

مسئله مسیریابی وسائط نقلیه با در نظر گرفتن ایجاد توازن در توزیع کالاها با استفاده از الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی انبوه ذرات

رضا توکلی مقدم*، استاد، گروه مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
نرگس نوروزی، دانشجوی دکترا، گروه مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
علیرضا سلامت‌بخش ورجوی، دانش‌آموخته کارشناس ارشد، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
مهدی علی‌نقیان، دکترای مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع و سیستم، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

E-mail: tavakoli@ut.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۰/۰۳/۰۱ - پذیرش: ۱۳۹۰/۰۹/۰۶

چکیده

در این مقاله، با توجه به غیریکسان بودن ظرفیت وسائط نقلیه توزیع‌کننده کالا، حالت جدیدی از مسیریابی وسائط نقلیه به منظور ایجاد توازن بین حجم کالای قابل حمل و ظرفیت وسیله نقلیه ارائه می‌شود. با توجه به کاربرد موضوع در دنیای واقعی، حجم قابل توجهی از میزان درآمد توزیع‌کنندگان به میزان کالایی است که توزیع می‌کنند. به همین دلیل میزان کالایی که توزیع‌کنندگان حمل می‌کنند، باید متناسب با ظرفیت وسائط نقلیه آنها متوازن گردد تا رضایت رانندگان حداکثر گردد. همچنین، کاهش هزینه‌های حمل و نقل در اثر پیدا کردن مسیرهای کوتاه‌تر باعث افزایش سود توزیع‌کننده کالا شده و این امر در نهایت منجر به کاهش قیمت‌ها می‌شود. هدف این مقاله ارائه مدلی است که با ایجاد توازن در مقدار کالای توزیع شده نسبت به ظرفیت وسائط نقلیه در یک ناوگان ناهمگن، حداکثر رضایت برای رانندگان ایجاد گردد و از سویی دیگر با کاهش هزینه‌های حمل و نقل سود ناشی از توزیع افزایش یابد. مسئله مسیریابی وسائط نقلیه مورد بررسی از نوع مسایل NP-Hard است. به همین دلیل، به منظور حل این مسئله در ابعاد بزرگ روش بهبود یافته بهینه‌سازی انبوه ذرات (IPSO) استفاده می‌شود. به منظور نشان دادن کارایی الگوریتم پیشنهادی، تعدادی از مسایل در ابعاد کوچک و بزرگ توسط این الگوریتم و روش حل دقیق شاخه و کران حل می‌گردد که مقایسه این دو روش نشان‌دهنده کارایی الگوریتم پیشنهادی می‌باشد. در نهایت به بررسی یک شرکت توزیع به عنوان نمونه موردی پرداخته می‌شود. نتایج حاصل، نشان‌دهنده کاهش قابل توجه هزینه‌های آن شرکت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مسیریابی وسائط نقلیه، توازن در بار وسیله نقلیه، الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی انبوه ذرات

۱- مقدمه

نقلیه با پنجره زمانی^۱ (VRPTW) در حالت محدود بودن طول مدت سفر از الگوریتم ژنتیک^۲ (GA) استفاده کردند. این الگوریتم از دو قسمت تشکیل شده بود؛ قسمت اول مربوط به تخصیص مشتری‌ها به وسائط نقلیه بود که از الگوریتم ژنتیک بهره‌گیری شده بود و در قسمت دوم از یک روش بهینه‌سازی

مسئله مسیریابی وسائط نقلیه برای اولین بار توسط دنزیگ و رامسر (۱۹۹۵) ارائه گردید. در ادامه به منظور حل آن، کلارک و رایب (۱۹۹۴) الگوریتم صرفه‌جویی را برای حل^۱ (VRP) پیشنهاد دادند که مبنای بسیاری از تحقیقات بعدی قرار گرفت. در ادامه تنجیاه، نیگارد و ژوئل (۱۹۹۱) برای مسئله مسیریابی وسیله

دادند که در آن علاوه بر در نظر گرفتن ظرفیت تقاضاهای وسائط نقلیه، تقاضاهای مشتریان نیز به صورت تابعی از احتمال در نظر گرفته شده بود. لین (۲۰۱۱) مسئله مسیریابی وسائط نقلیه با حالت برداشت و گذاشت را همراه با پنجره زمانی توسعه داد و به حل آن پرداخت. بر اساس جنبه‌های شناسایی شده از مطالعات مروری (VRP) و نیز جنبه‌های جدید مشاهده شده از مسایل دنیای واقعی، این مقاله به دنبال طراحی و حل مدلی برای مسیریابی وسائط نقلیه با توجه به کسب رضایت توزیع‌کنندگان از طریق ایجاد توازن در توزیع کالا است. یکی از نوآوری‌های این مقاله در نظر گرفتن دو تابع هدف کمینه کردن هزینه عبور از مسیرها و بیشینه نمودن رضایت توزیع‌کنندگان از طریق بالانس توزیع کالاها بر اساس ظرفیت وسیله نقلیه آنها به‌طور همزمان می‌باشد. بر اساس مشاهدات واقعی، میزان درآمد توزیع‌کنندگان بر اساس میزان توزیع کالاهای آنان تعیین می‌گردد. توزیع‌کنندگان می‌بایست در زمان مشخصی، مقدار مشخصی از کالا را بین مشتریان توزیع کنند. به همین جهت، به منظور کسب حداکثر کردن رضایت توزیع‌کنندگان مسیرها باید طوری تعیین گردند که تمام توزیع‌کنندگان مقدار کالای به‌طور متوسط مساوی را با توجه به ظرفیت وسیله نقلیه در بین مشتریان توزیع کنند که این مسئله در مسایل کلاسیک مدل مسیریابی وسائط نقلیه در نظر گرفته نشده است. از سوی دیگر، کاهش هزینه توزیع با در نظر گرفتن سایر قیود مسئله، شامل قیود ظرفیت وسائط نقلیه، زمان توزیع به منظور کمینه‌کردن هزینه حمل نیز مورد توجه قرار گرفته شده است. همچنین، ثابت شده است که مسئله مسیریابی وسائط نقلیه یک مسئله NP-Hard است (لنسترا و رینوی کان، ۱۹۸۱) و استفاده از روش‌های دقیق در مورد مسایل با ابعاد به نسبت بزرگ نمی‌تواند توجیه‌پذیر باشد. به همین دلیل، با افزایش ابعاد مسئله بایستی از الگوریتم‌های فراابتکاری به منظور حل مسایل استفاده شود. به همین منظور الگوریتم بهبودیافته بهینه‌سازی انبوه ذرات^{۱۲} (IPSO) ارایه شده است و به منظور اثبات کارایی این الگوریتم پیشنهادی تعدادی مسایل در ابعاد کوچک حل و با جواب‌های به‌دست آمده از شاخه و کران مقایسه خواهد شد و سپس برای ابعاد بزرگ مسایل نمونه موجود در ادبیات موضوع بررسی می‌گردد. در نهایت به‌عنوان نمونه موردی، نتایج اجرای این مدل در یک شرکت توزیع‌کننده مواد لبنی در شهر قزوین ارایه خواهد شد.

محلی مسیرها^۴ استفاده شده بود. با پیشرفت‌های اخیر در حل این‌گونه مسایل و با در نظر گرفتن فرضیات و قیود پیچیده‌تر، روش‌های فراابتکاری، مانند روش الگوریتم ژنتیک (پاتوین و بنجیو، ۱۹۹۴)، جستجوی ممنوع^۵ (TS) (هو و هاگلند، ۲۰۰۴)، سیستم بهینه‌سازی مورچگان^۶ (ACO) (ریمن، استامر و دونر، ۲۰۰۲) و شبیه‌سازی تبرید^۷ (SA) (چیان و راسل، ۱۹۹۶) و لین و همکاران، ۲۰۰۹) توسعه داده شده است. در همین راستا، همچنین، قنادپور و قیصری (۱۳۸۷) یک مسئله مسیریابی وسائط نقلیه (لوکوموتیوها) با پنجره زمانی در نظر گرفتند که هدف از آن کمینه نمودن کل هزینه تخصیص لوکوموتیوها با در نظر گرفتن هزینه سفر، مسافت و زمان سفر بود که این مدل را توسط الگوریتم ژنتیک حل شد و نتایج حاصل با نتایج به‌دست آمده توسط شاخه و کران مقایسه گردید. همچنین آی، کاجیت و ویچیانکول (۲۰۰۹)، مسئله مسیریابی وسائط نقلیه با برداشت و گذاشت^۸ (VRPWP) که توسط الگوریتم بهینه‌سازی ذرات^۹ (PSO) حل می‌شد را ارایه کردند. همچنین، آلوارنگا و همکاران (۲۰۰۵) یک رویکرد سه مرحله‌ای را برای حل مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره زمانی (VRPTW) پیشنهاد کردند. در این الگوریتم هر دو تابع هدف کمینه کردن تعداد وسایل نقلیه و کمینه کردن فاصله طی شده در نظر گرفته شده است. به همین منظور، ابتدا یک الگوریتم ژنتیک با انتخاب رقابتی سلسله مراتبی اعمال می‌شود که هدف از آن کمینه کردن تعداد وسایل مورد نیاز است، سپس یک رویکرد دو مرحله‌ای برای کمینه کردن فاصله به عنوان هدف دوم اعمال می‌گردد.

در ادامه چن، ونگ و وو (۲۰۰۶) الگوریتم (PSO) را در حالت گسسته برای مسایل مسیریابی وسائط نقلیه با ظرفیت محدود ارایه کردند. در ادامه نیز بریوب، جندروا و پاتوین (۲۰۰۹) به بررسی مسایل چند هدفه و بررسی حل آنها به وسیله روش قید E پرداختند و آن را با ارایه روش‌های فراابتکاری سریع در حالت چندهدفه حل کردند. همچنین به منظور ایجاد بالانس در مسیرها جوزیفیس، سمت و تالبی (۲۰۰۹) به بررسی مسیریابی وسائط نقلیه با هدف حداقل کردن طول مسیر و بالانس کردن مسیرها با استفاده از روش الگوریتم تکاملی^{۱۱} (ES) پرداختند. لی و ینگ (۱۹۹۹)، توازن در مسیرها^{۱۱} در مسئله مسیریابی وسائط نقلیه را مورد بررسی قرار دادند. لی، لاپورته و گائو (۲۰۱۱) مدلی را ارایه

۲- مدل ریاضی

به منظور بیان مدل ابتدا پارامترهای زیر تعریف می‌گردد:

n : تعداد نقاط (گره‌های) تقاضا (قرارگاه مرکزی در گره $i=0$ قرار دارد).

d_i : تقاضای مشتری i

t_i^v : زمان مورد نیاز برای ارائه خدمت به مشتری i توسط وسیله نقلیه v

t_{ij}^v : زمان مورد نیاز جهت طی سویه (i, j) توسط وسیله نقلیه v
 tv : حداکثر زمان خدمت دهی جهت و زمان طی مسیر، توسط وسیله نقلیه v

nv : تعداد خودروهای در دسترس

k_v : ظرفیت هر خودرو

C_{ij} : هزینه سفر (طول فاصله) بین گره‌های i و j

p^+, p^- : به منظور خطی سازی مدل نشان داده شده است.

es_v : میزان فروش هر یک از وسایط نقلیه

x_{ij}^v : اگر وسیله نقلیه v مسیر بین مشتری i و مشتری j را طی کند، متغیر تصمیم برابر ۱ است. در غیر این صورت، برابر صفر است.

لذا، مدل ریاضی VRP پیشنهادی، به صورت زیر است:

$$\min Z_2 = \sum_{v=1}^{nv} \frac{(p_v^+ - p_v^-)}{nv - 1} \tag{1}$$

$$\min Z_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{nv} C_{ij} x_{ij}^v \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^{nv} x_{ij}^v = 1 \quad ; \quad j = 2, \dots, n \tag{2}$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{nv} x_{ij}^v = 1 \quad ; \quad i = 2, \dots, n \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ip}^v - \sum_{j=1}^n x_{pj}^v = 0; \quad p = 1, 2, \dots, n \quad v = 1, 2, \dots, nv \tag{4}$$

$$mes = \frac{\sum_{v=1}^{nv} (\sum_{i=1}^n (d_i) (\sum_{j=1}^n x_{ij}^v) / k_v)}{nv} \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^n (d_i) (\sum_{j=1}^n x_{ij}^v) / k_v - mes = p_v^+ - p_v^- \quad \forall \quad v = 1, \dots, nv \tag{6}$$

$$\sum_{i=1}^n t_i^v \sum_{j=1}^n x_{ij}^v + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij}^v x_{ij}^v \leq tv; \quad v = 1, 2, \dots, nv \tag{7}$$

$$\sum_{i=2}^n x_{ij}^v \leq 1 \quad ; \quad v = 1, 2, \dots, nv \tag{8}$$

$$\sum_{i=2}^n x_{il}^v \leq 1 \quad ; \quad v = 1, 2, \dots, nv \tag{9}$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j \in S} \sum_{j \notin S} x_{ij}^k \leq |S| - r(S) \tag{10}$$

$$\forall S \subseteq A - \{1\} \quad S \neq \emptyset$$

$$x \in S \quad x_{ij} \in [0, 1] \quad t_i \geq 0, t_1 = 0 \tag{11}$$

تابع هدف این مدل پیشنهادی از دو جزء تشکیل شده است که جزء اول تابع هدف به دنبال کاهش هزینه‌های حمل و نقل و جزء دوم تابع هدف به دنبال حداکثر ساختن رضایت توزیع‌کنندگان از طریق ایجاد توازن در توزیع کالاها می‌باشد. قیود ۲ و ۳ نشان‌دهنده آن است که هر گره فقط از یک وسیله نقلیه، خدمت می‌گیرد. قید ۴، بیان‌کننده آن است که اگر وسیله نقلیه‌ای به گره‌ای وارد شود بایستی از آن نیز خارج گردد تا پیوستگی مسیرها برقرار شود. قید ۵، بیانگر میانگن نرمال شده فروش هر یک از وسایط نقلیه است. قید ۶ به منظور تبدیل معادله قدر مطلق به معادله خطی است. قید ۷ بیانگر آن است که مجموع زمان سرویس‌دهی در گره‌ها و مدت زمان عبور از مسیرها توسط وسایط نقلیه نباید بیشتر از tv باشد، در غیر این صورت هم رضایت مشتریان و هم رضایت توزیع‌کنندگان کاهش می‌یابد. قیدهای ۸ و ۹ بیانگر آن هستند که مبدأ و مقصد وسایط نقلیه، دپو می‌باشد و در نهایت رابطه ۱۰ مربوط به حذف زیرگردش‌ها می‌باشد (برودی، ۱۹۸۸).

لازم به ذکر است که قدر مطلق اختلاف میزان فروش هر یک از وسایط نقلیه به‌عنوان تابع هدف دوم Z_2 در نظر گرفته شده است. به همین دلیل به منظور محاسبه واریانس اختلاف فروش وسایط نقلیه ابتدا میزان فروش هر یک از وسایط نقلیه محاسبه شده که با sv نشان داده شده‌اند. روابط ۱۲ و ۱۳ نشان‌دهنده نحوه محاسبه es می‌باشند. مقدار es میزان فروش نرمال شده وسیله نقلیه با توجه به ظرفیت آن است.

$$sv = \sum_{i=1}^n d_i \sum_{j=1}^n x_{ij}^v \quad \forall \quad v = 1, \dots, nv \tag{12}$$

$$es = sv / k_v \tag{13}$$

۳-۱- الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی انبوه ذرات

(IPSO)

همان‌طور که بیان شد، در حل این مدل از الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی انبوه ذرات (IPSO) استفاده شده است. الگوریتم IPSO همانند الگوریتم بهینه‌سازی انبوه‌ذرات (PSO) می‌باشد با این تفاوت که در هر بار محاسبه مقدار تابع هدف از هر دو روش بهبود، تعویض گره در تور داخلی و روش $2-opt^*$ که در ادامه توضیح داده خواهد شد، استفاده می‌شود. با استفاده از این روش، زمان حل مسئله نسبت به زمان حل مسئله توسط PSO تا حدی بیشتر می‌شود ولی جواب‌های ارایه شده توسط IPSO نسبت به جواب‌های ارایه شده توسط PSO به مراتب دارای کیفیت بهتری می‌باشند.

الگوریتم IPSO بر اساس قوانین حاکم بر حرکت گروه‌های پرندگان و ماهیان نشأت گرفته است. در این روش، هر ذره تلاش می‌کند فاصله خاصی را نسبت به دیگر ذرات گروه ایجاد کرده و به مرور آن را بهبود بخشد. به این منظور، هر ذره دارای حافظه‌ای است که در آن سابقه حرکت‌های موفق و مؤثر گذشته خود را در آن ذخیره کرده است، و از آن به منظور بهبود جواب‌های مسئله بهره می‌برد (کندی و ابرهات، ۱۹۹۴). اگر d بُعد فضای جستجو تعریف شود، آنگاه هر ذره در الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی انبوه ذرات از سه بردار d بُعدی تشکیل می‌شود. برای ذره همانند i -ام، این سه بردار عبارتند از: x_i موقعیت فعلی ذره، V_i سرعت حرکت ذره و p_{best} بهترین موقعیتی که ذره تا به حال تجربه کرده است. همچنین p_{best} به‌عنوان بهترین مکانی که تاکنون توسط ذرات مجاور یافت شده است، تعریف می‌گردد. الگوریتم بهینه‌سازی ذرات انبوه چیزی فراتر از یک مجموعه ذرات است.

هیچ کدام از ذرات قدرت حل هیچ مسئله‌ای را به تنهایی ندارند و تنها هنگامی می‌توانند مسئله را حل کنند که با یکدیگر تعامل داشته باشند. در واقع در ادبیات موضوع، الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات، فرآیند حل مسئله، به‌عنوان یک مفهوم اجتماعی در نظر گرفته می‌شود که در آن جواب بهینه از رفتار تک تک ذرات و تعامل میان آنها به‌دست می‌آید. بر این اساس اگر تابع هدف مسئله در IPSO تابع f تعریف شود، مقادیر x_i ، v_i ، p_{best} در هر مرحله بر اساس روابط ذیل بروزرسانی می‌شوند.

به منظور محاسبه میانگین فروش و سائط نقلیه، مجموع میانگین‌های نرمال شده فروش و سائط نقلیه بر تعداد سائط نقلیه تقسیم می‌گردد که با mes نشان داده می‌شود. رابطه ۱۴ نشان‌دهنده نحوه محاسبه mes می‌باشد.

$$mes = \frac{es}{nv} \quad (14)$$

معادله واریانس امید ریاضی میانگین فروش و سائط نقلیه در رابطه ۱۵ مشخص شده است:

$$\sum_{v=1}^{nv} \frac{(es - mes)^2}{nv - 1} \quad (15)$$

در نهایت، به منظور خطی کردن معادله واریانس فروش و سائط نقلیه از تقریب قدر مطلق به صورت معادله ۱۶ استفاده می‌شود:

$$\sum_{v=1}^{nv} \frac{|es - mes|}{nv - 1} \quad (16)$$

و همین‌طور به منظور خطی کردن قدر مطلق رابطه ۱۶ از متغیرهای P^+ ، P^- استفاده می‌شود که در رابطه ۱۷ نشان داده شده است.

$$\sum_{v=1}^{nv} \frac{es - mes}{nv - 1} = p^+ - p^- \quad (17)$$

۳- روش فراابتکاری حل مسئله

در قسمت قبل، مدل مسئله مسیریابی و سائط نقلیه با در نظر گرفتن توازن در توزیع کالا نشان داده شد. همچنین بیان شده که مسئله مسیریابی و سائط نقلیه جز مسایل NP-Hard است و روش‌های حل دقیق قادر به حل این مسایل در ابعاد بزرگ و همچنین حل مسایل دنیای واقعی نیستند. به همین منظور، برای حل این مسئله، از الگوریتم‌های فراابتکاری می‌بایست استفاده شود که در این مقاله از الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی انبوه ذرات (IPSO) استفاده شده است.

به همین منظور ابتدا در بخش ۳-۱ الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی انبوه ذرات (IPSO) توضیح داده خواهد شد، در بخش ۳-۲ شیوه نمایش جواب‌ها برای این مسئله در IPSO بیان می‌گردد و در نهایت در بخش ۳-۳ روش‌های بهبود به‌کار رفته در الگوریتم پیشنهادی ارایه خواهند شد.

که در بالا توضیح داده شد، تمایل به گسترده‌تر شدن و دور شدن جواب‌ها از یکدیگر دارد. برای جلوگیری از این امر و پدیده همگرایی پیش از موعد، باید از افزایش بی‌اندازه سرعت جلوگیری کرد.

روشی که غالباً استفاده می‌شود این است که در زمان بروزسانی مقدار سرعت هر یک از پرندگان، بیشینه سرعت همانند (V_{max}) را برای هریک از ذرات در نظر گرفت. به همین منظور هنگامی که اندازه سرعت ذرات به بیش از (V_{max}) تجاوز کند، از رابطه ۲۱ استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned} & \text{IF } v_{id} > V_{\max} \quad \text{then } v_{id} = V_{\max} \\ & \text{else IF } v_{id} < -V_{\max} \quad \text{then } v_{id} = -V_{\max} \end{aligned} \quad (21)$$

شبه کد الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی انبوه ذرات در شکل ۱ نشان داده شده است (انگلیزشت، ۲۰۰۷).

$$\omega(t) * V_{ij}(t) + r_{ij}(t) * C_1 * (Y_{ij}(t) - X_{ij}(t)) + r_{2j}(t) * C_2 * (y_j^*(t) - X_{ij}(t)) = -V_{ij}(t+1) \quad (18)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t) \quad (19)$$

$$y_i(t+1) = \begin{cases} y_i(t) & \text{if } f(x_i(t+1)) \geq f(y_i(t)) \\ x_i(t+1) & \text{if } f(x_i(t+1)) < f(y_i(t)) \end{cases} \quad (20)$$

در روابط بالا، ω ضریب اینرسی، $r_{1,j}$ و $r_{2,j}$ اعداد تصادفی یکنواخت در فاصله (۰، ۱) و C_1 و C_2 اعداد ثابت می‌باشند که به ضرایب شتاب‌دهنده معروف بوده و به ترتیب، پارامتر ادراکی و پارامتر اجتماعی نامیده می‌شوند. C_1 ضریب یادگیری مربوط به تجارب شخصی هر ذره است و در مقابل C_2 ضریب یادگیری برای کل جامعه است. r_1, r_2 باعث ایجاد تنوع در جواب‌ها می‌شود و به این نحو جستجوی کامل‌تری روی فضا انجام گیرد (شی و ابره‌ارت، ۱۹۹۸ و لیاو و همکاران، ۲۰۰۷). همان‌طور که مشاهده شد، موقعیت و سرعت پرندگان در هر مؤلفه ($j=1,2,\dots,n$) به صورت جداگانه بروزسانی می‌گردد. سیستمی

- n ذره در ابعاد فضای جواب مسئله به صورت تصادفی ایجاد کنید.
- برای تمام ذرات همانند ذره i -ام، x_i موقعیت فعلی ذره، V_i سرعت حرکت ذره را به صورت تصادفی ایجاد کنید.
- تا زمانی که شرایط توقف الگوریتم به وجود نیامده باشد مراحل ذیل را انجام دهید:
- به ازای هریک از ذرات $i = 1, \dots, n$ مراحل زیر را انجام دهید:
- از روش تعویض گره در تور داخلی استفاده نمایید.
- از روش 2-opt^* در تورها استفاده کنید.
- تابع برازش را محاسبه کنید.
- اگر که تابع برازش ذره i -ام بهتر از i -ام بود، آنگاه ذره i -ام را جایگزین i کنید و به مرحله بعدی بروید.
- در غیراین صورت به مرحله بعد بروید.
- پایان حلقه (به ازای)
- بهترین ذره را از میان اعضای جمعیت فعلی که دارای بهترین تابع برازش می‌باشد، انتخاب کنید و آن را p بنامید.
- به ازای هریک از ذرات $i = 1, \dots, n$ مراحل زیر را انجام دهید:
- سرعت هر ذره را بر اساس رابطه‌ی ۱۸ محاسبه کنید.
- موقعیت هر ذره را بر اساس رابطه‌ی ۱۹ به روز کنید.
- پایان حلقه (به ازای)
- پایان حلقه (تا زمانی که).

شکل ۱. شبه کد الگوریتم فراابتکاری بهبود یافته بهینه‌سازی انبوه ذرات

۲-۳- نمایش جواب‌ها

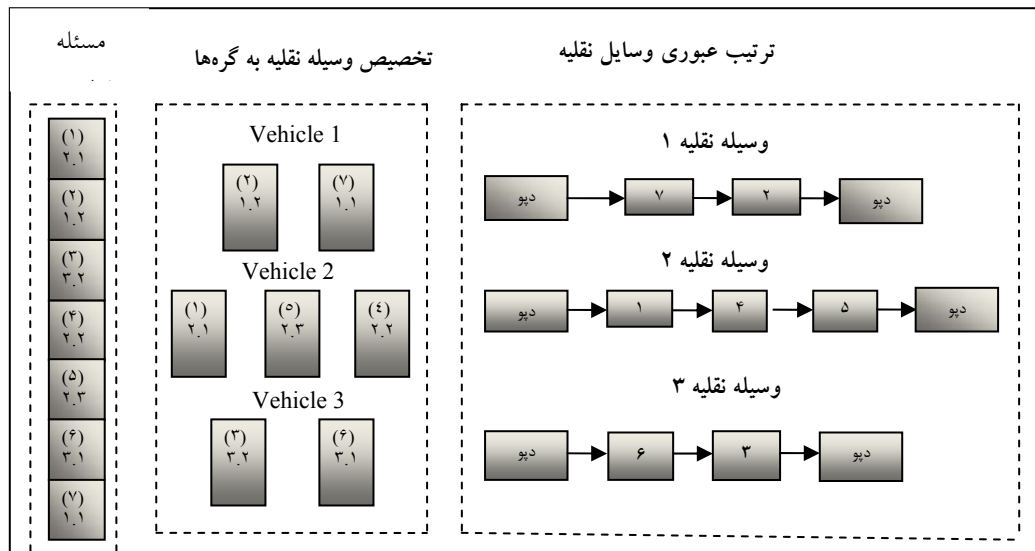
به منظور نمایش جواب‌ها در الگوریتم IPSO روش‌های مختلفی ارایه شده و در این مدل از یک روش مناسب بهره برده شده است (توکلی مقدم و همکاران، ۲۰۱۱). به همین منظور ابتدا یک کروموزوم به اندازه n (تعدادگره) تعریف شد و سپس به هر ژن موجود در هر کروموزوم یک عدد تصادفی صحیح در بازه $[0, m+1-E]$ تخصیص داده شده است. از همین رو، در هر کروموزوم، هر ژن همانند I -آم نشان‌دهنده گره I -آم می‌باشد و مقدار صحیح داخل هر ژن نشان‌دهنده شماره وسیله نقلیه‌ای است که به آن گره خدمت می‌دهد. سپس برای تعیین اولویت عبور وسائط نقلیه از گره‌ها به هر یک از اعداد صحیح ژن‌ها بر اساس ترتیب عبوری وسیله نقلیه از گره I -آم عدد اعشاری اضافه می‌شود. در نتیجه، مقدار اعشاری تخصیص داده به ژن‌ها نشان‌دهنده ترتیب عبور وسیله نقلیه از تور است. شکل ۲ نشان‌دهنده روش به‌کار رفته در ایجاد جواب اولیه است.

۳-۳- روش‌های بهبود

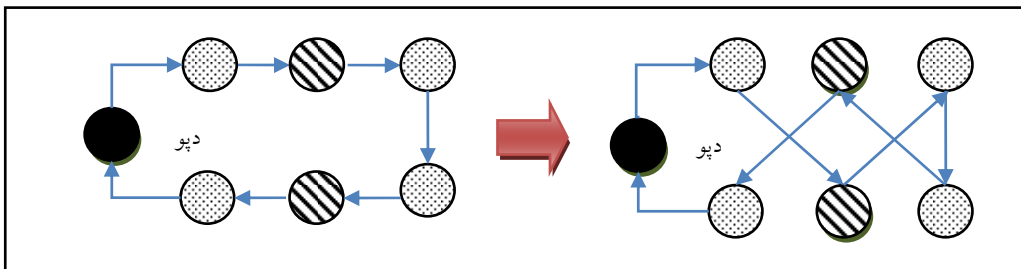
در این مرحله به‌منظور یافتن بهترین ترکیب از مشتریان به‌طوری‌که کمترین هزینه حمل و نقل ایجاد شود، از روش‌های بهبود، همانند تعویض گره در تور داخلی و روش $opt-2^*$ در

تورهای هر وسیله نقلیه استفاده شده است. روش‌های بهبود به‌کار رفته برای حل این مدل به‌صورت ذیل است:

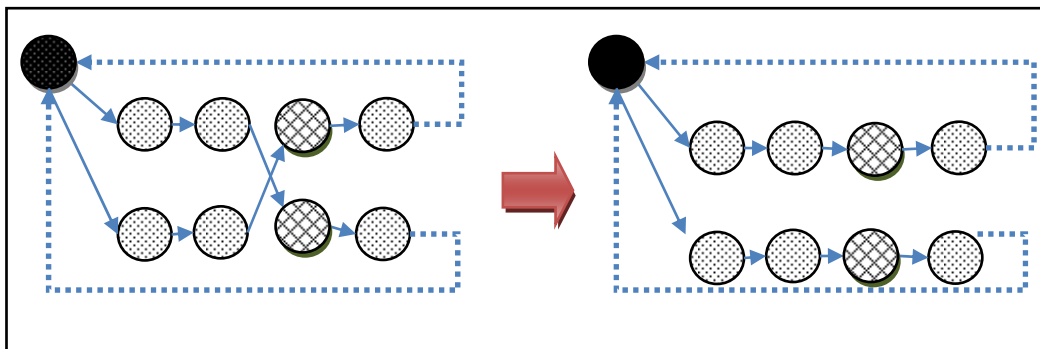
- تعویض گره در تور داخلی: این روش جستجوی محلی می‌تواند در تورهای مسئله استفاده شود. در این روش جستجوی محلی، ابتدا، دو گره (مشتری) در داخل یک تور انتخاب می‌شوند، سپس ترتیب عبوری وسیله نقلیه در آن دو گره (مشتری) با یکدیگر تعویض می‌شوند. اگر این تعویض هزینه تور را کاهش داد، آن را انتخاب کنید، در غیر این صورت تور دو گره دیگر را انتخاب کرده و سپس مسیر آنها را با یکدیگر تعویض کنید. این کار را برای تمامی گره‌های موجود در تور باید انجام دهید و هر تعویضی که بیشترین کاهش را در هزینه داشت انتخاب کنید (شکل ۳).
- روش $opt-2^*$: در این روش ابتکاری ابتدا دو تور به طور تصادفی انتخاب می‌شوند. در اولین گام در اجرای این روش ابتدا در هر تور یک گره انتخاب می‌شود، به‌طوری‌که فاصله این دو گره از یکدیگر از مقدار مشخص، p ، کمتر نباشد. دلیل استفاده از این مقدار جلوگیری از انتخاب گره‌های با فاصله زیاد است که منجر به، به‌وجود آمدن جستجوی نامناسب می‌شود (شکل ۴).



شکل ۲. روش ایجاد جواب اولیه در مدل پیشنهادی



شکل ۳. روش تعویض گره در تور محلی



شکل ۴. روش ۲- opt^*

جدول ۱. پارامترهای الگوریتم IPSO

۵۰	تعداد ذره‌ها
۵۰۰	تعداد تکرارها
۱/۴۹	C_1 پارامتر
۱/۴۹	C_2 پارامتر
۰/۷۲۹	پارامتر W

۴- نتایج محاسباتی

در این قسمت عملکرد الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. به همین منظور، دو نمونه مسئله یکی در ابعاد کوچک و دیگری در ابعاد بزرگ طراحی شده است. در نمونه اول دسته‌ای از مسایل نمونه کوچک به وسیله الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی حل شده و جواب‌های حاصل با جواب‌های حاصل از حل مدل با شاخه و کران مقایسه خواهد شد. هدف از انجام آزمایش اول بررسی توانایی الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی به منظور یافتن جواب‌های بهینه در مقایسه با حل مدل توسط روش‌های دقیق است. در نمونه دوم عملکرد الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی در حل مسایل بزرگ و با ابعاد واقعی بررسی می‌گردد. هدف از این آزمایش بررسی قابلیت الگوریتم پیشنهادی برای حل مسایل در ابعاد بزرگ و دنیای واقعی می‌باشد. برای انجام این آزمایش‌ها از نرم‌افزار شاخه و کران و متلب استفاده شده است. همچنین، اجرای برنامه‌ها توسط کامپیوتری دو هسته‌ای با توانایی ۲/۳ گیگاهرتز و حافظه داخلی ۲ گیگابایت انجام شده است. همچنین، پارامترهای الگوریتم IPSO استفاده شده در این اجرای این مدل در جدول ۱ نشان داده شده است.

۴-۱- بررسی الگوریتم‌های ارایه شده در مسایل نمونه

کوچک

همان‌طور که بیان شد، هدف از اجرای الگوریتم پیشنهادی در مسایل با ابعاد کوچک بررسی توانایی مدل در یافتن جواب‌های بهینه می‌باشد. به همین منظور، برای ایجاد مسایل کوچک از توزیع احتمال یکنواخت استفاده شده است. برای تولید اعداد مربوط به مختصات هر مشتری از توزیع یکنواخت با پارامترهای ۰ و ۳۰ استفاده گردید. میزان تقاضای مشتریان با استفاده از توزیع یکنواخت در بازه ۱ و ۱۰ به دست آمده است.

(۲۲)

$$100 * \frac{\text{بهترین جواب به دست آمده - جواب از حاصل از الگوریتم IPSO}}{\text{بهترین جواب به دست آمده}} = \text{خطا } \%$$

از مقایسه نتایج محاسباتی توسط الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی انبوه ذرات IPSO با جواب‌های به‌دست آمده از روش شاخه و کران می‌توان مشاهده کرد که میانگین خطای نتایج محاسباتی توسط الگوریتم توسعه‌داده شده بهینه‌سازی انبوه ذرات IPSO با نتایج به‌دست آمده توسط شاخه و کران ۰/۰۳ می‌باشد که نشان‌دهنده کارایی الگوریتم پیشنهادی است. همچنین زمان حل مسایل توسط شاخه و کران و IPSO به ترتیب برابر ۱۰۵۶/۲۷ و ۲۶/۴۵ است که نشان‌دهنده کارایی الگوریتم پیشنهادی به منظور حل مسایل در زمان کوتاه می‌باشد.

همچنین، مدت زمان لازم برای سرویس‌دهی با استفاده از توزیع یکنواخت در بازه ۱ و ۱۵ محاسبه شده است.

برای بررسی الگوریتم مورد نظر، تعداد ۱۰ مسئله با ابعاد کوچک ایجاد شد که مشخصات مسایل در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول ستون اول، شماره مسئله است، ستون‌های دوم و سوم به ترتیب نشان‌دهنده تعداد وسیله نقلیه و تعداد مشتریان می‌باشد. ستون‌های چهارم تا ششم به ترتیب نشان‌دهنده مقدار بهینه، زمان حل و خطای محاسباتی حل مسئله توسط شاخه و کران می‌باشد و ستون ششم تا نهم به نشان‌دهنده مقدار بهینه، زمان حل و خطای محاسباتی حل مسئله توسط الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی انبوه ذرات (IPSO) می‌باشد.

لازم به ذکر است وزن اهداف مساوی و هر دو یک در نظر گرفته شده است. همچنین روش محاسبه خطا در ستون نهم بر مبنای رابطه ۲۲ می‌باشد.

جدول ۲. مقایسه نتایج برای مسایل با ابعاد کوچک

حل توسط IPSO			حل توسط شاخه و کران			تعداد وسائط نقلیه	تعداد مشتریان	مسایل نمونه
خطا (%)	زمان (ثانیه)	بهترین جواب	خطا (%)	زمان (ثانیه)	بهترین جواب			
۰/۰۰	۷/۵۶	۲۱۸/۹۹	۰/۰۰	۱۰	۲۱۸/۹۶	۲	۶	۱
۰/۰۰	۹/۸۹	۲۲۶/۰۱	۰/۰۰	۱۹	۲۲۵/۶۶	۳	۶	۲
۰/۰۰	۱۷/۸۵	۲۳۹/۹۸	۰/۰۰	۸۱	۲۳۹/۶۹	۲	۷	۳
۰/۰۰	۱۳/۶۹	۲۴۸/۹۷	۰/۰۰	۱۸۳	۲۴۸/۹۰	۳	۷	۴
۰/۰۰	۱۴/۷۱	۲۹۰/۶۷	۰/۰۰	۳۲۸	۲۸۹/۵۶	۲	۸	۵
۰/۰۳	۲۵/۹۸	۳۲۰/۹۵	۰/۰۰	۶۵۳	۳۱۰/۶۳	۳	۸	۶
۰/۰۵	۲۰/۹۸	۳۲۰/۶۶	۰/۰۰	۸۰۰	۳۰۵/۲۵	۲	۹	۷
۰/۰۷	۳۵/۶۸	۳۹۲/۶۵	۰/۰۰	۱۴۳۸	۳۶۸/۳۶	۳	۹	۸
۰/۰۸	۴۶/۵۸	۳۸۹/۳۱	۰/۰۰	۴۲۰۸	۳۵۸/۳۶	۲	۱۰	۹
۰/۰۶	۷۱/۵۸	۴۱۹/۶۹	۰/۰۰	۳۷۵۳	۳۹۷/۲۵	۳	۱۱	۱۰
۰/۰۳	۲۶/۴۵	۳۰۳/۶۷	۰/۰۰	۱۰۵۶/۲۷	۲۹۹/۳۸			میانگین

جدول ۳. نتایج محاسباتی مسایل با ابعاد بزرگ

حل توسط IPSO			حل توسط شاخه و کران			تعداد وسائط نقلیه	تعداد مشتریان	مسایل نمونه
خطا (%)	زمان (ثانیه)	بهترین جواب	خطا (%)	زمان (ثانیه)	بهترین جواب			
۰/۰۰	۱۲۲/۳۶	۴۲۵/۳۶	۰/۱۹	۱۰۰۰	۵۰۵/۹۶	۴	۱۳	۱
۰/۰۰	۱۸۳/۶۵	۱۱۲۵/۳۶	۰/۱۸	۱۰۰۰	۱۳۲۵/۹۶	۴	۲۲	۲
۰/۰۰	۱۷۰/۳۰	۱۱۸۳/۶۱	۰/۱۲	۱۰۰۰	۱۳۲۱/۶۳	۳	۲۳	۳
۰/۰۰	۱۹۳/۶۵	۱۴۳۹/۳۵	۰/۱۱	۱۰۰۰	۱۶۰۹/۸۵	۳	۳۰	۴
۰/۰۰	۱۸۲/۳۶	۱۴۸۲/۶۷	۰/۱۶	۱۰۰۰	۱۷۱۵/۶۳	۴	۳۰	۵
۰/۰۰	۲۰۹/۶۹	۱۵۳۹/۷۹	۰/۱۴	۱۰۰۰	۱۷۵۸/۶۹	۷	۳۱	۶
۰/۰۰	۲۵۳/۷۲	۱۶۸۵/۳۶	۰/۱۶	۱۰۰۰	۱۹۴۷/۵۰	۴	۳۳	۷
۰/۰۰	۳۷۵/۳۶	۲۴۳۶/۷۸	۰/۱۷	۱۰۰۰	۲۸۵۹/۶۷	۵	۵۱	۸
۰/۰۰	۳۶۹/۳۶	۴۸۳۵/۴۵	۰/۱۹	۱۰۰۰	۵۷۵۶/۶۳	۷	۷۶	۹
۰/۰۰	۳۵۶/۶۸	۴۹۵۷/۹۶	۰/۱۸	۱۰۰۰	۵۸۳۵/۶۶	۸	۷۶	۱۰
۰/۰۰	۴۳۲/۳۶	۵۰۱۰/۵۷	۰/۱۷	۱۰۰۰	۵۸۶۲/۳۶	۱۰	۷۶	۱۱
۰/۰۰	۴۵۱/۳۶	۵۱۱۴/۶۷	۰/۱۸	۱۰۰۰	۶۰۳۶/۵۹	۱۴	۷۶	۱۲
۰/۰۰	۴۸۵/۲۹	۵۱۶۹/۶۳	۰/۱۸	۱۰۰۰	۶۹۱۶۶/۶۳	۱۵	۷۶	۱۳
۰/۰۰	۵۶۳/۶۵	۶۹۲۵/۶۵	۰/۲۱	۱۰۰۰	۸۳۵۶/۸۵	۸	۱۰۰	۱۴
۰/۰۰	۵۱۳/۳۶	۴۱۹/۶۹	۰/۲۰	۱۰۰۰	۸۴۴۲/۳۶	۱۴	۱۰۱	۱۵
۰/۰۰	۳۲۴/۲۱	۳۳۶۰/۷۸	۰/۱۷	۱۰۰۰	۳۹۶۲/۶۷			میانگین

است که، هریک از مجموعه تست‌های کریستوفید و الین یک‌بار توسط شاخه و کران حل شده و با گذشت ۱۰۰۰ ثانیه بعد از اجرا، شاخه و کران متوقف شده است و جواب به‌دست آمده در ستون‌های چهارم و ششم ثبت شده است. سپس یکبار دیگر همان مسایل توسط IPSO حل شده و نتایج به‌دست آمده در ستون‌های هفتم تا نهم که نشان‌دهنده مقدار بهینه، زمان حل و خطای محاسباتی می‌باشد، نشان داده شده است. همچنین خطای محاسباتی حل توسط شاخه و کران در ستون ششم بر مبنای رابطه ۲۳ محاسبه شده است.

(۲۳)

$$100 * \frac{\text{بهترین جواب به دست آمده - جواب از شاخه و کران}}{\text{بهترین جواب به دست آمده}} = \text{خطا } \%$$

۴-۲- بررسی الگوریتم ارایه شده در مسایل نمونه بزرگ به منظور بررسی قابلیت الگوریتم ارایه شده در ابعاد بزرگ از مجموعه تست‌های کریستوفید و الین استفاده گردید (دریافت مسایل نمونه از سایت neo.lcc.uma.es امکان‌پذیر است). در این دسته مسائل تعداد مسایل نمونه ۱۵ عدد می‌باشد. تعداد مشتریان در این مسایل از ۱۳ تا ۱۰۱ مشتری در نظر گرفته شده و تعداد وسائط نقلیه بنا به مسئله متفاوت می‌باشد. جدول ۳ نشان‌دهنده حل مسئله توسط شاخه و کران و IPSO می‌باشد. در این جدول ستون اول شماره مسئله است، ستون‌های دوم و سوم به ترتیب نشان‌دهنده تعداد وسیله نقلیه و تعداد مشتریان می‌باشد. ستون‌های چهارم تا ششم، به ترتیب نشان‌دهنده مقدار بهینه، زمان حل و خطای محاسباتی حل مسئله توسط شاخه و کران می‌باشد. روش کار در حل مسئله توسط شاخه و کران به این صورت

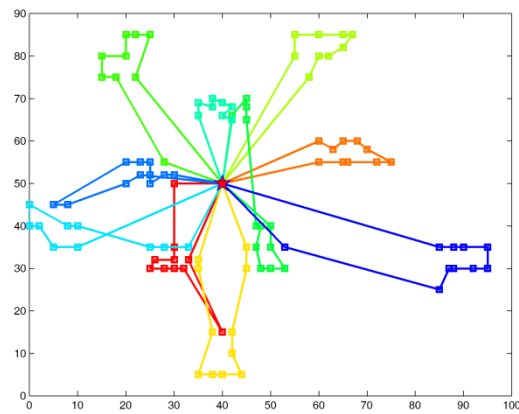
جدول ۴ نشان‌دهنده ظرفیت و تعداد وسائط نقلیه مورد استفاده در این شرکت می‌باشد. لازم به ذکر است ظرفیت وسائط نقلیه در جدول زیر بر اساس میزان حجم کالاها و حجم در دسترس در وسائط نقلیه در نظر گرفته شده است به همین دلیل ظرفیت وسائط نقلیه از ظرفیت اسمی آنها پایین تر است. همچنین، تمامی رانندگان، صاحبان وسائط نقلیه و با شرکت کاله در طرف قرارداد بوده‌اند و علاوه بر حقوق ثابت، در ازای تعداد کالایی که به مشتریان تحویل می‌دهند دستمزد دریافت می‌کنند.

جدول ۴. تعداد و ظرفیت وسائط نقلیه مورد نیاز

ردیف	نوع وسیله نقلیه	ظرفیت (بر حسب تن)	دستگاه
۱	وانت بار	۱/۵	۴
۲	کامیونت	۳	۶
۳	کامیون	۵	۴

در وضعیت قبل از اجرای مدل، طول مسیرهای طی شده برای ۱۴ وسیله نقلیه موجود، در مجموع برابر با ۱۲۱۵۸۸/۰۳۹ متر به دست آمد و مقدار بالانس مقدار کالایی که توسط وسائط نقلیه حمل می‌شود، با توجه به تابع هدف دوم (قسمت دوم رابطه ۱) ۱/۷۰۸ تعیین گردید. به منظور اجرای مدل، ابتدا الگوریتم IPSO با تمرکز بر تابع هدف اول اجرا شد که در نتیجه، طول مسیرها بدون در نظر گرفتن تابع هدف دوم (که همان توازن نسبی میان ظرفیت وسائط نقلیه و حجم کالایی حمل شده می‌باشد) برابر ۱۰۹۵۳۸/۸۲۱ متر گردید که نشان‌دهنده بهبود قابل توجه ۱۱ درصدی در طول مسیر طی شده برای وسائط نقلیه، پس از اجرای مدل می‌باشد. همچنین در این مرحله به دلیل عدم توجه به تابع هدف دوم، مقدار این تابع برابر ۲/۰۴۶ به دست آمد که با توجه به وضعیت موجود معیار کمی مطلوبیت خود را از دست داده است. به همین منظور، در مرحله دوم این نمونه موردی با توجه به دو تابع هدف و با فرض ارزش یک به یک برای هر یک از توابع حل شد. به دلیل یکسان نبودن واحدهای اندازه‌گیری در تابع هدف اول و دوم، از عملیات نرمال‌سازی توابع هدف استفاده گردید. به طوری که ابتدا هر یک از توابع هدف به‌طور جداگانه حل شد و بهترین مقدار بهینه به دست آمده محاسبه شد. سپس،

میانگین جواب‌ها برای شاخه و کران و IPSO به ترتیب برابر ۳۹۶۲/۶۷/۱۳ و ۳۳۶۰/۷۸ می‌باشد و میانگین خطا برای شاخه و کران برابر ۰/۱۷ است که می‌توان نتیجه گرفت که جواب بهینه ارایه شده توسط الگوریتم توسعه داده شده بهینه‌سازی انبوه ذرات (IPSO)، قادر به حل مسایل در ابعاد بالا می‌باشد. همچنین بیشترین خطای به دست آمده توسط شاخه و کران مربوط به نمونه مسئله ۱۴ با مقدار ۰/۲۱ می‌باشد که شکل گرافیکی مسیریابی برای وسائط نقلیه و تخصیص مشتریان به وسائط نقلیه آن که توسط الگوریتم پیشنهادی IPSO به دست آمده است، در شکل ۵ نشان داده شده است. همچنین زمان حل نمونه مسایل توسط IPSO برابر ۳۲۴/۲۱ ثانیه است که نسبت به حل نمونه مسایل توسط شاخه و کران به مراتب بسیار بهتر است.



شکل ۵. مسیریابی انجام شده با الگوریتم IPSO برای نمونه مسئله ۱۴

۵- مطالعه موردی

به منظور حل مدل پیشنهادی، یک شرکت پخش که توزیع‌کننده مواد لبنی و فرآورده‌های پروتئینی در شهر قزوین می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی توانایی مدل ارایه شده در بهبود مسایل در دنیای واقعی و همچنین توانایی الگوریتم حل پیشنهادی، مشتریان و مسیرهای دسترسی وسائط نقلیه به آنها در یک روز کاری مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۱ در پیوست، نشان‌دهنده تقاضای هر یک از ۱۵۲ مشتری می‌باشد. جدول ۴ نشان‌دهنده ظرفیت و تعداد وسائط نقلیه مورد استفاده در این شرکت می‌باشد. با توجه به جدول ۱ در پیوست، این شرکت دارای ۱۵۲ مشتری در روز مورد نظر می‌باشد که توسط ۱۴ وسیله نقلیه در ظرفیت‌های متفاوت سرویس‌دهی می‌شوند.

پارامترهای این مسئله همانند تقاضای مشتریان و زمان طی مسیرها به صورت فازی در نظر گرفته شود. همچنین پیشنهاد می‌شود به منظور مقایسه الگوریتم پیشنهادی با سایر الگوریتم‌های فراابتکاری، این مسئله توسط سایر روش‌های فراابتکاری دیگر نیز حل شده و نتایج با یکدیگر مقایسه گردد.

۷- پی‌نوشت‌ها

1. Vehicle Routing Problem (VRP)
2. Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)
3. Genetic Algorithm (GA)
4. Local Optimization
5. Tabu Search (TS)
6. Ant Colony Optimization (ACO)
7. Simulated Annealing (SA)
8. Vehicle Routing Problem with Pick Up and Delivery
9. Particle Swarm Algorithm (PSO)
10. Evolution Strategy (ES)
11. Balance Routing
12. Improved Particle Swarm Optimization (IPSO)

۸- مراجع

— قیصری، کیوان و قنادپور، سید فرید، (۱۳۸۷) "مسیریابی لوگوموتیوها در شبکه با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی" پژوهشنامه حمل و نقل، سال پنجم، شماره سوم، پاییز ۱۳۸۷، ص ۲۵۹-۲۷۳.

- Ai, T.J., Kachitvichyanukul, V. (2009) "A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery", *Computers & Operations Research*, Vol. 36, No. 5, pp. 1693-1702.
- Alvarenga, G.B., de Abreu Silva, R.M. and Sampaio, R.M. (2005) "A hybrid algorithm for the vehicle routing problem with time window", *Journal of Computer Science*, Vol. 4, No. 2, pp. 9-16.
- Bérubé, J.F., Gendreau, M. and Potvin, J.Y. (2009) "An exact ϵ -constraint method for bi-objective combinatorial optimization problems: Application to the traveling salesman problem with profits", *European Journal of Operational Research*, Vol. 194, pp. 39-50.

مقدار هر تابع هدف در اجرای همزمان توابع بر مقدار بهینه خودشان تقسیم شدند که در این وضعیت مقدار طول مسیرها در حالت بهینه برابر ۱۱۲۵۸۱/۵۲۹ متر و برای تابع هدف دوم برابر ۰/۹۰۲ گردید. با بررسی مقادیر به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که اضافه کردن تابع هدف دوم به تابع هدف اول مقداری به طول مسیر اضافه می‌کند ولی از سوی دیگر میزان توازن در حمل کالاها را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد که این امر باعث افزایش رضایت‌مندی رانندگان می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک مدل مسیریابی وسایط نقلیه دو هدفه شامل حداکثر کردن رضایت رانندگان از طریق ایجاد توازن در توزیع کالا و همچنین حداقل کردن هزینه حمل و نقل از طریق طراحی مسیرها، به گونه‌ای که در نهایت باعث کاهش هزینه‌ها می‌گردد، ارائه گردید. علاوه بر این، سایر قیود مسئله، شامل قیود ظرفیت و زمان توزیع به منظور کمینه کردن هزینه حمل نیز مورد توجه قرار گردید. برای حل مدل ارائه شده یک الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی انبوه ذرات (IPSO)، ارائه گردید. برای بررسی توانایی‌های الگوریتم، ابتدا مسایلی در ابعاد کوچک حل شد و نتایج با نتایج حاصل الگوریتم دقیق شاخه و کران مقایسه گردید. میزان میانگین خطا برای نتایج به دست آمده توسط IPSO برابر ۰/۰۳ در این دسته از نتایج به دست آمد که نشان‌دهنده کارایی بالای الگوریتم پیشنهادی حل این نوع مسایل است. همچنین برای مسائل در ابعاد بزرگ از مسایل کریستوفید و الین استفاده شد. در این دسته از نتایج، نتایج حل الگوریتم پیشنهادی با نتایج حاصل از روش شاخه و کران با محدودیت زمانی ۱۰۰۰ ثانیه مقایسه شد. میانگین زمان حل الگوریتم پیشنهادی ۳۲۴/۲۱ ثانیه به دست آمد. در این دسته از مسایل در تمامی مثال‌ها الگوریتم پیشنهادی جواب‌های بهتری ارائه نمود که نشان‌دهنده قابلیت این الگوریتم به منظور حل سریع مسایل می‌باشد.

علاوه بر این، به منظور حل یک مسئله واقعی، یک شرکت توزیع مواد لبنی در شهر قزوین با ۱۵۲ متقاضی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل، نشان‌دهنده ۱۱ درصد کاهش، در هزینه حمل و نقل شرکت بود. در نهایت پیشنهاد می‌گردد به منظور پیاده‌سازی بهتر مسئله مسیریابی وسایط نقلیه در دنیای واقعی، سایر

- International Journal of Physical Distribution and Logistics, Vol. 29, pp. 646–658.
- Lenstra, J.K. and Rinnooy Kan, A.H.G. (1981) "Complexity of vehicle and scheduling problem", Networks, Vol. 11, pp. 221–227.
 - Liao, C.J., Tseng, C.-T. and Luarn, P. (2007) "A discrete version of particle swarm optimization for flow shop scheduling problems", Computers & Operations Research, 34, pp. 3099–3111.
 - Lin, C.K.Y. (2011) "A vehicle routing problem with pickup and delivery time windows, and coordination of transportable resources", Computers & Operations Research, Vol. 36, No. 5, pp. 1596–1609.
 - Lin, S.-W. Lee, Z.-J. Ying, K.-C. and Lee, C.-Y. (2009) "Applying hybrid meta-heuristics for capacitated vehicle routing problem", Expert Systems with Applications, Vol. 36, pp. 1505–1512.
 - Potvin, J.Y. and Bengio, S. (1994) "A genetic approach to the vehicle routing problem with time windows", publication CRT-953, Centre de recherche sur les transports, University of Montreal.
 - Reimann, M., Stummer, M. and Doerner, K. (2002) "A savings based ant system for the vehicle routing problem", W.B. Langdon, et al. (Eds.). Kaufmann M (GECCO 2002) Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, San Francisco.
 - Shi, Y. and Eberhart, R.C. (1998) "A modified particle swarm optimizer", IEEE International Conference on Evolutionary Computation", Anchorage, Alaska, pp.69–73.
 - Tavakkoli-Moghaddam, R., Gazanfari, M., Alinaghian, M., Salamatbakhsh, A. and Norouzi, N. (2008) "A new mathematical model for a competitive vehicle routing problem with time windows solved by simulated annealing", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 30, No. 2, pp. 83–92.
 - Thangiah, S., Nygard, R., K. and Juell, P. (1991). GIDEON: A Genetic Algorithm System for Vehicle Routing Problems with Time Windows. Proceedings of the Seventh IEEE Conference on Artificial Intelligence Applications, Miami, Florida, pp. 322–328.
 - Brodie, G.R., Waters, C.D.G., (1988) "Integer linear programming formulation for vehicle routing problems", European Journal Of Operational Research, Vol. 34, No. 3, pp. 403–404.
 - Chen, A.L., Yang, G.K. and Wu, Z.M. (2006) "Hybrid discrete particle swarm optimization algorithm for capacitated vehicle routing problem", Journal of Zhejiang, Vol. 7, pp. 607–614.
 - Chianh, W.C. and Russell, R. (1996) "Simulated annealing meta-heuristics for the vehicle routing problem with time windows", Operations Research, Vol. 93, pp. 3–27.
 - Clarke, G., Wright, J.W. (1994) "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery", Operations Research, Vol. 12, pp. 568–581.
 - Dantzig, G. and Ramser, J.H. (1959) "The truck dispatching problem", Management Science, Vol. 6, pp. 80–91.
 - Engelbrecht, A.P. (2007) "Computational Intelligence", 2nd Edition, USA: John Wiley and Sons.
 - Ho, S.C. and Haugland, D. (2004) "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and split deliveries", Computers & Operations Research, Vol. 31, pp. 1947–1964.
 - Lei, H., Laporte, G. and Guo, B. (2011) "The capacitated vehicle routing problem with stochastic demands and time windows", Computers & Operations Research, Vol. 38, pp. 1775–1783.
 - Jozefowicz, N., Semet, F. and Talbi, E.G. (2009) "An evolutionary algorithm for the vehicle routing problem with route balancing", European Journal of Operational Research, Vol. 195, No. 3, pp. 761–769.
 - Kennedy, J. and Eberhart, R.C. (1995) "Particle swarm optimization", IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia, pp. 1942–1948.
 - Lee, T. and Ueng, J. (1999) "A study of vehicle routing problems with load balancing",

میزان تقاضای مشتریان

مشتری	تقاضا (کیلوگرم)	مشتری	تقاضا (کیلوگرم)	مشتری	تقاضا (کیلوگرم)	مشتری	تقاضا (کیلوگرم)	مشتری	تقاضا (کیلوگرم)
۱	۴۳۵	۳۴	۱۰۶	۶۷	۱۲۲	۱۰۰	۱۴۲	۱۳۳	۱۵۲
۲	۱۴۴	۳۵	۳۲۰	۶۸	۶۵	۱۰۱	۱۳۹	۱۳۴	۳۶۹
۳	۳۳۵	۳۶	۱۶۴	۶۹	۲۲۲	۱۰۲	۱۱۵	۱۳۵	۲۲۴
۴	۵۴۶	۳۷	۱۷۱	۷۰	۳۳۴	۱۰۳	۳۹۸	۱۳۶	۱۳۹
۵	۲۲۷	۳۸	۱۸۲	۷۱	۲۵۶	۱۰۴	۱۹۲	۱۳۷	۴۵۷
۶	۴۳۸	۳۹	۱۴۸	۷۲	۴۱۸	۱۰۵	۲۳۶	۱۳۸	۲۸۲
۷	۳۸۴	۴۰	۱۴۶	۷۳	۱۴۵	۱۰۶	۲۳۲	۱۳۹	۴۸۹
۸	۱۳۷	۴۱	۳۲۸	۷۴	۲۱۰	۱۰۷	۲۱۴	۱۴۰	۲۲۹
۹	۴۳۲	۴۲	۲۲۶	۷۵	۲۷۵	۱۰۸	۳۵۲	۱۴۱	۳۴۶
۱۰	۲۸۱	۴۳	۱۳۲	۷۶	۳۴۷	۱۰۹	۱۸۳	۱۴۲	۱۷۹
۱۱	۲۵۷	۴۴	۱۳۵	۷۷	۰۸۲	۱۱۰	۱۲۵	۱۴۳	۴۵۸
۱۲	۱۶۳	۴۵	۱۱۲	۷۸	۲۵۳	۱۱۱	۱۷۴	۱۴۴	۲۹۵
۱۳	۳۴۲	۴۶	۱۷۴	۷۹	۵۵۸	۱۱۲	۱۶۲	۱۴۵	۴۶۵
۱۴	۵۵۳	۴۷	۱۲۹	۸۰	۳۲۴	۱۱۳	۲۹۹	۱۴۶	۲۷۳
۱۵	۱۵۴	۴۸	۲۳۳	۸۱	۲۳۲	۱۱۴	۲۸۱	۱۴۷	۴۸۴
۱۶	۳۱۹	۴۹	۱۶۳	۸۲	۶۳۳	۱۱۵	۲۸	۱۴۸	۶۹۹
۱۷	۲۱۸	۵۰	۳۵۰	۸۳	۵۵۹	۱۱۶	۶۵	۱۴۹	۵۰۹
۱۸	۴۴۸	۵۱	۲۳۴	۸۴	۴۷۰	۱۱۷	۴۸	۱۵۰	۳۳۶
۱۹	۵۳۶	۵۲	۲۲۵	۸۵	۱۳۷	۱۱۸	۹۲	۱۵۱	۲۴۸
۲۰	۱۲۸	۵۳	۱۲۶	۸۶	۲۲۸	۱۱۹	۳۶	۱۵۲	۱۸۹
۲۱	۲۲۶	۵۴	۳۵۲	۸۷	۵۸۳	۱۲۰	۷۲		
۲۲	۲۵۰	۵۵	۲۳۵	۸۸	۲۶۳	۱۲۱	۱۸۹		
۲۳	۲۳۴	۵۶	۱۲۶	۸۹	۴۴۷	۱۲۲	۱۵۸		
۲۴	۱۱۱	۵۷	۳۶۷	۹۰	۳۵۲	۱۲۳	۱۰۲		
۲۵	۲۷۴	۵۸	۵۹۲	۹۱	۶۶۹	۱۲۴	۱۹۵		
۲۶	۳۲۹	۵۹	۲۵۸	۹۲	۵۲۵	۱۲۵	۸۸		
۲۷	۴۳۲	۶۰	۱۴۲	۹۳	۶۳۹	۱۲۶	۱۷۵		
۲۸	۱۶۳	۶۱	۱۳۳	۹۴	۵۴۰	۱۲۷	۱۸۹		
۲۹	۲۴۴	۶۲	۳۵۸	۹۵	۳۵۵	۱۲۸	۱۵۳		
۳۰	۶۴۶	۶۳	۱۷۸	۹۶	۲۳۶	۱۲۹	۱۸۷		
۳۱	۵۷۵	۶۴	۱۱۲	۹۷	۱۴۲	۱۳۰	۱۲۸		
۳۲	۵۶۰	۶۵	۴۵۴	۹۸	۱۱۳	۱۳۱	۹۹		
۳۳	۱۱۶	۶۶	۵۲۸	۹۹	۱۲۸	۱۳۲	۲۴۸		

A Vehicle Routing Problem Considering a Balance of Goods Based on the Vehicles' Capacity by Improved Particle Swarm Optimization

R. Tavakkoli Moghaddam, Professor, Department of Industrial Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

N. Norouzi, Ph.D. Student, Department of Industrial Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

A. Salamatbakhsh Varjoi, M.Sc. Grad., Department of Industrial Engineering, Tehran South Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

M. Alinaghian, Ph.D. Grad., Industrial Engineering and System Group, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

E-mail: tavakoli@ut.ac.ir

ABSTRACT

This paper presents a new method for solution of a vehicle routing problem, which considers a balance of goods based on the vehicles' capacity. A considerable part of the drivers' benefits is related to their quantity of sales; therefore, the balance of goods based on vehicles' capacities is important to obtain drivers' satisfaction. This is one of the objectives of this paper, alongside minimizing the travel costs. Due to the complexity of solving such a difficult problem with exact methods in large-scale applications, a meta-heuristic method based on improved particle swarm optimization (IPSO) has been proposed. In addition, to show the efficiency of the proposed IPSO, a number of test problems in both small and large scales have been considered and solved. Then, the results obtained by calculation have been evaluated with the results obtained by the Lingo software. Furthermore, to run the proposed IPSO, a real case study in a dairy company located in Qazvin with 152 customers has been studied, and finally, the obtained results have been reported and discussed.

Keywords: Vehicle Routing Problem, Balancing Capacity of Vehicles, Improved Particle Swarm Optimization.