ که توسط خودشان تولید شده بود، نشان دادند. در این مجموعه مثال‌ها فرض بر این است که یک تسهیل اولیه از قبل استقرار یافته است. استرله [۱۳] در پایان نامه خود فرض نموده است که تسهیلات اولیه با ظرفیت های متفاوتی در مدل وجود داشته و فرمول ریاضی عدد صحیح آنرا معرفی نمود. او همچنین سه نوع مجموعه مثال برای مساله خود تولید و با استفاده از روش فراابتکاری جستجوی ممنوع این مثال‌ها را حل نمود. بوشیا و همکارانش[۱۴] با استفاده از روش فراابتکاری جستجوی ممنوع و متفاوت از کار استرله همین مجموعه مثال های معرفی شده توسط استرله را حل نموده و کیفیت روش فراابتکاری خود را با استرله مقایسه نمودند. گویندن وهمکاران [۱۸] مساله را برای شبکه دو سطحی توزیع غذای فاسد شدنی در نظر گرفته و پنجره زمانی را به آن اضافه نمودند و برای حل مساله خود از دو روش فرابتکاری استفاده نمودند. دسته بندی مقالات در حوزه دو سطحی در چندین مقاله مروری انجام شده است که از جنبه های مختلف به مقالات این حوزه را مورد بررسی قرار داده اند. درکسل و اشنایدر [۱۵] مقالات ارائه شده از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴ را که در زمینه مکان یابی- مسیریابی ارائه شده است را دست بندی نمودند و در این دسته بندی مقالات حوزه دو و چند سطحی را از نظر نوع مدل و روش حل مورد بررسی قرار دادند. که بیشتر روی روش حل تاکید داشته اند. پرودهان و پرینز در مقاله مروری خود اشاره کرده اندکه در این حوزه از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ ۸ مقاله در این زمینه به چاپ رسیده است و روش های حل در این زمینه را مورد بررسی قرار داده اند.

مساله مکان‌یابی – مسیریابی دوسطحی در دسته مسائل NP-hard قرار میگیرد [۵]، [۶] بنابراین با افزایش اندازه مساله، روش های ابتکاری بهترین گزینه برای حل آن (در زمان معقول) می باشند.

کراینیک و همکاران (۲۰۱۰) یک روش ابتکاری مبتنی بر روش چند شروعه ارائه کرده اند. نویسندگان برای تولید جواب اولیه از خوشه بندی استفاده نموده اند. همچنین نشان داده اند که اگر مکان یابی بدرستی انجام شود سبب کاهش هزینه های کل سیستم می گردد. استرله[۱۳] برای حل مساله مکان یابی مسیریابی دو سطحی از روش جستجوی ممنوع استفاده کرده و هر سطح را به صورت جداگانه حل نموده اند. جین و همکاران [۱۶] یک مساله مکان یابی مسیریابی دو سطحی را در نظر گرفته و فرض کرده اند که تسهلات سطح اولیه بدون ظرفیت هستند. علاوه بر این با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک مساله را حل نموده اند. انگوین و همکاران (۲۰۱۲) با ترکیب روش جستجوی محلی تکراری و جستجوی ممنوع یک روش حل ابتکاری برای مساله ارائه کرده اند [۱۷]. آنها علاوه براین، مدلسازی جدیدی هم ارائه کرده اند. هملمایر و همکاران (۲۰۱۲) یک روش حل مبتنی بر روش جستجوی همسایگی تصادفی ارائه کرده و برای نشان دادن کیفیت روش ابتکاری، با مجموعه مثال های ادبیات در حوزه مسائل مسیریابی دوسطحی نیز مقایسه کرده اند [۱۸]. مارتینز و همکاران (۲۰۱۴) روش حل ابتکاری بر اساس جستجوی همسایگی برای مساله مکان یابی مسیریابی دو سطحی دو هدفه ارائه نموده اند. در مقاله مذکورهدف اول کاهش هزینه های مسیریابی و مکان یابی است و هدف دوم عبارت است از کاهش اختلاف بین طول مسیرهاست[۲۰]. گویندال و همکاران (۲۰۱۴) با ترکیب دو روش PSO و روش VNS یک روش ابتکاری جدیدی برای حل مساله مکان یابی مسیریابی دو سطحی با محدودیت پنجره زمانی نرم دو هدفه ارائه نمودند. دوهدف درنظر گرفته شده در این مقاله عبارتند از: کاهش هزینه های مسیریابی و مکان یابی و کاهش اثرات زیست محیطی حاصل از حمل و نقل[۲۱].

در این مقاله یک روش ابتکاری ترکیبی دوفازی تکراری مبتنی بر شبیه سازی تبرید ارائه شده است. در فاز اول جواب اولیه ایجاد می‌شود و در فاز دوم جواب اولیه ایجاد شده بهبود داده می‌شود. برای ایجاد جواب اولیه سه استراتژی مختلف مبتنی بر خوشه‌بندی پیشنهاد داده شده است. در فاز دوم برای فرار از بهینه محلی از روش فراابتکاری شبیه سازی تبرید استفاده شده است. پس از اتمام فاز دوم، روش ابتکاری مجدداً به فاز اول برگشته و با ایجاد جواب اولیه متفاوت، فاز بهبود اجرا می شود. برای بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، چند مجموعه از مثال های استاندارد ادبیات موضوع مورد استفاده قرار گرفت و نتایج محاسبات حاصل از پیاده سازی روش پیشنهادی عملکرد بسیار خوب این روش را نشان می-دهد.

۳. مدل ریاضی

گراف کامل، متقارن وزندار $G=(V,A,C)$ را در نظر بگیرید به طوری که مجموعه گره های این گراف $V=(0,1,...\mathrm{m},...,m+n)$ که شامل، $O=\{0\}$ مجموعه تسهیلات اولیه، $S=\{1,..,m\}$ مجموعه تسهیلات ثانویه و $T=\{m+1,...,m+n\}$ مجموعه مشتریان می باشند. به نحوی که $V_1=O\cup S$ و $V_2=T\cup S$. مجموعه کلیه یال های موجود در گراف شبکه $A=\{(i,j),i,j\in V\}$ که برای ساده سازی درک مدل، به دو قسمت مجزاء تقسیم بندی شده است که عبارتند از مجموعه $A_1=\{(i,j),i,j\in V_1\}$ شامل یالهای بدون جهت و اتصال دهنده مراکز تسهیلات اولیه و به تسهیلات ثانویه، و تسهیلات ثانویه به یکدیگر و مجموعه $A_2=\{(i,j),i,j\in V_2\}$ شامل یالهای بدون جهت و اتصال دهنده مراکز تسهیلات ثانویه و مشتریان و مشتریان به یکدیگر است. هر کمان (i,j) در مجموعه یالهای A هزینه ای برابر با C_{ij} خواهد داشت. دراین مساله فرض می شود که هر مشتری تنها قادر خواهد بود از یک تسهیل ثانویه کالا دریافت نماید. مدل ریاضی ارائه شده در این بخش بر اساس مدل ریاضی مرجع (۸) می باشد.

مجموعه های مساله عبارتند از:

O: تعداد تسهیلات اولیه در این مسأله برابر ۱ و با نماد صفر نشان داده شده است.

S : مجموعه تسهیلات ثانویه.

T : مجموعه تمام مشتریان.

K: مجموعه وسایل نقلیه مورد استفاده بین تسهیلات اولیه و ثانویه.

I: مجموعه وسایل نقلیه مورد استفاده بین تسهیلات ثانویه و مشتریان.

A_1: زیر مجموعه‌ای از تمام مسیرها بین تسهیلات اولیه و تسهیلات ثانویه.

A_2: زیر مجموعه‌ای از تمام مسیرها بین تسهیلات ثانویه و مشتریان.

پارامترهای مسئله عبارتند از:

F: هزینه ثابت استفاده از هریک از وسایل نقلیه سطح اولیه.

G: هزینه ثابت استفاده از هریک از وسایل نقلیه سطح ثانویه

O_s: هزینه ثابت راه اندازی هریک از تسهیلات ثانویه.

c_{ij}: هزینه سفر مابین گره i به گره j.

cw_s: ظرفیت هریک از تسهیلات ثانویه.

Q: ظرفیت هریک از وسایل نقلیه در سطح اولیه.

R: ظرفیت هریک از وسایل نقلیه در سطح ثانویه.

d_t: تقاضای مشتری t.

متغیرهای تصمیم مسئله عبارتند از:

X_{ij}^{k}: مساوی ۱ است اگر وسیله k مسیر بـین (i, j) را طـی کنـد. در غیر این صورت صفر.

Y_{ij}^{l}: مساوی ۱ است اگر وسیله l مسیر بین (i, j) را طی کنـد. در غیر این صورت صفر.

Z_s: مساوی ۱ است اگر تسهیلات ثانویه s بازگشایی شـود. در غیـر این صورت صفر.

u_{st}: مساوی ۱ است اگـر تسـهیل s بـه مشـتری t سـرویس‌دهـی نماید. در غیر این صورت صفر.

b_s^k: متغیری نامنفی که مقدار کالای تحویلی وسیله نقلیه k که بـه تسهیل s رسانده است.

مدل ریاضی مسئله در حالت قطعی به شکل زیر است:

$$Min = \sum_{s\in S} O_s Z_s + \sum_{s\in S}\sum_{k\in K} FX_{os}^{k} + \sum_{s\in S}\sum_{t\in T}\sum_{l\in L} GY_{st}^{l} + \sum_{ij\in A_1}\sum_{k\in K} C_{ij}X_{ij}^{k} + \sum_{ij\in A_2}\sum_{k\in K} C_{ij}Y_{ij}^{k} \quad (۱)$$

Subject to:

$$\sum_{i\in SUT}\sum_{l\in L} Y_{ti}^{l} \qquad \forall t \in T \quad (۲)$$

$$\sum_{j\in SUT} Y_{ji}^{l} = \sum_{j\in SUT} Y_{ij}^{l} \qquad \forall i \in SUT, l \in L \quad (۳)$$

$$\sum_{s\in S}\sum_{t\in T} Y_{st}^{l} \le 1 \qquad \forall l \in L \quad (۴)$$

$$\sum_{t\in T}\sum_{j\in TUS} d_t Y_{st}^{l} \le R \qquad \forall l \in L \quad (۵)$$

$$\sum_{i\in T}\sum_{j\in T} Y_{ij}^{l} \le |T| - 1 \qquad \forall l \in L, T' \in T, |T'| \ge 2 \quad (۶)$$

$$\sum_{i\in T} Y_{si}^{l} + \sum_{i\in SUT} Y_{it}^{l} \le 1 + u_{st} \qquad \forall s \in S, \mathrm{t} \in T, l \in L \quad (۷)$$

$$\sum_{s\in S} u_{st} = 1 \qquad \forall \mathrm{t} \in T \quad (۸)$$

$$\sum_{t\in T} d_t u_{st} \le W_s Z_s \qquad \forall s \in S \quad (۹)$$

$$\sum_{i\in SU\{0\}}\sum_{k\in K} X_{si}^{k} = Z_s \qquad \forall s \in S \quad (۱۰)$$

$$\sum_{j\in SU\{0\}} X_{ji}^{k} = \sum_{j\in SU\{0\}} X_{ij}^{k} \qquad \forall k \in K, i \in SU\{0\} \quad (۱۱)$$

$$\sum_{i\in S'}\sum_{j\in S'} X_{ij}^{k} \le |S'| - 1 \qquad \forall s \in S, S' \in S, |S'| \ge 2 \quad (۱۲)$$

$$\sum_{k\in K} b_s^k = \sum_{t\in T} d_t u_{st} \qquad \forall s \in S \quad (۱۳)$$

$$\sum_{s\in S} b_s^k \le Q \qquad \forall k \in K \quad (۱۴)$$

$$b_s^k \le Q \times \sum_{i\in SU\{0\}} X_{si}^{k} \qquad \forall s \in S, \mathrm{k} \in K \quad (۱۵)$$

$$X_{ij}^{k} \in \{0,1\} \qquad \forall (i,j) \in A_1, \mathrm{k} \in K \quad (۱۶)$$

$$Y_{ij}^{l} \in \{0,1\} \qquad \forall (i,j) \in A_2, \mathrm{l} \in L \quad (۱۷)$$

$$Z_s \in \{0,1\} \qquad \forall s \in S \quad (۱۸)$$

$$u_{st} \in \{0,1\} \qquad \forall s \in S, \mathrm{t} \in T \quad (۱۹)$$

$$b_s^k \ge 0 \qquad \forall s \in S, \mathrm{k} \in K \quad (۲۰)$$

محدودیت (۱) همان تابع هدف مسأله است که از ۴ قسمت تشکیل شده است که شامل به ترتیب موارد زیر است. هزینه بازگشایی هـر

تسهیل از بین تسهیلات ثانویه. هزینه ثابت استفاده از وسیله نقلیه k در سطح اولیه با هزینه ثابت F. هزینه استفاده از وسیله نقلیه l در سطح دوم با هزینه ثابت G. هزینه جابجایی (مسافرت) از نقطه i به نقطه j. محدودیت‌های (۲) تا (۹) مربوط به سطح اول مسأله (بین مشتریان و تسهیلات ثانویه) است.که به ترتیب عبارت‌اند از: (۲) : تضمین می‌کند که تقاضای هر مشتری برآورده می‌شود. (۳) : پیوستگی مسیر را رعایت می‌کند بطوریکه ابتدا و انتهای هر مسیر در یک تسهیل یکسان خواهد بود. (۴) : هر وسیله نقلیه حداکثر می‌تواند از یک تسهیل خارج یا وارد شود. (۵) : رعایت ظرفیت وسیله نقلیه را تضمین می‌کند. (۶) : محدودیت حذف تشکیل زیر تور[۲] است. (۷) : اگر یک وسیله نقلیه وجود داشته باشد مانند l که از تسهیلِ s خارج شده و به مشتری t سرویس رسانی کند نامساوی باید برقرار باشد. در این صورت $u_{st}=1$. (۸) : تضمین می‌کند که یک مشتری از بیش از یک تسهیل خدمات دریافت نکند. (۹) : این نامساوی دو نقش دارد. اگر تسهیلِ s بسته باشد هیچ مشتری به آن تخصیص داده نمی‌شود در غیر این صورت مجموع تقاضای مشتریان تخصیص‌یافته نباید بیشتر از ظرفیت تسهیل باشد. محدودیت‌های (۱۰) تا (۱۵) مربوط به سطح دوم مسأله (بین تسهیلات اولیه و تسهیلات بازشده در بین تسهیلات ثانویه) است.که به ترتیب عبارت‌اند از: (۱۰) : هر تسهیلِ بازشده فقط از طریق یک وسیله نقلیه k سرویس دریافت می‌کند. (۱۱) : پیوستگی مسیر را برای هر وسیله نقلیه k تضمین می‌کند. (۱۲) : محدودیت حذف زیر تور. (۱۳) : میزان کالای ارسالی به تسهیلِ s برابر مجموع تقاضای مشتریان تخصیص‌یافته به آن است. (۱۴) : رعایت محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه k. (۱۵) : اگر وسیله نقلیه k از تسهیلِ s سرویس نمی‌دهد باید کالای ارسالی به آن را برابر صفر قرار داد. محدودیت های (۱۶) تا (۲۰) متغییرهای تصمیم مساله هستند.

۴. الگوریتم ابتکاری پیشنهادی

از آنجا که مساله مکان‌یابی- مسیریابی در دسته مسائل NP-Hard قرار می‌گیرد بنابراین مساله گسترش یافته آن نیز در همین دسته قرار می گیرد. بنابراین برای حل مساله مکان‌یابی- مسیریابی دوسطحی در اندازه بزرگ استفاده از روش‌های حل ابتکاری و فراابتکاری پیشنهاد می‌شود. در این بخش روش پیشنهادی به تفصیل تشریح شده است. روش ابتکاری ارائه شده یک روش ترکیبی دو فازی تکرارشونده است که در فاز اول جواب اولیه با استفاده از استراتژی های مختلف خوشه بندی ایجاد شده و سپس در فاز دوم جواب بدست آمده بهبود داده می‌شود. پس از خاتمه فاز دوم و به دست آوردن جواب بهبود داده شده، الگوریتم دوباره به فاز اول بازگشته و جواب اولیه جدید (با تعداد خوشه متفاوت) ایجاد کرده و فاز دوم که فاز بهبود دهنده است اجرا می‌شود. فاز اول این روش ابتکاری از دو بخش تشکیل شده است، بخش اول حل یک مساله مکان‌یابی-مسیریابی در سطح ثانویه و در مرحله دوم و پس از بازگشایی تسهیلات ثانویه در مرحله قبل، حل یک مساله مسیریابی وسیله نقلیه بین تسهیلات بازشده و انبار مرکزی (در این مساله فرض شده است که در تسهیل اولیه فقط یک انبار وجود دارد). بخش اول این فاز از دو مرحله تشکیل شده است. مرحله اول ، خوشه بندی مشتریان به تعداد مختلفی خوشه، با استفاده از استراتژی‌های مختلف خوشه‌بندی و در مرحله دوم مسیریابی مشتریان هر خوشه. در بخش دوم این فاز از استراتژی مسیریابی ارائه شده در بخش قبل استفاده نموده و تسهیلات بازگشایی شده در سطح ثانویه را مشتری فرض کرده که میزان تقاضای آنها برابر ظرفیتشان بوده و باید توسط انبار مرکزی کالا دریافت نمایند. در انتهای این فاز جواب اولیه مسأله ساخته خواهد شد. در فاز دوم، با استفاده از روش فراابتکاری شبیه سازی تبرید (SA) جواب ساخته شده در فاز اول بهبود داده می‌شود.

۴-۱ فاز اول: ایجاد جواب اولیه

این فاز شامل دو بخش است. که در بخش اول ایجاد جواب اولیه در سطح ثانویه و بخش دوم ایجاد جواب اولیه در سطح اولیه.

بخش اول این فاز شامل دو مرحله می‌باشد:

مرحل اول: خوشه بندی مشتریان

مرحله دوم: مسیریابی

مرحله دوم نیز شامل سه گام است:

گام اول: انتخاب تسهیلات (انبارها)

گام دوم: تخصیص خوشه ها

گام سوم: مسیریابی مشتریان

بخش دوم این فاز شامل فقط یک مرحله می‌باشد:

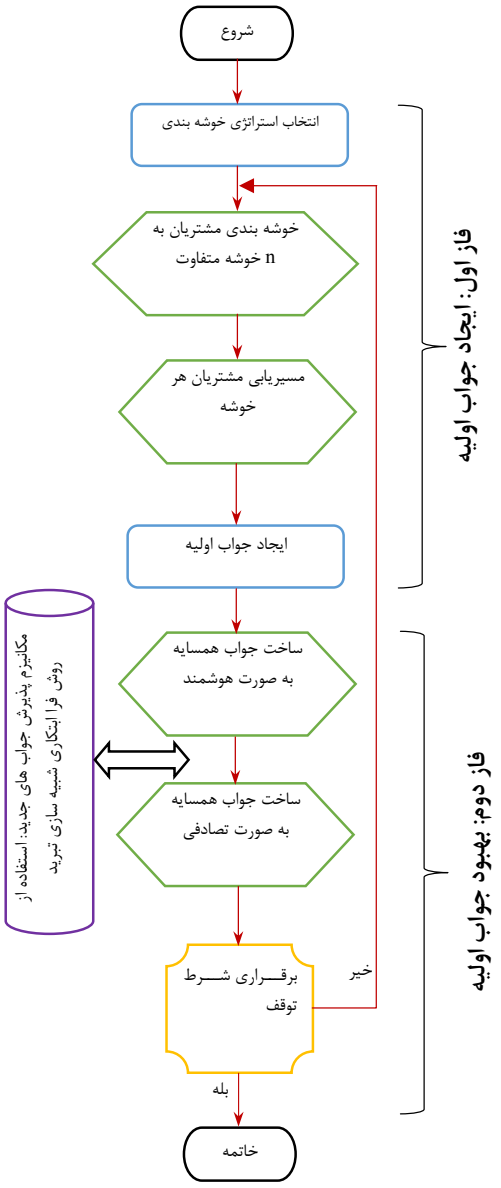
مسیریابی در سطح اولیه

در ادامه به توضیحات نحوه ایجاد جواب اولیه اشاره شده است.

بخش اول:

مرحله اول: خوشه بندی مشتریان که در آن هر مشتری به خوشه های مختلف تخصیص می‌یابد. در هر بار تکرار الگوریتم تعداد خوشه‌ها از عدد ۵ تا ۹ تغییر می‌کنند که منجر به تشکیل جواب‌های اولیه مختلف خواهند شد.

مرحله دوم: تشکیل تورهای مختلف (مسیر) با کمترین هزینه برای ملاقات مشتریان هر خوشه به گونه‌ای که ظرفیت هر تور از ظرفیت وسیله نقلیه بیشتر نشود.



شکل ۲. رویکرد حل روش ابتکاری

۴-۱-۱مرحله اول: خوشه بندی مشتریان

هدف روش خوشه بندی آن است که داده ها بر اساس یک یا چنـد معیار شباهت به خوشه‌هایی تقسیم شوند، به گونـه‌ای کـه شـباهت بین داده‌های درون هـر خوشـه حـداکثر و شـباهت بـین داده‌هـای خوشه‌های متفاوت حداقل شود. در این مقاله از دو معیـار شـباهت استفاده شده است که یکی از آنها بـا الهـام از مسـأله بسـته‌بنـدی[۳] پیشنهاد شده است که عبارتند از معیار شباهت فاصـله اقلیدسـی و معیار شباهت ظرفیت استفاده شده وسیله نقیله. در این مقاله سـه استراتژی مختلف برای خوشه بندی ارائه شده است که در هر کدام از آنها از این دو معیار شباهت با رویکردهای مختلفی استفاده شـده است. قبل از توضیح استراتژی‌های مختلف خوشه‌بندی بـه تشـریح دو معیار شباهت پرداخته می‌شود:

Start /pseudocode of proposed algorithm
Enter Input parameters
Repeat
  Choosing clustering strategy and number of cluster {n}
  Cluster the all customers into n cluster
  Routing each cluster
  Completed the initial solution → S
  l=0
  For $l \leftarrow 0$ to l_{max} do
    Generate a neighborhood solution $S'(S' \leftarrow S)$
    if $f(S') < f(S)$
    $S \leftarrow S'$
    Else
    r=generate a random number
    $\Delta = f(S') - f(S)$
    if $r < \exp(\Delta/T)$
    $S \leftarrow S'$
    End
  end
  if $f(S') < f(S^*)$
  $S^* \leftarrow S'$
  End
  $l = l + 1$;
  End
  g=0
  For $g \leftarrow 0$ to g_{max} do
    Generate a neighborhood solution $S'(S' \leftarrow S)$ by {2-Mpve, 2 inverse Move, 3-Move}
    if $f(S') < f(S)$
    $S \leftarrow S'$
    end
    if $f(S') < f(S^*)$
    $S^* \leftarrow S'$
    end
    $g = g + 1$
  end
Until (stop condition is met)
Return S^*

معیار شباهت بر مبنای فاصله اقلیدسی

با استفاده از معیار کمترین فاصله اقلیدسی، یک خوشه با خوشه دیگر ترکیب می‌شود. ابتدا باید مختصات مرکز هر خوشه را از رابطه (۲۱) محاسبه نمود: فرض کنید مجموعه مشتریان خوشه i با نماد C_i و تعداد عناصر آن با نماد $|C_i|$ نشانداده شوند. برای محاسبه مختصات مرکز خوشه C_i به صورت زیر عمل می‌شود.

$$x_{ci}=\frac{\sum x_j}{|C_i|} \qquad \forall j \in C_i \qquad (۲۱)$$
$$y_{ci}=\frac{\sum y_j}{|C_i|}$$

پس از محاسبه مختصات مرکز خوشه، فاصله دو خوشه i,k از یکدیگر از رابطه (۲۲) بدست می آید. که $D_{i,k}$ فاصله بین دو خوشه i,k است.

$$D_{ik}=\sqrt[2]{(x_{Ci}-x_{Ck})^2+(y_{Ci}-y_{Ck})^2} \qquad (۲۲)$$

معیار شباهت بر مبنای ظرفیت استفاده شده وسیله نقلیه:

این معیار با الهام گرفتن از مساله بسته بندی پیشنهاد شده است. در مساله بسته بندی هدف استفاده از حداکثر ظرفیت یک بسته می باشد. بنابراین از این مفهوم استفاده نموده و در هنگام خوشه بندی، آن دو خوشه ای با هم ترکیب می شوند که بتوان از ظرفیت خالی و استفاده نشده وسیله نقلیه حداکثر استفاده را نمودکه در نتیجه آن تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز کاهش خواهد یافت. فرض کنید مجموعه تقاضای مشتریان خوشه i با نماد d_i و مجموعه تقاضای مشتریان خوشه k با نماد d_k و ظرفیت وسیله نقلیه با Q نشان داده شوند. برای محاسبه معیار ظرفیت استفاده شده این دو خوشه Used_capacity(i,k) به صورت زیر عمل می کنیم . (■ نشان دهنده قسمت اعشاری عدد است).

$$Used_capacity\ (i,k)=\left\lfloor\left(\sum_{j\in i}d_j+\sum_{j\in k}d_j\right)\Big/Q\right\rfloor \qquad (۲۳)$$

برای مثال فرض نمایید که مجموع تقاضای مشتریان خوشه اول برابر ۳۰ و مجموع تقاضای مشتریان خوشه دوم برابر ۴۰ باشد اگر ظرفیت وسیله نقلیه برابر ۵۰ باشد، حاصل تقسیم مجموع تقاضای این دو خوشه به ظرفیت وسیله نقلیه برابر با ۱٫۴خواهد شد. همانطور که مشخص است برای خدمت رسانی به این دو خوشه باید حداقل از دو وسیله نقلیه استفاده شود که در بهترین حالت استفاده از ظرفیت وسایل نقلیه ظرفیت یکی از این وسائل به طور کامل استفاده شده و تنها ۰٫۴ ظرفیت وسیله نقلیه دیگر مورد استفاده قرار می گیرد.

$Used_capacity\ (i,j)=0.4$

بر اساس این معیار ادغام خوشه‌هایی انجام خواهد شد که ظرفیت استفاده شده در بیشترین مقدار ممکن باشد.

استراتژی‌های خوشه‌بندی:

در این مقاله سه استراتژی مختلف برای خوشه بندی مشتریان ارائه شده است.

الف)استراتژی مبتنی بر معیار فاصله (Distance)

در این استراتژی مبنای خوشه بندی فاصله اقلیدسی بین هر دو خوشه است. دو خوشه ای با هم ترکیب می شوند که فاصله بین مرکز آنها از همه کمتر باشد. شبه کد این الگوریتم در زیر نشان داده شده است.

شبه کد استراتژی Distance

ورودی: مختصات مشتریان، تقاضای مشتریان

خروجی: مشتریان خوشه بندی شده

شروع:

۰ : همه مشتریان را در خوشه مجزاء قرار دهید.

۱: محاسبه ماتریس Distance.

۲:ادغام نزدیکترین دو خوشه، بروز رسانی اطلاعات.

۳: اگر تعداد خوشه ها به تعداد مورد نظر رسید پایان این الگوریتم می باشد در غیر این صورت به ۱ بروید.

پایان:

ب)استراتژی مبتنی بر مجموع وزنی معیارهای فاصله و ظرفیت استفاده شده[۴] (SWDU)

در این استراتژی هدف ادغام دو خوشه ای است که علاوه بر نزدیکی، مقدار ظرفیت استفاده شده وسیله نقلیه (برای سرویس دهی به مشتریان به حداکثر مقدار خود برسد. لذا ترکیب خطی این دو معیار ذکر شده مورد استفاده قرار می گیرد. (از آنجا که مقادیر این دو معیار هم بعد نیستند با تغییراتی در مقادیر آنها و پس از بی بعد سازی، از ترکیب خطی آنها استفاده خواهد شد) گام های این استراتژی به شرح ذیل است.

گام اول: هر مشتری را یک خوشه در نظر گرفته و به گام ۲ بروید. تعداد خوشه ها در این گام برابر تعداد کل مشتریان خواهد بود.

گام دوم: فاصله هر خوشه از خوشه دیگر را محاسبه و در ماتریس فاصله $Distance[i,j]$ قرار دهید. و به گام ۳ بروید.

$Dis\,tance(i,j)=D(i,j)$

گام سوم: با استفاده از رابطه (۱۴) ظرفیت استفاده شده هر دو خوشه را محاسبه نماید.

$Used_capacity\ (i,j)$

گام چهارم: در ایـن مرحلـه دو معیـار شـباهت فاصـله و ظرفیـت استفاده شده را به صورت خطی با هم جمع می نماییم. از آنجا کـه در معیار فاصله کمترین مقدار مطلوب و در معیار ظرفیـت اسـتفاده شده حداکثر مقدار مطلوب است برای جمع خطـی ایـن دو معیـار باید تغییراتی در مقدار ماتریس فاصله داده شود.

- بزرگترین مقدار ماتریس فاصله را M بنامید.
- ماتریس معکـوس شـده (Inverted_Matrix) مـاتریس فاصله را به صورت زیر محاسبه نمایید.

$$Inverted_Matrix(i,j) = M \big/ Dis\,tance(i,j)$$

- ماتریس جمع (Sum) را به صورت زیر محاسبه نمایید.

$$Sum(i,j) = W_1 \times Used_capacity\ (i,j) + W_2 \times Inverted_Matrix(i,j)$$

بزرگترین مقدار ماتریس Sum را انتخاب و دو خوشه مرتبط بـا آن را با هم ادغام نمایید. اطلاعات مربوط به خوشه ها را به روز رسـانی کرده و به گام ۵ بروید.

گام پنجم: اگر تعداد خوشه های موجود برابر تعـداد خوشـه هـای مورد نظر شد الگوریتم خاتمه می یابد در غیر این صورت به گـام ۲ بروید.

ج) استراتژی مبتنی بر رتبه بندی ابتدا بر مبنای معیارهای فاصـله سپس بر مبنای ظرفیت استفاده شده[5] (FDSUR)

در این روش از دو معیار فاصله و ظرفیـت اسـتفاده شـده، همچـون روش ابتکاری**SWDU** استفاده می شود. اما شیوه اسـتفاده از ایـن دو معیار در این روش متفاوت است. در اینجـا فاصـله (بـین هـر دو خوشه) را به صورت صعودی مرتب کرده سـپس تعـدادی از آنهـا را انتخاب و در بین آنها، دو خوشه ای انتخاب می شوند کـه حـداکثر ظرفیت استفاده شده را دارند.

گام اول: هر مشتری را یک خوشه در نظر گرفته و به گام ۲ بروید. تعداد خوشه ها را مساوی n قرار دهید.

گام دوم: فاصله هر خوشه از خوشه دیگر را محاسبه و در مـاتریس فاصله قرار دهید. عناصر بالای قطر اصلی ماتریس فاصله را در نظـر گرفته و عناصر باقیمانده را غیر فعال کنید (از آنجـا کـه مـاتریس-فاصله یک ماتریس متقارن است مبنای محاسبات گام های بعـدی فقط عناصر بالای قطر اصلی می‌باشد).

گام سوم: ماتریس رتبه (Rank) را به این صورت محاسبه نماییـد. عناصر فعال ماتریس فاصله را به صورت صـعودی در سـتون فاصـله ماتریس رتبه قرار دهید. هر عنصر در ستون دوم یـک سـطر و یـک ستون مختص به خود در ماتریس فاصـله دارد کـه نشـان دهنـده فاصله دو خوشه از یکدیگر است. این دو مقدار را برای هر عنصـر در ستون ستون خوشه ها یادداشـت نماییـد. مقـدار ظرفیـت اسـتفاده شده $Used_capacity\ (i,j)$ هـر دو خوشـه مـرتبط را نیـز در ستون ظرفیت استفاده شده قرار دهید و به گام ۴ بروید .

گام چهارم: درماتریس رتبه، α_cut (پـارامتر مسـاله)ردیف اول آن‌را انتخاب کنید. سپس ماکزیمم مقدار سـتون ظرفیـت اسـتفاده شده این ماتریس برش خورده را با عدد A (پارامتر مساله) مقایسه نمایید، اگر این مقدار انتخابی بزرگتر از A بود. دو خوشه مرتبط بـا این عدد را با هم ترکیب نموده و سپس به گام ۸ بروید در غیر ایـن صورت به گام ۵ بروید.

گام پنجم: درماتریس رتبـه، β_cut (پـارامتر مسـاله) ردیـف اول آن‌را انتخاب نمایید. آنگاه ماکزیمم مقدار سـتون ظرفیـت اسـتفاده شده این ماتریس برش خورده را با عدد A (پارامتر مساله) مقایسه نمایید، اگر این مقدار انتخابی بزرگتر از A بود. دو خوشه مرتبط بـا این عدد را با هم ترکیب نموده و سپس به گام ۸ بروید در غیر ایـن صورت به گام ۶ بروید.

گام ششم: β_cut ردیف اول ماتریس رتبه را انتخاب کنید. اگـر ماکزیمم مقدار ستون سـوم آن از عـدد B (پـارامتر مسـاله)بزرگتر بود. دو خوشه مرتبط با این عدد را با هم ترکیب نموده و سپس بـه گام ۸ بروید در غیر این صورت به گام ۷ بروید.

گام هفتم: α_cut ردیـف اول مـاتریس رتبـه را انتخـاب کنیـد. ماکزیمم مقدار ستون ظرفیـت اسـتفاده شـده ایـن مـاتریس بـرش خورده را انتخاب نمایید. دو خوشه مـرتبط بـا ایـن عـدد را بـا هـم ترکیب نموده و داده های مربوط بـه هـر خوشـه را بـه روز رسـانی نمایید و سپس به گام ۸ بروید.

گام هشتم: اگر تعداد خوشه های موجود برابر تعداد خوشـه هـای مورد نظر شد الگوریتم خاتمه می یابد در غیر این صورت به گـام ۲ بروید.

۴-۱-۲ مسیریابی مشتریان

پس از خوشه بندی مشتریان، در این مرحله مسـیریابی انجـام مـی شود. این مرحله از سه گام تشکیل شده است که در گام اول از بین انبارهای بالقوه تعدادی انبار انتخاب می شوند. در گـام دوم خوشـه ها به انبارهای انتخابی تخصیص می یابند و در گام آخر مسـیریابی مشتریان انجام می شود.

گام اول: انتخاب تسهیلات (انبارها)

در ابتدا فاصله مرکز هر خوشه را از تمام انبارهای بـالقوه محاسـبه نمایید. به صورت مجازی هر خوشه را به نزدیکترین انبار اختصـاص دهید. اولین انباری که بیشترین خوشه را در خود جـای داده اسـت در نظر بگیریـد. اگـر ظرفیـت ایـن انبـار از مجمـوع تقاضـای کـل مشتریان بیشتر بود توقف نمـوده و بـه مرحلـه بعـد برویـد در غیـر اینصورت دومین انباری که بیشترین خوشه را در خود جای داده در نظر گرفته و مجموع ظرفیـت ایـن دو انبـار را بـا مجمـوع تقاضـای مشتریان مقایسه کنید اگر این دو انبـار مـی تواننـد تقاضـای تمـام مشتریان را برآورده نمایند به مرحله بعد بروید در غیر ایـن صـورت این کار را تا زمانی کـه مجمـوع ظرفیـت انبارهـای اضـافه شـده از مجموع تقاضای مشتریان بیشتر شود تکرار نمایید.

گام دوم: تخصیص خوشه ها

از بین انبارهای انتخاب شده انباری که بیشترین ظرفیت را دارد در نظر بگیرید. نزدیکترین خوشه از بین مجموع خوشه ها به آن انبار را در نظر گرفته اگر ظرفیت انبار از مجموع تقاضای مشتریان خوشه انتخابی بیشتر بود این خوشه را به آن اختصاص دهید سپس از بین مجموعه خوشه های تخصیص نیافته نزدیکترین خوشه را به این انبار در نظر بگیرید اگر ظرفیت با قیمانده انبار بیش از ظرفیت تقاضای مشتریان این خوشه بود آن‌را به این انبار تخصیص دهید. این کار را تا جایی ادامه دهید که ظرفیت باقیمانده انبار هیچ خوشهای را در خود اختصاص ندهد. سپس دومین انبار انتخاب شده که بیشترین ظرفیت را دارد، در نظر بگیرید. با استفاده از مکانیزم توضیح داده شده خوشه ها را به این انبار اختصاص دهید. به ترتیب انبارها را بر مبنای ظرفیت آنها انتخاب نموده و با این مکانیزم خوشه ها را به آنها اختصاص دهید. این کار را تا هنگامیکه تمام خوشه ها تخصیص یابند اجرا کنید. در نهایت به مرحله بعد بروید.

گام سوم: مسیریابی مشتریان

پس از انکه انبارها انتخاب و خوشه ها به آنها اختصاص پیدا کرده اند حالا نوبت به مسیریابی مشتریان است. این روش پیشنهادی در دسته روشهای حریصانه تولید جواب قرار می گیرد. (مکانیزمی که توضیح داده می شود برای تمام خوشه ها برقرار است).

مشتریان تخصیص نیافته		۲	۵	۷	۸	۶
مسیر شماره ۱	۱	۹ ۴				
مسیر شماره ۲	۱	۳				

شکل۳. مسیریابی در سطح ثانویه

یک خوشه را به تصادف انتخاب می کنیم. تعداد وسائل نقلیه ای که باید به این خوشه خدمت رسانی کنند برابر است با جزءِ صحیحِ تقسیمِ مجموعِ تقاضای مشتریان یک خوشه بر ظرفیت وسیله نقلیه ($\sum d_j / Q$) بعلاوه یک. حال فرض کنید که برای خدمت رسانی به خوشه مد نظر باید n وسیله نقلیه در نظر گرفته شود. پس مشتریان را در n مسیر مختلف قرار می گیرند. همه این مسیرها از انباری که خوشه به آن اختصاص یافته شروع می شود.

حالا یک مشتری را به تصادف انتخاب کنید. از بین مکان های کاندید برای استقرار این مشتری، مکانی انتخاب می شود که دارای کمترین هزینه باشد. اگر بیش از یک مکان انتخاب برای این مشتری وجود داشت یکی از آنها را به تصادف انتخاب نمایید. سپس مشتری دوم را انتخاب و مکانی را انتخاب نمایید که کمترین هزینه را داشته باشد نکته ای که در انتخاب مکان های کاندید باید رعایت شود آن است که ظرفیت باقیمانده مسیر از ظرفیت مشتری اضافه شده بیشتر باشد. این کار را تا زمانی که مشتریان این خوشه اختصاص یابد انجام دهید. همانطور که ازشکل ۲ مشخص است یک خوشه به تصادف انتخاب شده و برای خدمت رسانی به مشتریان این خوشه دو وسیله نقلیه در نظر می شود. وظیفه خدمت رسانی به این خوشه بر عهده انبار شماره ۱ می باشد. در مسیر شماره ۱ مشتریان ۹ و ۴ قرار دارند و در مسیر شماره ۲ فقط مشتری شماره ۳ قرار دارد. حال اگر قرار باشد مشتری شماره ۵ (از بین مشتریان تخصیص نیافته انتخاب شده است) در یکی از این دو مسیر قرار گیرد. برای مسیر شماره یک سه انتخاب دارد. قبل از مشتری شماره ۹، بین مشتری شماره ۹ و مشتری شماره ۴ و پس از مشتری شماره ۴، همچنین در مسیر شماره دو، دو انتخاب دارد قبل از مشتری شمار ۳ و بعد از مشتری شماره ۳. از بین این مکان های کاندید، مکانی را انتخاب نمایید که کمترین هزینه را ایجاد نماید (البته با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت وسائل نقلیه).

مسیریابی در سطح اولیه

در این مرحله و پس از بازگشایی انبارهای سطح ثانویه، این انبارها را همچون مشتریانی در نظرگرفته که باید کالا دریافت نمایند. از رویکرد توضیح داده شده در مرحله قبل استفاده نموده و مساله مسیریابی برای این انبارهای در سطح ثانویه اجرا می شود. پس از مسیریابی انبارهای سطح ثانویه فاز اول روش ابتکاری به اتمام می رسد و یک جواب اولیه ساخته می شود. بنابراین به فاز دوم می رویم.

۱-۱ فاز دوم (بهبود جواب اولیه)

مساله مکان‌یابی- مسیریابی دو¬سطحی از دو مساله مکان‌یابی- مسیریابی در سطح اولیه و ثانویه تشکیل شده است که به صورت یکپارچه با هم در ارتباط هستند. در روش ابتکاری ارائه شده برای دستیابی به جوابی با کیفیت مناسب، مساله در دو بخش در نظر گرفته شده است. در بخش اول، بدنبال بهبود در سطح ثانویه (بین مشتریان و تسهیلات ثانویه) می باشیم سپس بهبود بخش اولیه (بین تسهیلات بازشده ثانویه و انبار مرکزی) مد نظر قرار خواهد گرفت. بهترین جواب، جوابی است که مجموع هزینه‌های هر دو بخش را کاهش دهد. هدف فاز دوم بهبود جواب اولیه بدست آمده (فاز اول) با استفاده از روش‌های تولید جواب همسایگی می باشد. بهبود در سطح ثانویه از دو مرحله تشکیل شده است. در مرحله اول بهبود از طریق روش های تولید جواب همسایگی هوشمند و در مرحله دوم تولید جواب همسایگی تصادفی. بهبود در سطح اولیه فقط به صورت تصادفی انجام می شود.

مرحله اول: تولید جواب همسایگی هوشمند.

هدف از اجرای این مرحله همگرایی جواب های تولید شده به سمت جواب بهینه است. در این مرحله با تغییرات کوچکی (ولی هوشمند) در جواب فعلی کیفیت جواب تولید شده بهبود داده شود. به همین منظور سه عملگر هوشمند تولید جواب همسایگی ارائه شده است که در بخش۴-۱-۱ به معرفی آنها می پردازیم.

مرحله دوم: تولید جواب همسایگی تصادفی.

هدف از اجرای این مرحله ایجاد واگرایی در جواب تولید شده همسایگی برای پایش بیشتر فضای جواب مساله است. در این مرحله از سه عملگر تصادفی سازی جواب استفاده نموده ایم. توضیحات بیشتر در مورد این عملگرها در بخش ۴-۱-۲ بیان شده است. چارچوب کلی این فاز استفاده از روش فراابتکاری شبیه سازی تبرید (SA) برای فرار از بهینه محلی است بطوریکه جواب بدتر را با یک احتمالی می پذیرد.

۴-۱-۳ تولید جواب همسایگی به صورت هوشمند

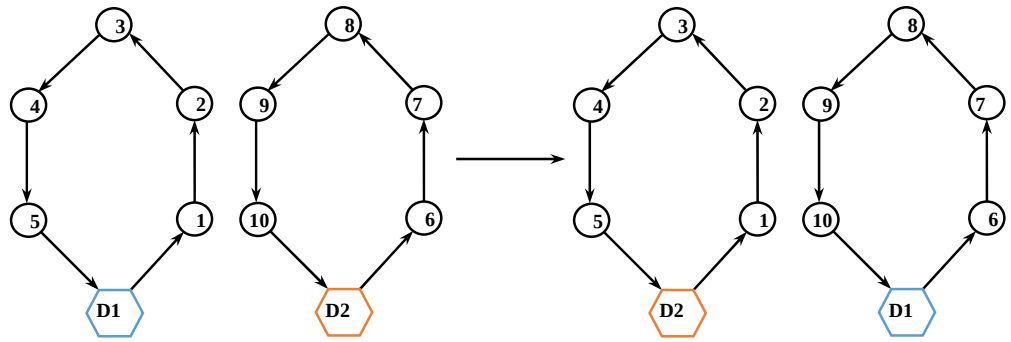
در این بخش به معرفی سه عملگر هوشمند در ساخت جواب همسایه می پردازیم.

عملگر جابجایی انبارها

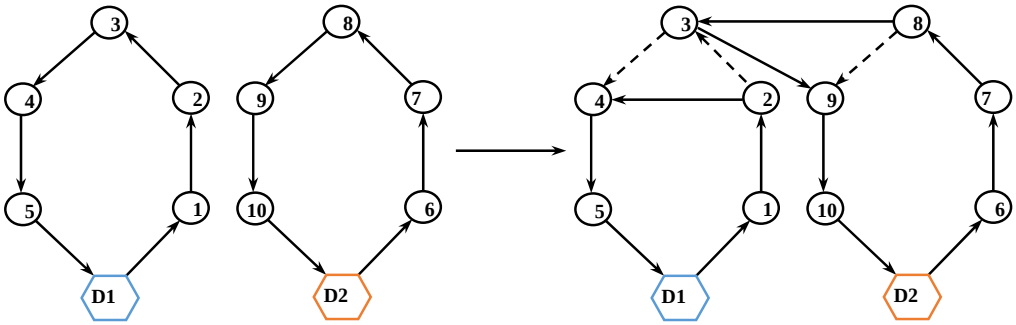
در این عملگر دو مسیر به تصادف انتخاب شده و انبار مرتبط با این دو مسیر با هم جابجا می شوند. اگر دو مسیر انتخاب شده مربوط به یک انبار یکسان باشند در جواب تغییر ایجاد نمی شود.

عملگر حذف و انتقال به نزدیکترین مسیر

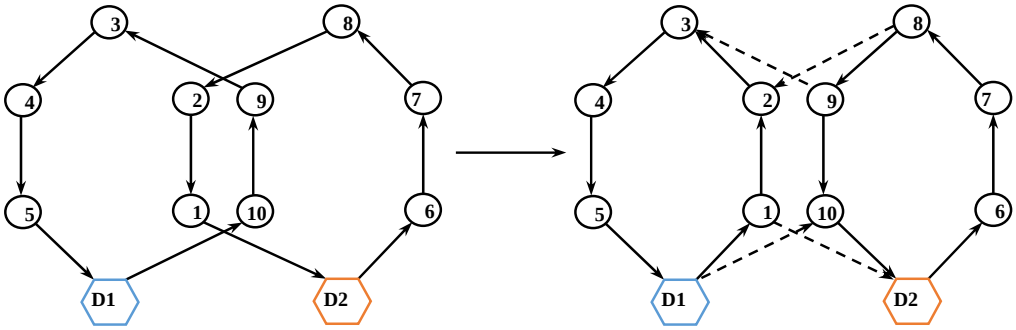
در این عملگر دو مسیر متفاوت انتخاب شده و فاصله بین مشتریان یک مسیر با مشتریان مسیر دوم محاسبه می‌شود. نزدیکترین مشتری مسیر اول به قبل از نزدیکترین مشتری مسیر دوم منتقل می شود.



شکل ۴. عملگر جابجایی انبارها



شکل ۵. عملگر حذف و انتقال به نزدیکترین مسیر



شکل ۶. عملگر جابجایی یک کمان با کمان دیگر

عملگر جابه‌جایی یک کمان با کمان دیگر

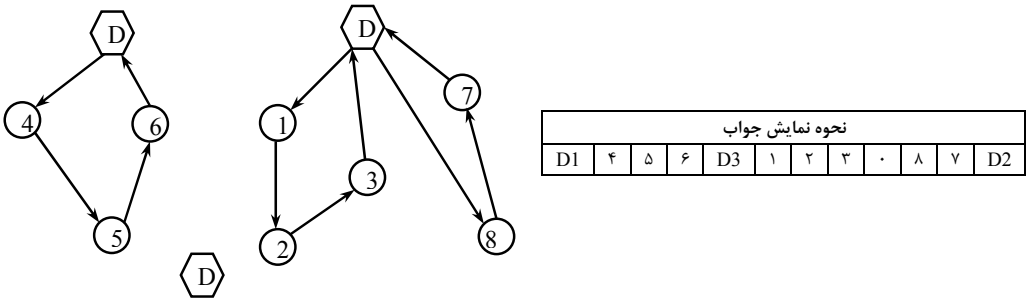
در این عملگر دو مسیر متفاوت انتخاب شده و یک کمان با کمان دیگر از مسیر جابجا می شوند.

۴-۱-۴ تولید جواب همسایگی به صورت تصادفی

در این بخش جهت پایش بهتر فضای جواب و جلوگیری از افتادن در جواب بهینه محلی سه عملگر تولید جواب تصادفی ارائه شده است. قبل از اینکه به معرفی عملگرها بپردازیم باید ساختار نحوه نمایش جواب را توضیح دهیم که با استفاده از این ساختار نحوه نمایش جواب، سه عملگر تصادفی معرفی شده است.

در شکل ۶ ساختار نحوه نمایش جواب نشان داده شده است. در این نحوه نمایش جواب ابتدا یکی از انبارهای بازشده انتخاب می شود سپس مشتریان موجود در مسیر های مربوط به انبار را به ترتیب وارد کرده و اگر بیش از یک مسیر در یک انبار موجود باشد در ابتدای شروع هر مسیر (از مسیر دوم به بعد) یک صفر قرار می دهیم. پس از اینکه تمام انبارهای بازشده را با این مکانیزم وارد می کنیم شماره انبارهای بسته را در انتهای آن یادداشت می نماییم.

عملگر 3-Move

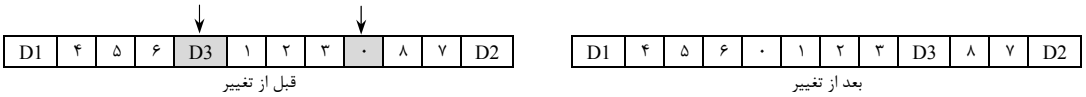


در این عملگر ۳ نقطه به تصادف در انتخاب شده و جایگاه این عناصر به صورت چرخشی عوض می شود.

شکل ۷. نحوه نمایش جواب

عملگر 2-Move

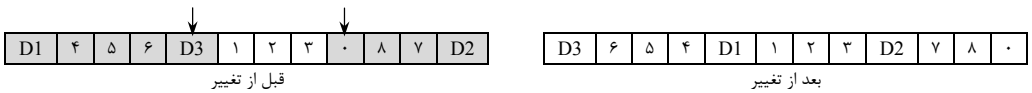
در این عملگر دو نقطه به صورت تصادفی انتخاب شده و جایگاه آنها با هم عوض می شود.



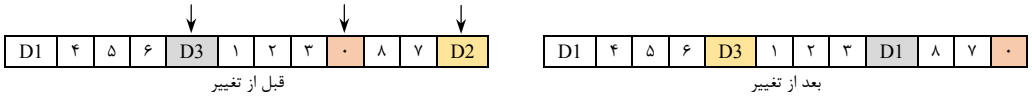
شکل ۸. عملگر 2-Move

عملگر 2 Part Inverse

در این عملگر دو نقطه به تصادف انتخاب شده و جواب به سه قسمت تقسیم می شود. جایگاه عناصر در قسمت اول و قسمت سوم جابجا می شوند.



شکل ۹. عملگر 2 Part Inverse



شکل ۱۰. عملگر 3-Move

۵. نتایج محاسبات عددی

در این بخش برای سنجش میزان کارایی الگوریتم پیشنهادی، دو مجموعه مثال از ادبیات در نظر گرفته شده است. کیفیت جواب بدست آمده از اجرای الگوریتم پیشنهادی در هر مثال با حد پایین و همچنین با نتایج بدست آمده از اجرای یک روش فراابتکاری موجود در ادبیات مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج بدست آمده کیفیت روش پیشنهادی را نشان می دهد. پارامترهای مساله و در نهایت جزئیات بدست آمده از نتایج محاسباتی در ادامه ارائه شده است. نتایج حاصل از حل این مساله با استفاده از نرم افزار متلب و

در کامپیوتری با مشخصات CPU Core i5 2.3 GH.z و RAM 4G بدست آمده است.

پارامترهای مرتبط با فاز اول روش پیشنهادی در جدول۱ بیان شده است. مقادیر ارائه شده در این جدول بر اساس انتخاب تصادفی بوده که تغییر ترکیب این مقادیر تاثیر چندانی در کیفیت جواب اولیه ایجاد نمی کرد. علاوه بر آن استفاده از روش های مختلف برای پیدا کردن ترکیب بهینه زمان بر بود که از انجام آن صرف نظر گردید. پارامترهای مرتبط با فاز دوم روش پیشنهادی در جدول ۲ ذکر شده است و مقادیر پیشنهادی برای هر کدام از این پارامترها نشان داده شده است. مقدار بهینه هر کدام از این پارامتر ها بر اساس روش تاگوچی محاسبه و در ستون آخر جدول به آنها اشاره شده است. در این مقاله از دو نوع مجموعه مثال استاندارد موجود در ادبیات برای نشان دادن کیفیت روش پیشنهادی استفاده شده است. مجموعه مثال اول، از نوع مساله مکان یابی-مسیریابی دوسطحی و مربوط به پرودهان (۳) می باشد که از ۲۴ مثال تشکیل شده است که بر اساس تعداد مشتریان و تعداد انبار به چهار قسمت تقسیم شده است. قسمت اول، شامل چهار نمونه مثال روی ۲۰ مشتری و ۵ انبار، قسمت دوم، شامل چهار نمونه مثال روی ۵۰ مشتری و ۵ انبار، قسمت سوم، شامل شش نمونه مثال روی ۱۰۰ مشتری و ۵ انبار و قسمت چهارم، شامل شش نمونه مثال روی ۱۰۰ مشتری و ۱۰ انبار می باشد. در جدول ۳ مشخصات این مجموعه آورده شده است. در ستون اول و ستون دوم نامگذاری این نمونه مثال ها انجام شده است. تعداد مشتریان و تعداد انبارهای بالقوه در هر نمونه مثال به ترتیب در ستون های سوم و چهارم آورده شده است. در ستون پنجم حد پایین هر کدام از مثال ها ذکر شده است. حد پایین ارائه شده مربوط به مرجع شماره (8) می باشد. نتایج (شامل هزینه، Gap و زمان حل) حاصل از پیاده سازی روش فراابتکاری فرایند جستجوی تصادفی تعاملی حریصانه (GRASP) که برگرفته از کار (۳) می باشد به ترتیب در ستون های ششم تا هشتم بیان شده است. درنهایت نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی این مقاله که شامل هزینه، Gap و زمان حل الگوریتم است به ترتیب در ستون های نهم تا یازدهم اشاره شده است.

درصد اختلاف جواب های بدست آمده با حد پایین مساله نشاندهنده میزان کیفیت هر کدام از روشها را نشان می دهد. بدست آوردن Gap از رابطه زیر استفاده شده است.

$$Gap = \left((\text{هزینه} - \text{پایین حد})/(\text{پایین حد})\right) \times 100$$

در هر نمونه مثال بهترین جواب بدست آمده از میان روش پیشنهادی و GRASP به صورت پررنگ (Bold) نشان داده شده است. به فرض مثال در ردیف ۸ کیفیت جواب روش پیشنهادی بهتر از روش GRASP شده است لذا این عدد در زیر ستون هزینه روش پیشنهادی به صورت پر رنگ نمایش داده شده است.

جدول ۱. مقادیر پارامترهای فاز اول

پارامتر	مقدار انتخابی
α –cut	۰,۹
β –cut	۰,۷
A	۵
B	۸
W_1	۰,۷
W_2	۰,۳

برای مقایسه عملکرد روش ابتکاری ارائه شده در مجموعه مثال پرودهان در مساله مکان یابی-مسیریابی دو سطحی با روش های موجود در ادبیات دو نوع ارزیابی وجود دارد. ارزیابی نوع اول) مقایسه میانگین عملکرد در مثالهای ۲۰، ۵۰و ۱۰۰تایی است و ارزیابی نوع دوم) تعداد بهبود های جواب در مقایسه با تک تک مثال ها است.

جدول ۲. مقادیر پیشنهادی پارامترهای فاز دوم برای تنظیم پارامتر

پارامتر	نوع مثال	مقادیر آزمایش شده	مقادیر انتخاب شده
ضریب کاهش دما (α)	کمتر از ۱۰۰ مشتری	(۰,۸۵و۰,۹و۰,۹۵)	۰,۹
	بیش از ۱۰۰ مشتری	(۰,۸۵و۰,۹و۰,۹۵)	۰,۹۵
تکرار حلقه خارجی	کمتر از ۱۰۰ مشتری	(۱۰۰۰و۹۰۰و۸۰۰)	۹۰۰
	بیش از ۱۰۰ مشتری	(۱۰۰۰و۹۰۰و۸۰۰)	۱۰۰۰
تکرار حلقه داخلی (قسمت هوشمند)	کمتر از ۱۰۰ مشتری	(۶۰۰و۵۰۰و۴۰۰)	۵۰۰
	بیش از ۱۰۰ مشتری	(۶۰۰و۵۰۰و۴۰۰)	۶۰۰
تکرار حلقه داخلی (قسمت تصادفی)	کمتر از ۱۰۰ مشتری	(۵۰۰و۴۰۰و۳۰۰)	۴۰۰
	بیش از ۱۰۰ مشتری	(۵۰۰و۴۰۰و۳۰۰)	۴۰۰
ضر یب ثابت بالتزمن (K)	کمتر از ۱۰۰ مشتری	(۱/۵و۱/۴و۱/۳)	۱/۴
	بیش از ۱۰۰ مشتری	(۱/۵و۱/۴و۱/۳)	۱/۴

جدول ۳. نتایج بدست آمده از مقایسه روش پیشنهادی در مجموعه مثال پرودهان در مساله مکان‌یابی - مسیریابی دوسطحی

ردیف	شماره مثال	تعداد مشتریان	تعداد انبارها	حد پایین	GRASP			روش پیشنهادی		
					هزینه	Gap(٪)	زمان حل	هزینه	Gap(٪)	زمان حل
۱	20-5-1a	۲۰	۵	۸۲۶۴۲,۷	۹۲۶۳۳	۱۲,۰۹	۰,۶	۹۱۰۶۲	۱۰,۱۹	۱۸
۲	20-5-1b	۲۰	۵	۶۱۷۹۳,۲	۶۳۰۹۴	۲,۱۱	۰,۶	۶۴۰۹۰	۳,۷۲	۱۹
۳	20-5-2a	۲۰	۵	۷۹۲۵۳,۱	۸۶۲۱۲	۸,۷۸	۰,۴	۸۵۴۶۰	۷,۸۳	۱۷
۴	20-5-2b	۲۰	۵	۵۹۰۴۴,۲	۶۰۸۳۸	۳,۰۴	۰,۴	۶۰۸۳۸	۳,۰۴	۱۹
	میانگین	–	–	۷۰۶۸۳,۳	۷۵۶۹۴,۳	۶,۵۰	–	۷۵۳۶۲,۵	۶,۱۹	–
۵	50-5-1	۵۰	۵	۱۱۶۲۹۲,۰	۱۳۶۱۳۷	۱۷,۰۶	۲,۲	۱۳۵۷۹۲	۱۶,۷۷	۳۹
۶	50-5-1b	۵۰	۵	۹۴۵۷۷,۰	۱۰۹۱۷۳	۱۵,۴۳	۱,۸	۱۰۶۸۷۲	۱۳,۰۰	۳۸
۷	50-5-2	۵۰	۵	۱۲۳۴۸۱,۰	۱۳۶۷۸۵	۱۰,۷۷	۲,۱	۱۳۶۱۲۰	۱۰,۲۴	۴۵
۸	50-5-2b	۵۰	۵	۱۰۴۴۸۸,۰	۱۱۱۴۴۰	۶,۶۵	۲,۱	۱۱۲۳۲۵	۷,۵۰	۴۲
۹	50-5-2bis	۵۰	۵	۱۱۷۸۱۵,۰	۱۲۴۸۷۰	۵,۹۹	۳	۱۲۴۸۷۰	۵,۹۹	۴۴
۱۰	50-5-2bbis	۵۰	۵	۸۸۷۱۷,۵	۱۰۸۷۱۸	۲۲,۵۴	۲,۶	۱۰۹۲۲۹	۲۳,۱۲	۳۷
۱۱	50-5-3	۵۰	۵	۱۱۹۷۳۴,۰	۱۲۹۲۲۵	۷,۹۳	۳,۱	۱۲۹۲۸۰	۷,۹۷	۳۹
۱۲	50-5-3b	۵۰	۵	۱۰۱۷۰۲,۰	۱۰۴۰۵۷	۲,۳۲	۲,۴	۱۰۴۹۴۰	۳,۱۸	۴۹
	میانگین	–	–	۱۰۸۳۵۰,۸	۱۲۰۰۵۰,۶	۱۱,۰۹	–	۱۱۹۹۲۸,۵	۱۰,۹۷	–
۱۳	100-5-1	۱۰۰	۵	۳۰۱۲۴۶,۰	۳۲۴۸۲۳	۷,۸۳	۵,۹	۳۲۷۶۵۰	۸,۷۶	۴۸
۱۴	100-5-1b	۱۰۰	۵	۲۴۱۳۱۲,۰	۲۶۱۵۲۹	۸,۳۸	۵,۴	۲۶۳۲۲۶	۹,۰۸	۵۳
۱۵	100-5-2	۱۰۰	۵	۲۲۱۸۴۰,۰	۲۳۶۹۳۷	۶,۸۱	۴,۶	۲۳۵۹۳۱	۶,۳۵	۶۲
۱۶	100-5-2b	۱۰۰	۵	۱۸۹۳۲۴,۰	۱۹۷۰۳۵	۴,۰۷	۴,۳	۱۹۷۹۸۹	۴,۵۸	۵۹
۱۷	100-5-3	۱۰۰	۵	۲۲۰۷۱۷,۰	۲۵۰۳۹۸	۱۳,۴۵	۴,۴	۲۴۸۷۱۲	۱۲,۶۸	۵۸
۱۸	100-5-3b	۱۰۰	۵	۱۸۳۷۴۴,۰	۱۹۷۲۷۹	۷,۳۷	۴,۸	۱۹۶۸۵۹	۷,۱۴	۵۸
	میانگین	–	–	۲۲۶۳۶۳,۸	۲۴۴۶۶۶,۸	۷,۹۸	–	۲۴۵۰۶۱,۲	۸,۱۰	–
۱۹	100-10-1	۱۰۰	۱۰	۳۰۶۷۶۴,۰	۳۷۰۶۰۳	۲۰,۸۱	۱۰,۴	۳۷۲۴۵۸	۲۱,۴۲	۹۵
۲۰	100-10-1b	۱۰۰	۱۰	۲۶۱۳۰۵,۰	۳۱۴۲۷۷	۲۰,۲۷	۱۰,۲	۳۱۲۶۹۸	۱۹,۶۷	۹۶
۲۱	100-10-2	۱۰۰	۱۰	۲۷۲۸۰۲,۰	۳۱۰۹۲۹	۱۳,۹۸	۹,۳	۳۰۸۰۲۱	۱۲,۹۱	۹۵
۲۲	100-10-2b	۱۰۰	۱۰	۲۳۹۵۲۵,۰	۲۶۴۹۸۴	۱۰,۶۳	۱۲,۴	۲۶۱۳۷۵	۹,۱۲	۸۹
۲۳	100-10-3	۱۰۰	۱۰	۲۷۰۱۲۴,۰	۳۱۹۸۰۶	۱۸,۳۹	۹,۷	۳۱۰۵۶۴	۱۴,۹۷	۹۵
۲۴	100-10-3b	۱۰۰	۱۰	۲۳۵۵۶۱,۰	۲۶۸۴۱۳	۱۳,۹۵	۱۱	۲۶۷۸۴۵	۱۳,۷۱	۹۶
	میانگین	–	–	۲۶۴۳۴۶,۸	۳۰۸۱۶۸,۷	۱۶,۳۴	–	۳۰۵۴۹۳,۵	۱۵,۳۰	–

همانطور که از جدول ۳ قابل مشاهده است میانگین کیفیت عملکرد روش پیشنهادی در مقایسه با روش GRASP در سه مورد از چهار مورد بهتر می باشد. روش پیشنهادی درمثال های ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰تایی با ۱۰ وسیله نقلیه، میانگین عملکرد بهتری از خود نشان داده است. همچنین روش پیشنهادی در ۱۵ نمونه مثال، جواب بهتری داده است.

برای نشان دادن معنی دار بودن عملکرد روش ارائه شده نسبت به روش موجود در ادبیات (GRASP) از آزمون فرضیه استفاده خواهیم کرد. جهت این روش، تفاوت درصد اختلاف روش ارائه شده با حد پایین با درصد اختلاف روش GRASP را به صورت d_i تعریف می کنیم.

$$d_i = \%Gap_{Our\ algorithm} - \%Gap_{Grasp}$$

فرض که در این جا مورد استفاده قرار گرفته است عبارت است از:

فرض صفر: این دو روش اختلاف معنی داری ندارند.

$$\mu_{Our\ algorithm} = \mu_{Grasp}$$

فرض یک: این دو روش اختلاف معنی داری دارند. $\mu_{Our\ algorithm} \neq \mu_{Grasp}$

بنابراین از آزمون فرض t استفاده می کنیم که عبارت است از.

$$T = \frac{\bar{d}}{\frac{sd}{\sqrt{n}}}, \quad df = n-1$$

که میانگین و انحراف معیار d_i را به ترتیب به صورت $\bar{d}$ و sd نشان داده شده است. n نیز نشاندهنده تعداد d_i می باشد.

بر اساس همین آزمون و با سطح معنی داری 0.1، آزمون معنی داری در چهار نمونه مثال جدول ۳ بررسی می شود.

- فرض معنی دار بودن در مثال های ۲۰ تایی.

در این حالت آماره آزمون برابر t=-.4783 می شود بنـابراین فـرض معنی دار بودن درسطح $\alpha = 0.1$ رد می شود.

- فرض معنی دار بودن در مثال های ۵۰ تایی.

در این حالت آماره آزمون برابر t=-.0.326 می شود بنابراین فـرض معنی دار بودن درسطح $\alpha = 0.1$ رد می شود.

- فرض معنـی دار بـودن در مثـال هـای ۱۰۰ تـایی بـا ۵ مشتری.

در این حالت آماره آزمون برابر t=0.4393 می شود بنابراین فـرض معنی دار بودن درسطح $\alpha = 0.1$ رد می شود.

- فرض معنی دار بودن در مثـال هـای ۱۰۰ تـایی بـا ۱۰ مشتری.

در این حالت آماره آزمون برابر $t = -2.02743$ می شود بنابراین فرض معنی دار بودن درسطح $\alpha = 0.1$ پذیرفته می شود.

در جدول ۴ عملکرد سه اسـتراتژی خوشـه بنـدی ارائـه شـده روی مجموعه مثال های پرودهان دو سطحی مورد مقایسـه قـرار گرفتـه است. به طور میانگین استراتژی **FDSUR** در هر قسمت نسـبت بـه دو استراتژی دیگر خوشه بندی عملکرد بهتری از خـود نشـان داده است. در هر نمونه مثال بهترین جواب از بین جواب های ایـن سـه استراتژی به عنوان روش پیشنهادی در نظر گرفته شده است که به صورت بولد نشان داده شده است.

جدول ۴. مقایسه عملکرد سه استراتژی خوشه بندی در کیفیت جواب در نمونه مثال های پرودهان در مساله دو سطحی

			Distance		SWDU		FDSUR	
	شماره مثال	بهترین جواب	هزینه	Gap (٪)	هزینه	Gap (٪)	هزینه	Gap (٪)
۱	20-5-1a	۹۱۰۶۲	۹۱۰۶۲	۰	۹۱۰۶۲	۰	۹۱۰۶۲	۰
۲	20-5-1b	۶۴۰۹۰	۶۴۰۹۰	۰	۶۴۰۹۰	۰	۶۴۰۹۰	۰
۳	20-5-2a	۸۵۴۶۰	۸۵۴۶۰	۰	۸۵۴۶۰	۰	۸۵۴۶۰	۰
۴	20-5-2b	۶۰۸۳۸	۶۰۸۳۸	۰	۶۰۸۳۸	۰	۶۰۸۳۸	۰
	میانگین	۷۵۳۶۲,۵	۷۵۳۶۳	۰	۷۵۳۶۳	۰	۷۵۳۶۳	۰
۵	50-5-1	۱۳۵۷۹۲	۱۳۸۶۴۴	۲,۱	۱۳۵۷۹۲	۰,۰	۱۳۹۴۵۸	۲,۷
۶	50-5-1b	۱۰۶۸۷۲	۱۰۹۵۴۴	۲,۵	۱۰۹۳۳۰	۲,۳	۱۰۶۸۷۲	۰
۷	50-5-2	۱۳۶۱۲۰	۱۳۷۶۱۷	۱,۱	۱۳۷۴۸۱	۱,۰	۱۳۶۱۲۰	۰
۸	50-5-2b	۱۱۲۳۲۵	۱۱۵۱۳۳	۲,۵	۱۱۴۲۳۵	۱,۷	۱۱۲۳۲۵	۰
۹	50-5-2bis	۱۲۴۸۷۰	۱۲۸۱۱۷	۲,۶	۱۲۴۸۷۰	۰,۰	۱۲۷۲۴۳	۱,۹
۱۰	50-5-2bbis	۱۰۹۲۲۹	۱۱۱۵۲۳	۲,۱	۱۱۰۱۰۳	۰,۸	۱۰۹۲۲۹	.
۱۱	50-5-3	۱۲۹۲۸۰	۱۳۰۷۰۲	۱,۱	۱۲۹۲۸۰	۰	۱۳۰۴۴۴	۰,۹
۱۲	50-5-3b	۱۰۴۹۴۰	۱۰۴۹۴۰	۰	۱۰۴۹۴۰	۰	۱۰۴۹۴۰	۰
	میانگین	۱۱۹۹۲۸,۵	۱۲۲۰۲۷	۱,۷۵	۱۲۰۷۵۴	۰,۷۲	۱۲۰۸۲۹	۰,۶۹
۱۳	100-5-1	۳۲۷۶۵۰	۳۳۷۱۵۲	۲,۹	۳۳۲۵۶۵	۱,۵	۳۲۷۶۵۰	۰
۱۴	100-5-1b	۲۶۳۲۲۶	۲۶۶۳۸۵	۱,۲	۲۶۷۴۳۸	۱,۶	۲۶۳۲۲۶	۰
۱۵	100-5-2	۲۳۵۹۳۱	۲۴۱۱۲۱	۲,۲	۲۴۰۱۷۸	۱,۸	۲۳۵۹۳۱	۰
۱۶	100-5-2b	۱۹۷۹۸۹	۲۰۱۹۴۹	۲,۰	۱۹۷۹۸۹	۰	۱۹۹۵۷۳	۰,۸
۱۷	100-5-3	۲۴۸۷۱۲	۲۵۰۷۰۲	۰,۸	۲۴۸۷۱۲	۰	۲۴۸۷۱۲	۰
۱۸	100-5-3b	۱۹۶۸۵۹	۲۰۱۷۸۰	۲,۵	۱۹۶۸۵۹	۰	۱۹۸۶۳۱	۰,۹
	میانگین	۲۴۵۰۶۱,۲	۲۴۹۸۴۸	۱,۹۳	۲۴۷۲۹۰	۰,۸۲	۲۴۵۶۲۰	۰,۲۸
۱۹	100-10-1	۳۷۲۴۵۸	۳۸۰۶۵۲	۲,۲	۳۷۸۰۴۵	۱,۵	۳۷۲۴۵۸	۰
۲۰	100-10-1b	۳۱۲۶۹۸	۳۱۸۹۵۲	۲,۰	۳۱۶۷۶۳	۱,۳	۳۱۲۶۹۸	۰
۲۱	100-10-2	۳۰۸۰۲۱	۳۱۲۹۴۹	۱,۶	۳۱۰۴۸۵	۰,۸	۳۰۸۰۲۱	۰
۲۲	100-10-2b	۲۶۱۳۷۵	۲۶۹۷۳۹	۳,۲	۲۶۱۳۷۵	۰	۲۶۳۷۲۷	۰,۹
۲۳	100-10-3	۳۱۰۵۶۴	۳۱۸۰۱۸	۲,۴	۳۱۰۵۶۴	۰	۳۱۳۳۵۹	۰,۹
۲۴	100-10-3b	۲۶۷۸۴۵	۲۶۷۸۴۵	۰	۲۷۱۳۲۷	۱,۳	۲۷۳۲۰۲	۲,۰
	میانگین	۳۰۵۴۹۳,۵	۳۱۱۳۵۹	۱,۹۰	۳۰۸۰۹۳	۰,۸۲	۳۰۷۲۴۴	۰,۶۳

همچنین برای نشـان دادن کیفیـت روش ابتکـاری ارائـه شـده، دو نمونه مثـال در حالـت تـک سـطحی از ادبیـات آورده شـده اسـت. مجموعه نمونـه مثـال اول مربـوط بـه پرودهـان اسـت کـه حالـت دوسطحی آن در ابتدای این بخش نشان داده شده است.

توضیحات جدول ۵ همانند جدول ۴ می باشد فقط بـا ایـن تفـاوت که نتایج درحالت تک سطحی مورد بررسی قرار گرفته اند. علاوه بر این، باید ذکر شود که روش خوشه بندی مـورد اسـتفاده در حالـت تک سطحی روش **FDUSR** می باشد که در مرحلـه قبـل جـواب

بهتری نسبت به دو روش دیگر ارائه داده است. نتایج روش GRASP از مقاله [۱۷] استخراج شده است. مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با روش موجود در ادبیات نشان می دهد که کیفیت روش پیشنهادی عملکرد بهتری ارائه می نماید. در این مجموعه مثال روش پیشنهادی در میانگین سه مورد از چهار مورد جواب بهتری ارائه می نماید.

جدول ۵. نتایج بدست آمده از مقایسه روش پیشنهادی در مجموعه مثال پرودهان در حالت تک سطحی

ردیف	شماره مثال	تعداد مشتریان	تعداد انبارها	حد پایین	GRASP			روش پیشنهادی		
					هزینه	Gap (٪)	زمان حل	هزینه	Gap (٪)	زمان حل
۱	20-5-1a	۲۰	۵	۵۴۷۹۳	۵۵۰۲۱	۰,۴۲	۰.۲	۵۴۷۹۳	۰	۱۶
۲	20-5-1b	۲۰	۵	۳۹۱۰۴	۳۹۱۰۴	۰	۰.۲	۳۹۱۰۴	۰	۱۷
۳	20-5-2a	۲۰	۵	۴۸۹۰۸	۴۸۹۰۸	۰	۰.۱	۴۸۹۰۸	۰	۲۲
۴	20-5-2b	۲۰	۵	۳۷۵۴۲	۳۷۵۴۲	۰	۰.۲	۳۷۵۴۲	۰	۱۷
	میانگین	–	–	۴۵۰۸۶,۸	۴۵۱۴۳,۷۵	۰,۱۰	–	۴۵۰۸۶,۸	۰	-
۵	50-5-1	۵۰	۵	۸۷۱۰۹	۹۰۶۳۲	۴,۰۴	۱.۸	۹۱۶۸۵	۵,۲۵	۳۳
۶	50-5-1b	۵۰	۵	۶۱۵۹۵	۶۴۷۶۱	۵,۱۴	۱.۸	۶۴۵۴۹	۴,۸۰	۴۰
۷	50-5-2	۵۰	۵	۸۶۰۵۵	۸۸۷۸۶	۳,۱۷	۲.۴	۸۷۱۲۴	۱,۲۴	۳۸
۸	50-5-2b	۵۰	۵	۶۵۷۸۷	۶۸۰۴۲	۳,۴۳	۲.۵	۶۷۵۹۱	۲,۷۴	۴۳
۹	50-5-2bis	۵۰	۵	۸۳۴۳۹	۸۴۰۵۵	۰,۷۴	۱.۷	۸۴۰۹۴	۰,۷۹	۴۳
۱۰	50-5-2bbis	۵۰	۵	۵۱۸۲۲	۵۲۰۵۹	۰,۴۶	۲.۶	۵۱۹۶۷	۰,۲۸	۳۸
۱۱	50-5-3	۵۰	۵	۸۴۰۷۵,۸	۸۷۳۸۰	۳,۹۳	۲.۳	۸۷۱۵۴	۳,۶۶	۳۶
۱۲	50-5-3b	۵۰	۵	۶۱۶۰۷	۶۱۸۹۰	۰,۴۶	۲.۰	۶۱۹۲۳	۰,۵۱	۵۰
	میانگین	–	–	۷۲۶۸۶,۲۶	۷۴۷۰۰,۶۳	۲,۶۷	–	۷۴۴۶۰,۸۸	۲,۴۱	-
۱۳	100-5-1	۱۰۰	۵	۲۷۲۰۸۲	۲۷۹۴۳۷	۲,۷۰	۲۷.۶	۲۷۸۹۱۷	۲,۵۱	۴۲
۱۴	100-5-1b	۱۰۰	۵	۲۰۷۰۳۷	۲۱۶۱۵۹	۴,۴۱	۲۳.۲	۲۱۶۴۸۵	۴,۵۶	۴۴
۱۵	100-5-2	۱۰۰	۵	۱۸۶۹۱۶	۱۹۹۵۲۰	۶,۷۴	۱۷.۴	۱۹۸۳۲۴	۶,۱۰	۶۹
۱۶	100-5-2b	۱۰۰	۵	۱۵۳۸۲۷	۱۵۹۵۵۰	۳,۷۲	۲۲.۴	۱۵۷۳۸۱	۲,۳۱	۵۶
۱۷	100-5-3	۱۰۰	۵	۱۹۴۲۰۲	۲۰۳۹۹۹	۵,۰۴	۲۱.۶	۲۰۴۳۵۷	۵,۲۳	۴۸
۱۸	100-5-3b	۱۰۰	۵	۱۴۹۹۸۵	۱۵۴۵۹۶	۳,۰۷	۲۰.۳	۱۵۸۷۴۵	۵,۸۴	۵۹
	میانگین	–	–	۱۹۴۰۰۸,۱۶۸	۲۰۲۲۱۰,۱۷	۴,۲۸	–	۲۰۲۳۶۸,۱۷	۴,۴۳	-
۱۹	100-10-1	۱۰۰	۱۰	۲۵۸۲۴۲	۳۲۳۱۷۱	۲۵,۱۴	۳۷.۴	۳۲۳۹۵۷	۲۵,۴۵	۹۰
۲۰	100-10-1b	۱۰۰	۱۰	۲۱۸۸۲۵	۲۷۱۴۷۷	۲۴,۰۶	۲۹.۵	۲۶۹۶۸۶	۲۳,۲۴	۹۲
۲۱	100-10-2	۱۰۰	۱۰	۲۲۶۹۰۴	۲۵۴۰۸۷	۱۱,۹۸	۳۹.۱	۲۵۳۷۶۴	۱۱,۸۴	۸۹
۲۲	100-10-2b	۱۰۰	۱۰	۱۹۴۶۲۷	۲۰۶۵۵۵	۶,۱۳	۲۹.۸	۲۰۷۳۸۲	۶,۵۵	۸۰
۲۳	100-10-3	۱۰۰	۱۰	۲۲۲۳۵۳	۲۷۰۸۲۶	۲۱,۸۰	۳۵.۴	۲۶۲۵۴۷	۱۸,۰۸	۸۰
۲۴	100-10-3b	۱۰۰	۱۰	۱۸۹۳۰۸	۲۱۶۱۷۳	۱۴,۱۹	۳۹.۸	۲۱۶۳۵۳	۱۴,۲۹	۹۵
	میانگین	–	–	۲۱۸۳۷۶,۵	۲۵۷۰۴۸,۱۷	۱۷,۲۲	–	۲۵۶۷۰۴,۳۳	۱۶,۵۸	-

توضیحات جدول ۵ همانند جدول ۴ می باشد فقط با این تفاوت که نتایج درحالت تک سطحی مورد بررسی قرار گرفته اند. علاوه بر این، باید ذکر شود که روش خوشه بندی مورد استفاده در حالت تک سطحی روش **FDUSR** می باشد که در مرحله قبل جواب بهتری نسبت به دو روش دیگر ارائه داده است. نتایج روش GRASP از مقاله [۱۵]استخراج شده است. مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با روش موجود در ادبیات نشان می دهد که کیفیت روش پیشنهادی عملکرد بهتری ارائه می نماید. در این مجموعه مثال روش پیشنهادی در میانگین سه مورد از چهار مورد جواب بهتری ارائه می نماید.

مجموعه مثال دوم در حالت تک سطحی مربوط به بارتو می‌باشد از ۱۳ مثال مختلف که شامل مثال‌هایی بین ۲۰ تا ۱۵۰ مشتری تشکیل شده است [۱۶]. در جدول ۶ مشخصات این مجموعه آورده شده است. تعداد مشتریان و تعداد انبارهای بالقوه در هر نمونه مثال به ترتیب در ستون های سوم و چهارم آورده شده است. حد پایین هر مثال در ستون پنجم اشاره شده است. نتایج (شامل هزینه، Gap و زمان حل)حاصل از پیاده سازی روش فراابتکاری فرایند جستجوی تصادفی تعاملی حریصانه (GRASP) می باشد به ترتیب در ستون های ششم تا هشتم بیان شده است. نتایج حاصل از پیاده سازی روش پیشنهادی ساواران [۲۳] به ترتیب در ستون های نهم تا یازدهم ذکر شده است. درنهایت نتایج حاصل از اجرای

روش پیشنهادی این مقالـه کـه شـامل هزینـه، Gap و زمـان حـل الگوریتم است به ترتیب در ستون های دوازدهم تا چهاردهم اشـاره شده است. همانطور که از جدول مشخص است روش ابتکاری ارائـه شده از دو روش دیگر نسبت به حد پایین جواب بهتـری ارائـه مـی نماید.

جدول ۶. نتایج بدست آمده از مقایسه روش پیشنهادی در مجموعه مثال بارتو در حالت تک سطحی

ردیف	شماره مثال	تعداد مشتریان	تعداد انبارها	حد پایین	GRASP			Savran et.al			روش پیشنهادی		
					هزینه	Gap(٪)	زمان حل	هزینه	Gap(٪)	زمان حل	هزینه	Gap(٪)	زمان حل
۱	Gaskell67-32×5	۳۲	۵	۵۶۲,۲	۵۷۱,۹	۹,۷	-	۵۷۱,۷	۱,۷	-	۵۷۱,۷	۱,۷	۳۱
۲	Gaskell67-21*5	۲۱	۵	۴۲۴,۹	۴۲۹,۶	۱,۱	-	۴۳۷,۱	۲,۹	-	۴۲۴,۹	۰,۰	۱۸
۳	Gaskell67-32×5	۳۲	۵	۵۰۴,۳	۵۰۴,۳	۰,۰	-	۵۰۴,۳	۰,۰	-	۵۰۴,۳	۰,۰	۴۰
۴	Gaskell67-22×5	۲۲	۵	۵۸۵,۱	۵۸۵,۱	۰,۰	-	۵۸۵,۱	۰,۰	-	۵۸۵,۱	۰,۰	۲۷
۵	Gaskell67-36×5	۳۶	۵	۴۶۰,۴	۴۶۰,۴	۰,۰	-	۴۶۰,۴	۰,۰	-	۴۶۰,۴	۰,۰	۴۶
۶	Christofides69-50×5	۵۰	۵	۵۶۵,۶	۵۹۹,۱	۵,۹	-	۵۹۱,۷	۴,۶	-	۵۹۵,۶	۰,۰	۴۳
۷	Min92 -27×5	۲۷	۵	۳۰۶۲	۳۰۶۲	۰,۰	-	۳۰۶۲,۰	۰,۰	-	۳۰۶۴	۰,۱	۱۶
۸	Gaskell67-29×5	۲۹	۵	۵۱۲,۱	۵۱۵,۱	۰,۶	-	۵۰۸,۹	۰,۶	-	۵۱۲,۱	۰,۰	۱۴
۹	Christofides69-100×10	۱۰۰	۱۰	۸۱۸	۸۶۱	۵,۳	-	-	-	-	۸۶۲	۵,۴	۹۱
۱۰	Christofides69-75×10	۷۵	۱۰	۷۹۸,۷	۸۶۱,۶	۷,۹	-	-	-	-	۸۷۶	۹,۷	۷۳
۱۱	Min92 -134×8	۱۳۴	۸	۵۴۲۳	۵۹۶۵	۱۰,۰	-	۶۲۳۸,۰	۱۵,۰	-	۶۰۸۵	۱۲,۲	۹۰
۱۲	Daskin95-150×10	۱۵۰	۱۰	۴۳۴۰۶	۴۴۶۲۵,۲	۲,۸	-	۴۶۶۴۲,۷	۷,۵	-	۴۵۳۶۷	۴,۵	۱۰۱
۱۳	Daskin95-88×8	۸۸	۸	۳۵۰,۵	۳۵۶,۹	۱,۸	-	۳۸۴,۹	۹,۸	-	۳۷۰,۵	۵,۷	۷۵
	میانگین	-	-	۴۴۲۱	۴۵۶۹	۳,۴۷	-	۴۷۵۲,۲	۳,۸	-	۴۶۳۴,۵	۳	-

۶. نتیجه گیری و کاربرد

در این مقاله گسترش یافته مسئله مکان‌یابی- مسیریابی در حالـت دو سطحی درنظر گرفته شـد و بـرای حـل آن یـک روش ابتکـاری ترکیبی دوفازی تکراری بر مبنای شبیه سازی تبرید ارائه گردید. در روش ابتکاری ارائه شده و در فاز اول ساخت جـواب اولیـه و در فـاز دوم بهبود جواب اولیه مد نظر قرار می گیرد. و در انتهـای فـاز دوم مجددا به فاز اول برگشته و با تولید جواب اولیه متفاوت، فاز بهبـود اجرا می شود. جهت بهبـود عملکـرد روش ابتکـاری، مسـاله بـه دو سطح تقسیم بندی شده اسـت. سـطح اول بـین تسـهیلات اولیـه و تسهیلات ثانویـه و سـطح دوم بـین تسـهیلات ثانویـه و مشـتریان. مساله در هر فاز برای هر دو سطح بیان شده، اجرا میشـود. سـاخت جواب اولیه سطح دوم در فاز دوم شامل دو مرحله می باشد که در مرحله اول خوشه بندی مشتریان اجرا می‌شـود. سـپس در مرحلـه دوم مسیریابی مشتریان هر خوشه اجرا می گردد. در این روش ابتکاری سه استراتژی خوشه بندی ارائه شده است که هـر کـدام از این استراتژی ها جـواب اولیـه متفـاوتی ایجـاد مـی کننـد. پـس از بازگشایی انبارهای سطح ثانویه و برای ایجاد جواب اولیـه در سـطح اول بین تسهیلات بازگشایی شده ثانویه و تسهیل اولیـه مسـیریابی انجام میشود. فاز دوم این روش ابتکاری نیز در دو سطح اجـرا مـی شود. سطح دوم شامل دو مرحله می باشد. مرحله اول بهبود جواب اولیه به صورت هوشمند است که در ایـن مرحلـه عملگرهـای ارائـه شده با تغییراتی کوچک اما هدفمند در جواب فعلـی، جـواب هـای همسایه بهتری ایجاد می نمایند. در این مرحله، مرحله همگرایی به سمت جواب بهینه اتفاق می افتد. در مرحلـه دوم ایـن فـاز جـواب های همسایه ایجاد شده به صورت تصادفی تولیـد مـی شـوند. ایـن مرحله، مرحله واگرایی روش پیشنهادی می باشد که برای پیمـایش بیشتری از فضای جواب ها اجرا می شود. در سطح اول جواب هـای تولید شده به صورت تصادفی انجام می شود. در چارچوب کلی فـاز

دوم، برای فرار از بهینه محلی از روش فراابتکاری شبیه سازی تبرید استفاده شده است.

برای ارزیابی کیفیت روش پیشنهادی، یک نمونه مثال مساله در حالت دو سطحی و دو نمونه مثال ۲۴ تایی و ۱۳ تایی از ادبیات در نظر گرفته شده است که نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی با نتایج روش‌های فراابتکاری موجود در ادبیات و همچنین حد پایین ارائه شده برای این مثال ها مقایسه گردید. مقایسه نتایج بدست آمده کارا بودن روش پیشنهادی را نشان می دهد.

جهت تحقیقات آتی موارد زیر پیشنهاد می گردد: استفاده از رویکرد پیشنهادی خوشه بندی در مسائل مختلف مسیریابی مثل مساله مسیریابی وسیله نقلیه، مسیریابی موجودی و غیره که کیفیت جواب اولیه تاثیر زیادی در کیفیت جواب نهایی دارد. علاوه بر این، در نظر گرفتن این مساله در حالت چند دوره ای از دیگر پیشنهاد آتی برای ادامه کار این مقاله می باشد.

پی نوشت

1 Greedy Randomized Adaptive Search Procedure
2 Sub-Tour
3 Bin Packing Problem
4 Sum of Weighted Distance and Used_Capacity
5 First Distance, Second used Capacity Ranking(FDSUR)

مراجع

[۱] عیسی بخش، مونا.، حسینی مطلق، سید مهدی.، قطره سامانی، محمدرضا.، « مسیریابی دوره‌ای استوار وسایل نقلیه در مراقبت بهداشت خانگی بیماران دیالیز صفاقی»، مجله مهندسی حمل و نقل، جلد ۸، شماره ۲، صفحه ۲۵۲-۲۳۱، ۱۳۹۵.

[۲] قطره سامانی، محمدرضا.، حسینی مطلق، سید مهدی.، یعقوبی، سعید.، جوکار، عباس.، « ارائه یک مدل احتمالی استوار چندهدفه برای مسأله مکان یابی- مسیریابی دوسطحی با گذاشت و برداشت همزمان و پنجره های زمانی»، مجله مهندسی حمل و نقل، جلد ۸، شماره ۱، صفحه ۷۳-۵۳، ۱۳۹۵.

[3] Hosseini-Motlagh S.M., Ahadpour P., Haeri A., "Proposing an approach to calculate headway intervals to improve bus fleet scheduling using a data mining algorithm", Journal of Industrial and Systems Engineering, Vol. 8, No. 4, PP. 72-86, 2017.

[4] Cheraghi S. & Hosseini-Motlagh S.M., "Optimal blood transportation in disaster relief considering facility disruption and route reliability under uncertainty", International Journal of Transportation Engineering, Vol. 4, No. 3, PP. 225-254, 2017.

[5] Majidi S., Hosseini-Motlagh S.M., Yaghoubi S., & Jokar A.,"Fuzzy green vehicle routing problem with simultaneous pickup—delivery and time windows", RAIRO-Operations Research, 2017

[6] Nikkhah Qamsari, AS., Hosseini-motlagh, S.M., Jokar, A. " A Two-Phase Hybrid Heuristic Method for a Multi-Depot Inventory-Routing Problem" International Journal of Transportation Engineering , Vol. 4, No. 4, pp. 287-303, 2017.

[7] Majidi ،S ،Hosseini-motlagh ،S.M ،. Yaghoubi ،S & Jokar ،A. An Adaptive Large Neighborhood Search Heuristic for the Green Vehicle Routing Problem with Simultaneously Pickup and Delivery and Hard Time Windows. Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems, Vol. 3, No. 6, pp. 149-165, 2016.

[8] Contardo ، C ،.Hemmelmayr ، V و .Crainic ، T .G ،.Lower and upper bounds for the two-echelon capacitated location-routing problem .Computers & Operations Research Vol. 39, No. 12, pp. 3185-3199, 2012.

[9] Drex ،M و .Schneider ،M ،.A Survey of Variants and Extensions of the Location-Routing Problem .European Journal of Operational Research, Vol. 241, No. 2, pp. 283-308, 2015.

[10] Gonzalez-Feliu ،J ،. The multi-echelon location-routing problem: Concepts and methods for tactical and operational planning .Technical report, Laboratoired'Economie des Transports, Lyon, Franc, 2010.

[11] Jacobsen ، S و .Madsen ، O ،.A comparative study of heuristics for a two-level routing-location problem .European Journal of Operational Research, Vol. 5. No. 6, pp. 378-387, 1980.

[12] Nguyen ،V.-P ،.Prins ،C و .Prodhon ،C ،.A multi-start iterated local search with tabu list and path relinking for the two-echelon location-routing problem .Engineering Applications of Artificial Intelligence، Vol. 24, pp. 56-71, 2012.

[13] Nguyen ،V.-P ،.Prins ،C و .Prodhon ،C ،. Solving the two-echelon location routing problem by a GRASP reinforced by a learning process and path relinking .Issue 216, 2012.

[14] Prin ،C ،.Prodhon ،C و .Wolfler ،R ،.Solving the capacitated location-routing problem by a GRASP complemented by a learning process and a path relinking .A Quarterly Journal of Opserations Research ،Vol. 3, No. 4, pp. 221-238, 2006.

[15] sterle ،c ،.Location-routing Models and Methods for Freight Distribution and Infomobility in City Logistics ، .Ph.D. Thesis, Universita ́Degli Studi di Napoli ‘‘Federico II ,’’Naples, Italy, 2010.

[16] Crainic, T. G., Mancini, S., Perboli, G., & Tadei, R. Multi-start heuristics for the two-echelon vehicle routing problem. Technical report 2010-30, CIRRELT, Canada, 2010.

[17] V.-P. Nguyen, C. Prins, C. Prodhon. Solving the two-echelon location routing problem by a GRASP reinforced by a learning process and path relinking. European Journal of Operational Research, Vol. 216, pp. 113-126, 2012.

[18] Sterle, C. Location-routing models and methods for freight distribution and info mobility in city logistics. Technical report CIRRELT-2010-38, CIRRELT, Canada, 2010.

[19] L. Jin, Y. Zhu, H. Shen, T. Ku. Research on two-layer location-routing problem and optimization algorithm. International Journal of Advancements in Computing Technology, Vol. 2, pp. 102–108, 2010.

[20] V. Hemmelmayr, J.-F. Cordeau, T.G. Crainic. An adaptive large neighborhood search heuristic for two-echelon vehicle routing problems arising in city logistics Computers 38; Operations Research, Vol. 39, pp. 3215–3228, 2012.

[21] I.A. Martínez-Salazar, J. Molina, F. Ángel-Bello, T. Gómez, R. Caballero. Solving a bi-objective transportation location routing problem by metaheuristic algorithms. European Journal of Operational Research, Vol. 234, pp. 25–36, 2014.

[22] Govindan, A. Jafarian, R. Khodaverdi, K. Devika. Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food. International Journal of Production Economics, Vol. 152, pp. 9–28, 2014.

[23] Savran, A. Musaoglu, E. Yildiz, C. Fatih M. An Efficient Solution to Location-Routing Problems via a Two-Phase Heuristic Bubble Approach. 4th IEEE International Conference on Advanced logistics and Transport. 2015.