

ارایه و حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی جدید برای مسیریابی وسائط نقلیه در حالت

رقابتی: یک مطالعه موردی

رضا توکلی مقدم*، استاد، گروه مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
مهدی علی‌نقیان، دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
علیرضا سلامت بخش، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

E-mail: tavakoli@ut.ac.ir

دریافت: ۱۳۸۷/۱۲/۱۴ - پذیرش: ۱۳۸۸/۱۰/۱۵

چکیده

حمل و نقل در سیستم‌های اقتصادی تولیدی و خدماتی از جایگاه مهمی برخوردار است و بخش قابل توجهی از تولید ناخالص ملی^۱ (GNP) هر کشوری را به خود اختصاص می‌دهد. به همین جهت محققان نسبت به بهبود مسیرها و حذف سفرهای غیر ضروری و یا ایجاد مسیرهای کوتاه جایگزین، اقدام کرده‌اند. مباحثی مانند فروشنده دوره‌گرد، مسیریابی وسیله نقلیه^۲ (VRP) و غیره در همین راستا توسعه یافته‌اند. عموماً، در مورد مسیریابی تسهیلات فرض بر این است که نوعی انحصار در محیط وجود دارد و هیچ‌گونه توجهی به تاثیر مسیریابی مناسب بر رقابت در نظر گرفته نشده است. این مقاله، بر مبنای مشاهدات دنیای واقعی، رویکرد جدیدی از مسائل مسیریابی وسائط نقلیه به نام مسیریابی رقابتی توسعه یافته است. در این رویکرد توجه به رقابت بین رقبا و تمایل به دسترسی سریع‌تر به مشتریان با ارزش بالا برای کسب نقدینگی بیشتر علاوه بر یافتن مسیرهای کوتاه، مد نظر قرار گرفته است. مساله مسیریابی وسائط نقلیه در حالت رقابتی نیز با توجه به اینکه حالتی از مسیریابی وسائط نقلیه است، جز مسائل NP-Hard قرار می‌گیرد. در این مقاله، در راستای رویکرد جدید، مدل ریاضی ارایه شده و سپس برای اعتبار بخشی این مدل پیشنهادی، از نرم افزار لیتگو برای حل مسائل با ابعاد کوچک استفاده شده است. در ضمن، برای حل مسائل با ابعاد بزرگ از الگوریتم فراابتکاری تلفیقی مبتنی بر شبیه‌سازی تبرید با اپراتورهای ژنتیک استفاده شده است. در انتها، مطالعه موردی بر روی یکی از شرکت‌های پخش در شیراز انجام گرفته و نتایج حاصل گزارش شده است.

واژه‌های کلیدی: مسیریابی وسائط نقلیه، نقدینگی، محیط رقابتی، برنامه‌ریزی ریاضی، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید.

۱. مقدمه

مسئله مسیریابی وسائط نقلیه دارای نقش بسیار مهمی در لجستیک و توزیع کالا است، مدل کلاسیک مسئله مسیریابی وسائط نقلیه با در نظر گرفتن ظرفیت محدود وسائط به وسیله یک گراف که در آن گره‌ها، مشتریان (m) هستند و یال‌ها مسیر بین مشتریان را نشان می‌دهند، ارایه شد. در این مدل هر مشتری مقدار مشخصی تقاضا دارد که تمامی این تقاضاها (q) بایستی با یک وسیله نقلیه حمل شود. ثابت شده است که مسئله مسیریابی وسائط نقلیه که منجر به کاهش هزینه حمل و نقل می‌شود، باید زمان رسیدن رقبای دیگر نیز به مقاصد در نظر گرفته شود. اهمیت

مسئله مسیریابی وسائط نقلیه دارای نقش بسیار مهمی در لجستیک و توزیع کالا است، مدل کلاسیک مسئله مسیریابی وسائط نقلیه با در نظر گرفتن ظرفیت محدود وسائط به وسیله یک گراف که در آن گره‌ها، مشتریان (m) هستند و یال‌ها مسیر بین مشتریان را نشان می‌دهند، ارایه شد. در این مدل هر مشتری مقدار مشخصی تقاضا دارد که تمامی این تقاضاها (q) بایستی با یک وسیله نقلیه حمل شود. ثابت شده است که مسئله مسیریابی وسائط نقلیه که منجر به کاهش هزینه حمل و نقل می‌شود، باید زمان رسیدن رقبای دیگر نیز به مقاصد در نظر گرفته شود. اهمیت

[۱۰] به منظور بهبود جواب‌های ارایه شده، روش مناسبی برای ایجاد زیر تور و جستجوی محلی ارایه کرد. جوزیفیس و همکاران [۱۱] به بررسی مسیریابی وسائط نقلیه با هدف کمینه کردن طول مسیر و بالانس کردن مسیرها پرداختند که برای حل مسئله از روش‌های فرا ابتکاری با اپراتورهای سنتی مربوط به مسائل چند هدفه استفاده کرده‌اند. بریوب و همکاران [۱۲] به بررسی مسائل چند هدفه و بررسی حل آنها به وسیله روش ϵ -محدودیت^۸ پرداختند، آنها در ادامه مسئله فروشنده دوره گرد را با ارایه روش‌های فرا ابتکاری سریع در حالت چند هدفه حل کردند.

قصیری و قنادپور [۱۳] یک مساله مسیریابی وسائط نقلیه (لوکوموتیوها) با پنجره زمانی را در نظر گرفتند که هدف آن کمینه کردن کل هزینه تخصیص لوکوموتیوها با توجه به هزینه مسافت، زمان، هزینه تأخیرها و انتظارهاست. آنها از یک الگوریتم ژنتیک تلفیقی^۹ با معرفی دو اپراتور جدید برای حل مساله مورد نظر استفاده کردند که نتایج مربوطه با نرم‌افزار Lingo 8 مقایسه شده است. سپهری و حسینی مطلق [۱۴] یک مدل ریاضی جدید، مبتنی بر مساله فروشنده دوره گرد تعمیم یافته^{۱۰}، ارایه کردند که در آن مساله مسیریابی بهینه سیستم‌های حمل و نقل اقلام و قطعات از یک سیستم گذاشت و برداشت اتوماتیک^{۱۱} (AS/RS) برگرفته شده است. برای حل مسئله مورد نظر از الگوریتم اجتماع مورچگان استفاده شده است که جواب‌های به دست آمده با

نرم‌افزار Lingo 8 مورد مقایسه قرار گرفته است. توکلی مقدم و همکاران [۱۵] مسئله وسائط نقلیه را در حالت تقاضای جدا شده^{۱۲} در نظر گرفتند، در این مسئله اجازه داده می‌شود که تقاضای هر مشتری توسط چند وسیله تامین شود. تابع هدف کمینه مسافت طی شده حداکثر کردن استفاده از ظرفیت وسائط نقلیه در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است.

همان طور که بیان شد، با توجه به دانش نویسندگان در ادبیات مسیریابی وسائط نقلیه هیچ اشاره‌ای به مسیریابی در حالت رقابتی برای کسب حداکثر نقدینگی نشده است. در این مقاله با بررسی موضوعیت توجه به مسیریابی وسائط نقلیه در حالت رقابتی^{۱۳} و توجه به نقدینگی قابل کسب، مدلی براساس مسیریابی وسائط نقلیه در حالت رقابتی توسعه داده شده است و به ازای گره‌های مختلف، مدل توسعه داده توسط برنامه Lingo حل شده است و در نهایت نتایج آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

نقلیه را بر اساس وضعیت رقابتی دیگر تعیین می‌کنند. از جهتی برای اقتصاددانان، رقابت و بخصوص بعد مکانی^۳ آن بسیار مهم است. از نظر اقتصاددانان یک مدل مسیریابی را می‌توان رقابتی نامید، اگر شامل شرایطی شود که در آن تسهیلاتی قبلاً مستقر شده‌اند یا در آینده مستقر خواهند شد و همچنین مسیری که وسائط نقلیه برای رسیدن به مصرف کننده طی می‌کنند، باید طوری طراحی شود که با کمترین هزینه حمل و نقل برای به دست آوردن بیشترین سهم بازار^۴ با یکدیگر رقابت کنند. به همین منظور در این مقاله رویکردی جدیدی از مسیریابی وسائط نقلیه ارایه می‌شود. در این رویکرد، دو تابع هدف کمینه کردن هزینه مسیرها و رسیدن به بیشترین میزان نقدینگی را در کنار هم در نظر می‌گیرد. چنین فرضی مباحث دیگری از قبیل نوع رقابت، نوع تصمیم‌گیری مشتری و زمان رسیدن رقیب به مصرف کنندگان را مطرح می‌کند که مدل‌های موجود مسیریابی وسائط نقلیه، قادر به ارایه جواب بهینه نیستند و پاسخ گویی به این سؤال نیازمند مدل مشخص است. در ادامه، مدلی برای مسیریابی وسائط نقلیه با توجه به وجود سایر رقیب جهت به دست آوردن حداکثر نقدینگی مصرف کنندگان و کمینه کردن هزینه مسیرها ارایه می‌شود.

۲. پیشینه تحقیق

دنتزیگ و همکاران [۴] برای اولین بار مساله مسیریابی وسائط نقلیه را مدل کردند و بر اساس روش‌های ریاضی به حل آن پرداختند. در ادامه کلارک و رایت الگوریتم صرفه جویی را برای حل VRP پیشنهاد کردند که مبنای بسیاری از تحقیقات بعدی قرار گرفت [۵]. همچنین در ادامه توکلی مقدم و همکاران [۶] یک مدل ریاضی برای مسئله حمل و نقل وسائط نقلیه بازگشتی^۵ (VRPB) را توسعه دادند که به دلیل پیچیدگی مدل، از الگوریتم ممتیک^۶ برای حل آن استفاده کردند. فیشر [۷] و لاپورت و همکاران [۸] برای حل مسئله مسیریابی وسائط نقلیه، رویکردهای گوناگونی از روش شاخه و حد^۷ را توسعه دادند. در چند سال اخیر به مسیریابی وسائط نقلیه چند هدفه توجه زیادی شده است، از جمله اهدافی که در این مقالات مورد توجه قرار گرفته، می‌توان به موارد میزان کالایی که در هر مسیر جابجا می‌شود، تعداد مشتریانی که در هر مسیر قرار می‌گیرند، طول مسیرها و یا زمان عبور از مسیرها اشاره کرد [۹]. همچنین راسل

۳. مساله مسیریابی وسائط نقلیه در حالت رقابتی

بر اساس جنبه‌های شناسائی شده از مطالعات مروری VRP و نیز جنبه‌های جدید مشاهده شده از مسائل دنیای واقعی، این مقاله به دنبال طراحی و حل مدلی برای مسیریابی وسائط نقلیه با ظرفیت معلوم است که خدمت دهنده اقلام مورد نظر را از محل تسهیلات دریافت کرده و به متقاضیان تحویل می‌دهد. این مساله تحت شرایطی مطرح می‌شود که رقابتی بین توزیع کنندگان در محیط برسر کسب نقدینگی بیشتر و به دست آوردن سهم بازار وجود دارد. در این حالت رقابتی، فرض بر آن است که میزان نقدینگی روزانه مشتری ثابت بوده و ممکن است، رقبا زودتر به جایگاه دسترسی پیدا کنند و تمام نقدینگی مصرف کننده را کسب کنند. همان طور که در شکل شماره ۱ مشاهده می‌شود، توزیع کنندگان A و B دارای مراکز توزیع (تسهیلات) در شهر هستند که به ترتیب با رنگ آبی (ناحیه سمت چپ شکل) و قرمز (ناحیه سمت چپ شکل) مشخص شده‌اند. این توزیع کنندگان وظیفه دارند نیاز مصرف کنندگان را در تمامی مناطقی که با رنگ سبز (دایره) مشخص شده است برآورده کنند و نقدینگی مصرف کنندگان را تصاحب کنند. هر یک از این توزیع کنندگان برای رسیدن به حداکثر سود با استفاده از وسایل نقلیه سبک با ظرفیت معین با یکدیگر در رقابت هستند.

هدف از این مقاله، ارائه مدلی است که هر یک از این شرکت‌ها برای رسیدن به حداکثر نقدینگی قابل کسب از مصرف کننده مسیریابی وسائط نقلیه با ظرفیت معین را طوری تعیین کنند که با کمینه کردن هزینه حمل و نقل، نقدینگی حاصل از خدمت دهی به مشتریان را با وجود رقبا دیگر حداکثر کند بنابراین، به این سبب توزیع کننده باید نسبت به توزیع کننده دیگر زودتر به مصرف کننده برسد تا تمامی نقدینگی را نصیب خود کند، در غیر این صورت نقدینگی به خدمت کننده تعلق نمی‌گیرد. اهمیت این موضوع در این است که در محیط‌های واقعی امروزه انحصار وجود ندارد و رقبای دیگر در بازار هستند که به راحتی می‌توانند سهم قابل توجهی از نقدینگی را از آن خود کرده و ضرر زیادی را متوجه توزیع کننده مد نظر کنند. در ادامه مدل ریاضی ارائه می‌شود که مدل VRP را در حالت رقابتی ارائه می‌دهد. برای درک بیشتر مساله مفاهیم زیر ارائه می‌شود.

۳-۱ تسهیلات

تسهیلات (مراکز پشتیبانی) همان مراکز دپو است، که با توجه به مصرف کنندگان و رقبای بازار و مسیرهای دسترسی و وضعیت

جغرافیایی تعیین می‌شود.

۳-۲ مشتریان

مشتریان، متقاضیان بازار آزاد هستند. در این مدل فرض بر این است که هر کدام از توزیع کنندگان که زودتر به مشتریان برسند، مشتریان نیاز خود را از آنها تامین می‌کنند و منتظر توزیع کننده دیگر نمی‌مانند.

۳-۳ خدمت دهندگان

منظور از توزیع کنندگان، همان وسائط نقلیه سبک، (ظرفیت معین) است که کالاهای مورد نیاز را از دپو تحویل گرفته و بین مشتریان تقسیم می‌کنند.

۳-۴ نقدینگی کسب شده

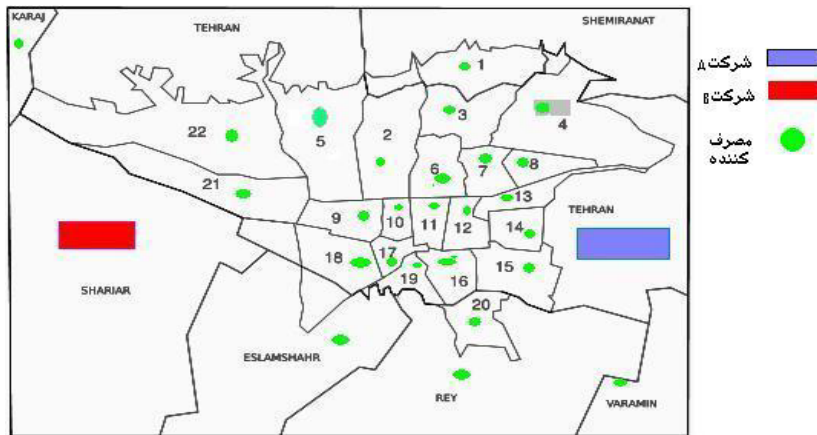
نقدینگی کسب شده میزان پول نقدی است که پس از تحویل کالا به مشتری از او دریافت می‌شود. توزیع کننده مورد نظر سعی دارد با برنامه‌ریزی مناسب حداکثر نقدینگی آن منطقه را کسب کند و برای این منظور بایستی زودتر از رقبا به ارائه خدمت، به مشتریان با ارزش بالا بپردازد. در حالت کلی هیچ یک از رقبا از استراتژی یکدیگر اطلاعاتی ندارند.

۳-۵ تعریف مسئله

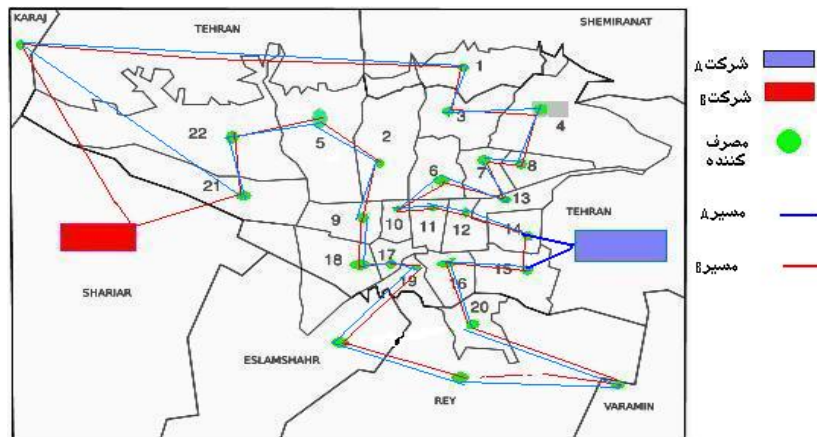
مدل ارائه شده در این مقاله دارای دو تابع هدف یعنی پیدا کردن مسیرهای کوتاه با کمترین هزینه و سرویس دهی به مشتریان قبل از رسیدن سایر رقبا برای کسب بیشترین نقدینگی است. در این مسئله برای یافتن زمان مطلوب سرویس دهی با نمونه‌گیری آماری بازه سرویس دهی رقبا به دست آمده و سعی می‌شود امید ریاضی سرویس دهی به مشتری قبل از رقبا را حداکثر کند. همان طور که در شکل شماره ۲ مشاهده می‌شود هر یک از توزیع کنندگان مسیر خاص و استراتژی مشخصی را برای خدمت دهی به مشتریان خود دارند. با استفاده از روش‌های آماری مشخص می‌شود که هر یک از آنها در بازه زمانی مشخص $[t_1, t_2]$ به هر یک از مناطق مختلف می‌رسند. پس بنابراین، تابع توزیع کسب نقدینگی توزیع کنندگان، در صورتی که تعداد نمونه‌گیری کم باشد، از یک تابع با توزیع یکنواخت پیروی می‌کند که بر حسب زمان رسیدن وسائط نقلیه هر توزیع کننده به مشتری مشخص می‌شود که تابع توزیع آن در شکل شماره ۳ مشخص است. در این شکل، اگر بر اساس مشاهدات آماری مشخص شود که توزیع کننده رقیب در بازه

مشتری سرویس بدهد امید ریاضی کسب نقدینگی کاهش می یابد و همچنین اگر در بازه t_2 به بعد به گره یا مصرف کننده برسد هیچ نقدینگی را کسب نمی کند. بنابراین هدف توزیع کننده آن است که قبل از رسیدن رقبا به مصرف کننده برسند.

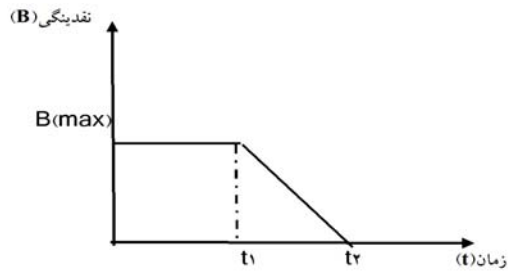
زمانی $[t_1, t_2]$ به گره i (که همان مصرف کنندگان یکی از مناطق است) می رسد اگر توزیع کننده در بازه $[t_0, t_1]$ به گره i برسد تمامی نقدینگی حاصل از آن گره یا مصرف کننده را تصاحب و سهم بازار را کسب می کند، ولی اگر در بازه زمانی $[t_1, t_2]$ به



شکل ۱. محل قرار گرفتن شرکت های توزیع کننده و محل قرار گرفتن مصرف کنندگان



شکل ۲. مسیر خدمت دهی هر یک از توزیع کنندگان A و B



شکل ۳. تابع توزیع نقدینگی قابل کسب در حالت رقابتی

۳-۴ مدل ریاضی

$$z : \min \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^m \sum_{i=1}^n C_{ij} x_{ij}^v - W \left(\sum_{i=1}^n a_i b_i + q_i \sum_{i=1}^n \left(\frac{u_i - t_i}{u_i l_i} \right) b_i \right) \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^m x_{ij}^v = 1 \quad ; \quad j = 2, \dots, n \quad (2)$$

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

$$\sum_{i=1}^n x_{ip}^v - \sum_{i=1}^n x_{pi}^v = 0 \quad ; \quad p = 1, 2, \dots, n \quad ; \quad v = 1, 2, \dots, NV \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i^v \cdot \left(\sum_{j=1}^n x_{ij}^v \right) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij}^v x_{ij}^v \leq tv \quad ; \quad v = 1, 2, \dots, NV \quad (5)$$

$$\sum_{i=2}^n d_i \left(\sum_{j=1}^n x_{ij}^v \right) < k_v \quad ; \quad v = 1, 2, \dots, NV \quad (6)$$

$$t_1 = 0;$$

$$t_j = \sum_{i=1}^n t_i x_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^m t_{ij}^v x_{ij}^v \quad ; \quad j = 2, \dots, n \quad (7)$$

$$(u_i - t_i) + m(1 - q_i) \geq 0 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$(l_i - t_i) + m(1 - o_i) \geq 0 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$(l_i - t_i) - m(1 - q_i) \leq 0 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

$$\sum_{i=2}^n x_{i1}^v \leq 1 \quad ; \quad v = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

$$\sum_{i=2}^n x_{ij}^v \leq 1 \quad ; \quad v = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

$$x \in S \quad (13)$$

۴. مساله مسیریابی وسائط نقلیه در حالت رقابتی

در این مقاله، مسیریابی وسائط نقلیه به صورت مساله پوشش مجموعه در حالت گسسته در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر، نقاط تقاضا به صورت نقطه‌ای و گسسته هستند. در مدل گسسته، مساله در قالب شبکه‌ای از مشتریان (به عنوان گره) که همزمان مسیری را انتخاب می‌کند که با کمترین زمان و با کمینه هزینه مسیرها را طی کند.

۴-۱ علائم، پارامترها و متغیر مدل

پارامترهای مدل شامل موارد زیر است:

n : تعداد نقاط (گره‌های) تقاضا (قرارگاه مرکزی در گره $i=1$)

قرار دارد.

NV : تعداد خودروهای در دسترس.

K_v : ظرفیت هر خودرو.

TV : حداکثر زمانی که خودرو v می‌تواند طی مسیر کند.

d_i : تقاضای گره i

t_i^v : زمان مورد نیاز برای ارائه خدمت به گره i به وسائط

خودرو ($Vt_i^v = 0$)

t_{ij}^v : زمان مورد نیاز جهت طی سویه (i, j) به وسائط

خودرو ($Vt_{ij}^v = 0$)

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

X : ماتریس با درایه‌های $\sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^v$

M : عدد بسیار بزرگ

b_i : حداکثر میزان نقدینگی قابل کسب در گره i

S : زیر مجموعه‌ای که در آن $n = \{ i | i = 1 \dots n \}$ است.

۴-۲ متغیر تصمیم

x_{ij}^v : اگر سویه (i, j) به خودرو v (وسائط) طی می‌شود آنگاه

$x_{ij}^v = 1$ است و در غیر این صورت برابر صفر است.

O_i : اگر خدمت‌دهنده در بازه زمانی $[0-L_i]$ به گره i برسد ۱

است و در غیر این صورت برابر صفر است.

q_i : اگر خدمت‌دهنده در بازه زمانی $[L_i-U_i]$ به گره i برسد ۱

است و در غیر این صورت برابر صفر است.

موضعی گرفتار نشود. بنابراین در مسائل بهینه‌سازی، دما به عنوان یک پارامتر کنترلی عمل خواهد کرد [۱۳-۹]. برای مشخص کردن الگوریتم SA ابتدا متغیرها تعریف می‌شود:

EL = طول زنجیره مارکف (تعداد جواب‌های پذیرفته شده در هر دما - معیار خروج از حلقه داخلی).

MTT = حداکثر انتقالات دما (معیار توقف - خروج از حلقه خارجی).

T_0 = دمای اولیه.

α = ضریب کاهش دما.

X = حل شدنی.

$C(X)$ = مقدار تابع هدف به ازای حل شدنی X .

L = شمارنده تعداد جواب پذیرفته شده در هر دما.

K = شمارنده تعداد انتقالات دما.

۱-۵ الگوریتم تولید حل اولیه

اولین گام در هر رویکرد فراابتکاری تولید حل اولیه است. برای تولید حل اولیه رویکرد ابتکاری زیر مورد استفاده قرار گرفته است.

۱. مشتریان را بر اساس ارزش نقدینگی به صورت نزولی مرتب کنید
۲. از مشتری اول شروع کنید. آن را به وسیله نقلیه اول تخصیص دهید. در صورتی که فاصله مشتری دوم از دپو بیشتر از فاصله این مشتری با مشتری تخصیص یافته است، این مشتری را با توجه به محدودیت حداکثر زمان طی مسیر و حداکثر ظرفیت به وسیله نقلیه اول تخصیص دهید، در غیر این صورت مشتری را به وسیله نقلیه جدید تخصیص دهید.
۳. برای بقیه مشتریان گامهای ذیل را انجام دهید:
 - ۱-۳ مشتریان را به ترتیب انتخاب کنید.
 - ۲-۳ فاصله مشتری با آخرین مشتری هر یک از مسیرها و دپو را محاسبه کنید.
 - ۳-۳ مشتری را با توجه به محدودیت طول مسیر و ظرفیت آن به مسیری تخصیص دهید که کمترین فاصله را با آن دارد. در صورتی که وسیله نقلیه ای بدون مشتری وجود دارد و کمترین فاصله مربوط به دپو است مشتری را به یکی از وسائل نقلیه جدید تخصیص دهید.

رابطه ۱ بیانگر تابع هدف مدل به منظور کمینه کردن هزینه‌ها و کسب حداکثر نقدینگی قابل کسب است روابط ۲ و ۳ باعث می‌شود که هر گره (تقاضا) فقط از یک وسیله نقلیه توزیع کننده، خدمت دریافت کند. رابطه ۴ بیان می‌کند که اگر وسائط نقلیه به گرهی وارد شود، بایستی از آن خارج شود و به این ترتیب پیوستگی مسیرها برقرار است. روابط ۵ و ۶ به ترتیب مربوط به حداکثر زمان طی مسیرها و حداکثر ظرفیت‌های خودروها به وسائط آنها و همچنین فواصل زمانی ارایه خدمات به گرهها است. رابطه ۷ مربوط به انتخاب زمان مناسب جهت رسیدن به گره بعدی است. روابط ۸ الی ۱۰ مربوط به انتخاب نوع تابع مورد نظر جهت رسیدن به حداکثر نقدینگی است. روابط ۱۱ الی ۱۳ مربوط به حذف زیرگردش‌هاست.

۵. روش پیشنهادی شبیه‌سازی تبریدی با

اپراتورهای ژنتیک

همان‌طور که پیشتر بیان شد، مساله VRP جزء مسائل NP-Hard [۲] است که حل آن در ابعاد بزرگ نیازمند استفاده از رویکردهای ابتکاری است. در این بخش برای اعتبار بخشی به مدل پیشنهادی برای مقابله با رقبا در کسب نقدینگی بیشتر، الگوریتم پیشنهادی بر اساس شبیه‌سازی تبرید و با ترکیب اپراتورهای الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار گرفته است. الگوریتم شبیه‌سازی تبرید با استفاده از قواعد علم فیزیک آماری به وجود آمده است و به دنبال یافتن راهی برای استفاده این قواعد در بستر بهینه‌سازی ترکیبی است. فرآیند فعالیت این الگوریتم همانند شکل‌گیری کریستال‌های فلز گداخته در حین خنک شدن است. فرآیند فیزیکی سرمایش که هدف از آن کاهش دمای ماده به پایین‌ترین سطح انرژی است، تعادل گرمایی نامیده می‌شود. فرآیند سرمایش با ماده‌ای در وضعیت گداخته آغاز شده است و سپس به تدریج دمای آن کاهش می‌یابد. در هر دما جسم مجاز به رسیدن تعادل گرمایی است. دما نباید خیلی به سرعت کاهش یابد، بویژه در مراحل اولیه، در غیر این صورت برخی کاسته‌ها در ماده پیدا شده و ماده به وضعیت انرژی کمینه نخواهد رسید. کاهش دما شبیه به کاهش مقدار تابع هدف در مسائل کمینه‌سازی است که توسط یک سری تغییرات بهبود دهنده انجام می‌گیرد. برای اینکه دما به آهستگی کاهش یابد، باید تغییرات غیر بهبود دهنده تابع هدف نیز با احتمال معینی انتخاب شوند، به طوری که وقتی تابع هدف کاهش می‌یابد این احتمال نیز کاهش یابد. این امر موجب می‌شود که الگوریتم در دام بهینه‌های

گام ۲- به طور تصادفی، یک همسایگی برای X_1 تولید می شود (مثل X_2). با جواب X_2 مقدار تابع هدف E_2 به دست می آید. گام ۳- E_1 و E_2 نسبت به هم دو حالت مختلف دارند.

$$E_1 \geq E_2 \quad (1)$$

$$E_1 < E_2 \quad (2)$$

در حالت (۱): جواب جدید مساله X_2 است

در حالت (۲): جواب جدید مساله $\exp \{-(E_2 - E_1) / KT\}$ است.

رابطه ذکر شده به معنای احتمال جایگزین شدن X_2 به X_1 است. در این رابطه K عددی ثابت است که در اغلب مسایل برابر یک در نظر گرفته می شود. T نیز عددی است که در ابتدای مساله برابر مقدار خاصی در نظر گرفته می شود و سپس به تدریج در ادامه، کاهش می یابد. با کاهش پیدا کردن T ، احتمال پذیرش جواب هایی که تابع هدف را زیاده تر می کنند، کم می شود.

گام ۴- الگوریتم چند بار در دمای T تکرار می شود (تعداد تکرار در هر درجه حرارت، از پارامترهای ورودی الگوریتم است).

گام ۵- دمای محیط کاهش می یابد. به طور مثال، کاهش دما با رابطه زیر، صورت می گیرد:

$$T(n+1) = \alpha \times T(n) \quad 0 < \alpha < 1$$

سرعت سرد کردن است. ۶- الگوریتم تا آنجا ادامه می یابد که به شرایط پایانی مساله برسد. معیار توقف الگوریتم، ممکن است در این حالت تعداد دفعات معین تغییر درجه حرارت، رسیدن به درجه حرارت نهایی و یا عدم بهبود جواب پس از تعداد معینی تکرار می شود.

۴. مرحله ۳ را تا زمانی که تمامی مشتریان به وسائط نقلیه تخصیص یابند تکرار کنید.

۲-۵ پیمایش فضای شدنی

دو عملگر کارا از جنس عملگرهای ژنتیکی جهت پیمایش در فضای شدنی و به دست آوردن حل همسایه طراحی شده است که عبارتند از:

۱- **عملگر تقاطعی:** در این عملگر دو مسیر مربوط به دو

وسيله نقلیه از جواب شدنی فعلی به تصادف انتخاب شده و سپس دو گره از دو مسیر با رعایت محدودیت های ظرفیت خودرو و زمان احتمالی عبوری از مسیرها با یکدیگر تعویض می شوند.

۲- **عملگر جهشی:** در این عملگر دو مسیر مربوط به دو

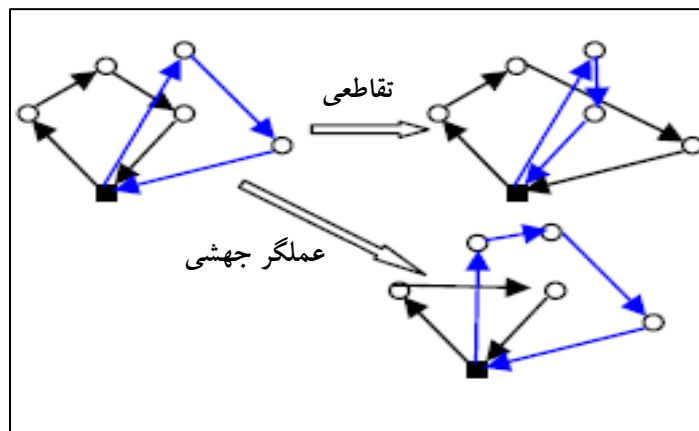
وسيله نقلیه از جواب شدنی فعلی به تصادف انتخاب شده و سپس یک گره از یک مسیر حذف و به مسیر دیگر با رعایت محدودیت های ظرفیت خودرو و زمان سرویس اضافه می شود. شکل شماره ۳ نمایی از دو عملگر ژنتیکی مورد استفاده در حل مسئله را نشان می دهد.

۳-۵ الگوریتم پیشنهادی SA برای محاسبه مسیریابی

وسائط نقلیه رقابتی

طرح کلی الگوریتم شبیه سازی تبرید برای حل مسئله مسیر یابی وسائط نقلیه رقابتی بر اساس گام های زیر است:

گام ۱: در اولین قدم، یک جواب اولیه به طور تصادفی تولید می شود.

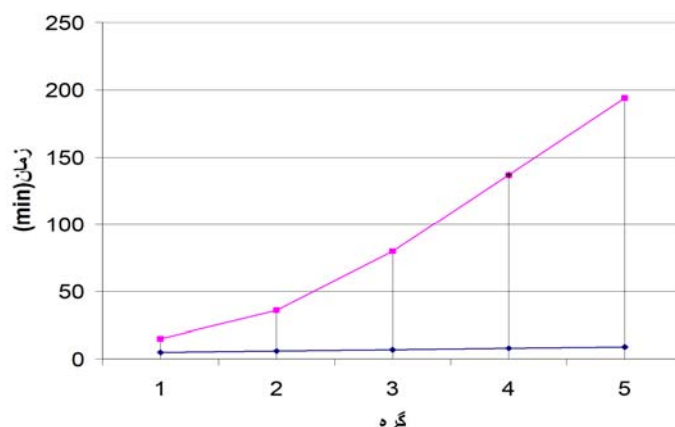


شکل ۳. عملگر تقاطعی و جهشی

۶. اعتبار سنجی مدل

ضریب کاهش دما ۰/۹۹ در نظر گرفته شده است. بر طبق جدول شماره ۱، نتایج به دست آمده از حل پنج نمونه در ابعاد کوچک و متوسط در نظر گرفته شده است. از مقایسه نتایج محاسباتی حاصل از نرم افزار طراحی شده برای الگوریتم SA با جواب‌های به دست آمده از LINGO می‌توان نتیجه گرفت که نرم افزار بکار گرفته شده بر اساس SA قابلیت رسیدن به جواب‌های قابل قبول در مسائل را دارد. از سوی دیگر، بررسی زمان حل مسایل نیز در دو بخش SA و LINGO 8 نشان از افزایش نمائی زمان حل با استفاده از LINGO داشته و در مقابل زمان لازم برای حل مسئله به وسیله نرم افزار SA با افزایش خطی در ابعاد بسیار بالا حاصل خواهد شد. با بررسی افزایش زمان‌های حل نیز می‌توان به تاثیر بسیار بالای افزایش وسائط نقلیه در زمان حل مسائل پی برد. نتایج حل مسائل در ابعاد کوچک و متوسط در جدول ۱ آمده است.

در این بخش نتایج حاصل از مدل ریاضی ساخته شده به منظور اعتبار سنجی ارایه خواهد شد. مدل مزبور توسط نرم افزار لینگو ۸ و بر روی رایانه‌ای با پردازنده Intel dual core, 1.66 GHz و یک گیگا بایت حافظه داخلی به دست آمده است. الگوریتم این مسئله توسط برنامه VISUAL BASIC طراحی شده است که برای هر وسیله نقلیه مسیر طی شونده مشخص شده و کلیه هزینه‌های مرتبط با آن شامل هزینه‌های سفرو هزینه ناوگان محاسبه شده است. همچنین زمان عبوری توزیع کنندگان از مسیرهای مختلف به مقصد محاسبه می شود. جهت بررسی تاثیر تابع هدف افزوده شده به مدل، به دلیل عدم وجود نمونه مسئله در ادبیات، چندین مسئله تولید شد و مسائل با نرم افزار لینگو حل شد. برای تولید مسائل نمونه از توزیع یکنواخت استفاده شده است. برای حل مسائل نمونه طول زنجیره مارکوف و حداکثر انتقالات دما برابر ۱۰۰ و دمای اولیه و دمای نهائی برابر ۰/۵ و



شکل ۴. مقایسه زمان‌های حل به ازای تعداد گره‌های مختلف

جدول ۱. مقایسه جواب‌های الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و نرم‌افزار لینگو در ابعاد کوچک و متوسط

مشخصات مسئله	لینگو		شبیه‌سازی تبرید	
	تعداد وسيله نقلیه	تعداد مشتریان	مقدار بهينه	زمان حل (دقیقه)
نمونه ۱	۲	۵	۴۱.۲	۱۰
نمونه ۲	۲	۶	۳۵۵/۲۵	۳۰
نمونه ۳	۲	۷	۵۰۷۸	۷۳
نمونه ۴	۲	۸	۵۸۳۱	۱۲۹
نمونه ۵	۲	۹	۶۴۲۳	۱۸۵

جدول ۲. مقایسه جوابهای الگوریتم شبیه سازی تبرید و نرم افزار لینگو در ابعاد بزرگ

مشخصات مسئله	لینگو		شبیه سازی تبرید			
	تعداد مشتریان	تعداد وسیله نقلیه	مقدار بهینه	زمان حل (دقیقه)		
نمونه ۱	۲۰	۵	۲۰۳۶۵	۲۰	۱۹۵۶۳	۱/۲
نمونه ۲	۲۵	۶	۲۱۹۵۴	۲۰	۲۱۶۳۴	۱/۳
نمونه ۳	۲۵	۷	۲۱۶۵۴	۲۰	۲۰۳۶۴	۱/۳
نمونه ۴	۳۰	۸	۲۲۳۶۴	۲۰	۲۱۶۹۷	۱/۴
نمونه ۵	۴۰	۹	۲۲۳۶۹	۲۰	۲۱۹۸۷	۱/۵
نمونه ۶	۴۵	۱۰	۲۳۶۵۸	۲۰	۲۲۳۶۴	۱/۵
نمونه ۷	۵۰	۱۱	۲۶۹۸۷	۲۰	۲۵۶۹۸	۱/۷
نمونه ۸	۵۵	۱۲	۲۵۸۶۳	۲۰	۲۴۵۶۹	۱/۸
نمونه ۹	۶۰	۱۳	۲۶۵۶۹	۲۰	۲۶۱۰۱	۱/۸
نمونه ۱۰	۶۵	۱۴	۲۷۳۶۹	۲۰	۲۶۸۹۷	۱/۹

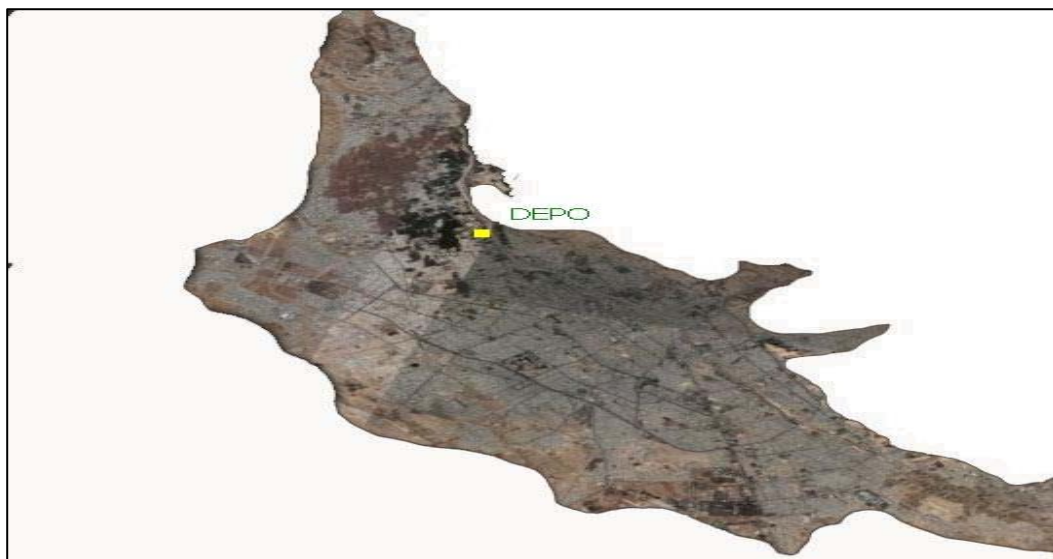
۷. مطالعه موردی

نسبت به زمان) بر حسب وزن و ارزش فروش بر حسب ریال آورده شده‌اند. با توجه به اطلاعات کسب شده از اطلاعات موجود میزان تاثیر فروش محصولات نوع دوم در صورت تاخیر نسبت به رقیب ۲۰٪ با توجه به داده‌های موجود در نظر گرفته شد.

برای محاسبه بازه زمانی، ورود رقیب در روزهای جمع‌آوری زمانهای ورود رقیب، ثبت شده و بازه داده حاصله به عنوان بازه ورود رقیب برای هر یک از مشتریان در نظر گرفته شد. محاسبه هزینه مسیر و سود از دست رفته از دیگر مشکلات این مطالعه به شمار می‌رفت. محصولات نوع دوم هر یک دارای حاشیه سود متفاوت بوده که در این تحقیق از میانگین سود ۱۵٪ برای آنها استفاده شد. برای محاسبه هزینه طی مسافت در واحد زمان از نسبت هزینه روزانه به تعداد ساعات کاری بهره گیری شد و از این هزینه‌ها برای وزن دهی به توابع هدف استفاده شد. متاسفانه به علت وجود تعداد زیادی مشتری و سخت بودن مسئله مدل برنامه‌ریزی خطی در زمان قابل قبول، قابل حل نبوده و بنابراین از الگوریتم فراابتکاری توسعه داده شده برای حل مسئله بهره برده شد. این الگوریتم در مدت ۲۰ دقیقه اجرا و پس از عدم یافتن جواب مناسب در هزار تکرار انتهایی متوقف شد که در جدول ۴ مقدار تابع هدف و مدت زمان اجرای الگوریتم ارائه شده است.

به منظور ارائه درک بهتری نسبت به مدل ارائه شده، از داده های سال ۱۳۸۷ مربوط به یکی از شرکت‌های پخش محصولات لبنی ایران استفاده شده است. این شرکت در شهر شیراز واقع شده و فعالیت‌های خود را از سال ۱۳۴۲ شروع کرده است. این شرکت با دارا بودن ۴ کامیون، شبکه ای بالغ بر ۱۴۱ مشتری را در سطح شهر خدمت رسانی می کند. شکل شماره ۵ محل قرار گرفتن انبار مرکزی شرکت را نشان می‌دهد.

برای مطالعه مدل در این شرکت در گام اول محصولات این شرکت مورد مطالعه قرار گرفته و در دو دسته تقسیم‌بندی شدند. دسته اول محصولاتی بودند که دارای برند مطلوب بوده و زمان رسیدن وسائل نقلیه بر فروش آنها تاثیر گذار نبود. دسته دوم محصولاتی بودند که زمان ارائه خدمت در فروش آنها تأثیر گذاشته و فروش آنها را به اندازه قابل توجهی کاهش می داد. برای جمع آوری اطلاعات فروش، سه روز به صورت تصادفی انتخاب شدند و متوسط فروش به عنوان میزان تقاضا مورد استفاده قرار گرفت. این اطلاعات به تفکیک در جدول شماره ۳ آورده شده اند. در این جدول به ازای هر مشتری دو ردیف وجود دارد: ردیف اول میزان فروش محصولات نوع اول (بدون تاثیر نسبت به زمان) و ردیف دوم میزان تقاضا برای محصولات نوع دوم (تأثیر پذیر



شکل ۵. محل قرار گرفتن دپوی شرکت در شهر شیراز

جدول ۳. میزان متوسط تقاضا

ردیف	تقاضا		ردیف	تقاضا		ردیف	تقاضا		ردیف	تقاضا	
	کیلو	ارزق (ریال)		کیلو	ارزق (ریال)		کیلو	ارزق (ریال)		کیلو	ارزق (ریال)
۱	۵۰	۹۵۰۰۰	۷۳	۵۵	۱۰۴۵۰۰	۳۷	۳۰	۵۷۰۰۰	۳۷	۶۰	۱۱۴۰۰۰
	۶۷	۶۱۵۲۰۰		۴۵	۵۳۶۷۳۳		۲۴	۲۱۴۷۰۰		۹۴	۷۰۷۴۰۰
۲	۴۰	۷۶۰۰۰	۷۴	۳۵	۶۶۵۰۰	۳۸	۱۵	۲۸۵۰۰	۳۸	۲۰	۳۸۰۰۰
	۳۱	۲۹۰۱۳۳		۳۰	۲۱۹۰۰۰		۴۸	۲۷۴۹۰۰		۲۲	۱۲۶۰۰۰
۳	۷۰	۱۳۳۰۰۰	۷۵	۳۵	۶۶۵۰۰	۳۹	۵۵	۱۰۴۵۰۰	۳۹	۳۰	۵۷۰۰۰
	۶۱	۵۹۵۹۶۷		۵۱	۴۶۰۸۳۳		۶۳	۵۳۰۲۰۰		۵۳	۳۷۵۰۰۰
۴	۹۰	۱۷۱۰۰۰	۷۶	۷۰	۱۳۳۰۰۰	۴۰	۳۰	۵۷۰۰۰	۴۰	۴۵	۸۵۰۰۰
	۹۶	۹۵۰۴۰۰		۴۹	۴۰۶۵۰۰		۳۳	۱۸۹۵۰۰		۷۱	۵۳۷۰۵۰
۵	۴۰	۷۶۰۰۰	۷۷	۳۰	۵۷۰۰۰	۴۱	۱۵	۲۸۵۰۰	۴۱	۸۶	۱۶۳۴۰۰
	۴۹	۴۴۲۱۰۰		۳۱	۱۴۷۳۳۳		۱۹	۱۲۶۰۰۰		۲۸	۲۴۵۸۰۰
۶	۵۰	۹۵۰۰۰	۷۸	۴۰	۷۶۰۰۰	۴۲	۵۰	۹۵۰۰۰	۴۲	۴۵	۸۵۰۰۰
	۳۵	۳۱۸۹۶۷		۵۶	۴۰۱۳۳۳		۳۷	۳۰۶۵۰۰		۶۰	۴۰۲۸۰۰
۷	۳۰	۵۷۰۰۰	۷۹	۷۰	۱۳۳۰۰۰	۴۳	۵۰	۹۵۰۰۰	۴۳	۴۵	۸۵۰۰۰
	۳۷	۲۷۴۱۰۰		۵۹	۴۷۶۰۰۰		۳۲	۲۷۰۸۳۳		۴۸	۳۴۳۶۰۰
۸	.	.	۸۰	۲۵	۴۷۵۰۰	۴۴	۲۰	۳۸۰۰۰	۴۴	۴۵	۸۵۰۰۰
	۹۰	۱۰۴۴۴۶۷		۳۷	۲۴۹۸۳۳		۹	۱۲۸۵۰۰		۹۴	۹۰۲۵۰۰
۹	۷۰	۱۳۳۰۰۰	۸۱	۴۵	۸۵۰۰۰	۴۵	۴۰	۷۶۰۰۰	۴۵	۶۰	۱۱۴۰۰۰
	۶۲	۶۱۸۱۶۷		۷۳	۶۴۶۵۰۰		۴۰	۳۱۰۶۶۷		۶۹	۴۰۸۸۰۰
۱۰	۵۵	۱۰۴۵۰۰	۸۲	۵۵	۱۰۴۵۰۰	۴۶	۲	۳۱۶۷	۴۶	۱۲۰	۲۲۸۰۰۰
	۶۲	۵۸۶۶۰۰		۵۳	۴۳۳۸۳۳		۱۰	۱۱۸۱۶۷		۱۴۳	۱۲۶۳۶۰۰
۱۱	۹۰	۱۷۱۰۰۰	۸۳	۶۵	۱۲۳۵۰۰	۴۷	۲۰	۳۸۰۰۰	۴۷	۴۵	۸۵۰۰۰
	۶۶	۴۳۲۸۳۳		۶۵	۵۵۶۱۶۷		۳۰	۲۹۱۶۶۷		۶۹	۵۱۷۵۰۰
۱۲	۴۵	۸۵۰۰۰	۸۴	۱۰	۱۹۰۰۰	۴۸	۳۵	۶۶۵۰۰	۴۸	۶۰	۱۱۴۰۰۰
	۵۵	۴۶۵۴۰۰		۲۷	۲۹۴۶۶۷		۳۸	۲۴۷۶۶۷		۶۴	۵۰۸۴۰۰
۱۳	۳۵	۴۷۵۰۰	۸۵	۱۰	۱۹۰۰۰	۴۹	۳۰	۵۷۰۰۰	۴۹	۶۰	۱۱۴۰۰۰
	۶۳	۴۹۳۰۳۳		۱۰	۴۶۶۶۷		۳۲	۲۴۱۸۳۳		۷۲	۸۷۲۵۰۰

ادامه جدول ۳. میزان متوسط تقاضا

۲۴۷۰۰۰	۱۳۰	۱۲۲	۵۷۰۰۰	۳۰	۸۶	۹۵۰۰۰	۵۰	۵۰	۱۱۴۰۰۰	۶۰	۱۴
۱۰۲۵۳۰۰	۱۰۳		۲۱۱۳۳۳	۲۸		۳۳۳۰۰۰	۴۶		۴۲۵۴۰۰	۶۳	
۵۷۰۰۰	۳۰	۱۲۳	۶۶۵۰۰	۳۵	۸۷	۵۷۰۰۰	۳۰	۵۱	۱۱۴۰۰۰	۶۰	۱۵
۱۹۶۷۳۳	۳۰		۱۴۵۱۶۷	۱۹		۱۵۳۸۳۳	۱۴		۵۸۶۹۰۰	۸۳	
۳۰۴۰۰۰	۱۶۰	۱۲۴	۱۰۴۵۰۰	۵۵	۸۸	۲۸۵۰۰	۱۵	۵۲	۱۱۴۰۰۰	۶۰	۱۶
۸۵۸۸۳۳	۹۲		۳۷۷۱۶۷	۴۴		۱۱۹۸۳۳	۱۶		۴۸۸۷۰۰	۶۳	
۱۵۲۰۰۰	۸۰	۱۲۵	۶۶۵۰۰	۳۵	۸۹	۱۹۰۰۰	۱۰	۵۳	۱۷۱۰۰۰	۹۰	۱۷
۵۷۸۷۶۷	۶۵		۲۰۰۶۶۷	۲۵		۴۰۷۱۷	۸		۹۴۵۷۰۰	۱۲۶	
۸۵۵۰۰	۴۵	۱۲۶	۱۹۰۰۰	۱۰	۹۰	۶۶۵۰۰	۳۵	۵۴	۸۵۵۰۰	۴۵	۱۸
۴۳۳۸۳۳	۵۷		۷۱۵۰۰	۷		۲۶۷۸۳۳	۳۵		۴۶۴۹۰۰	۶۳	
۱۹۰۰۰	۱۰	۱۲۷	۱۳۳۰۰۰	۷۰	۹۱	۱۱۴۰۰۰	۶۰	۵۵	۱۹۹۵۰۰	۱۰۵	۱۹
۹۱۹۶۷	۱۱		۵۱۳۰۰۰	۵۵		۲۱۷۸۳۳	۳۲		۱۰۹۱۱۰۰	۱۲۲	
۲۸۵۰۰	۱۵	۱۲۸	۴۷۵۰۰	۲۵	۹۲	۱۰۴۵۰۰	۵۵	۵۶	۸۵۵۰۰	۴۵	۲۰
۱۰۳۶۰۰	۱۹		۱۰۳۵۰۰	۹		۳۷۲۶۶۷	۴۷		۲۷۷۷۵۰	۴۲	
۷۶۰۰۰	۴۰	۱۲۹	۶۶۵۰۰	۳۵	۹۳	۷۶۰۰۰	۴۰	۵۷	۱۷۱۰۰۰	۹۰	۲۱
۳۱۱۷۶۷	۳۹		۳۶۶۰۶۷	۴۲		۱۷۴۱۶۷	۲۰		۱۱۴۶۱۰۰	۱۲۴	
۷۶۰۰۰	۴۰	۱۳۰	۷۶۰۰۰	۴۰	۹۴	۱۱۴۰۰۰	۶۰	۵۸	۵۷۰۰۰	۳۰	۲۲
۴۵۰۷۶۷	۳۸		۲۷۳۰۰۰	۱۸		۸۵۰۰۰	۱۴		۵۷۵۵۰۰	۷۴	
۲۸۵۰۰	۱۵	۱۳۱	۱۰۴۵۰۰	۵۵	۹۵	۳۸۰۰۰	۲۰	۵۹	۸۵۵۰۰	۴۵	۲۳
۱۰۵۵۳۳	۹		۲۲۹۰۰۰	۳۱		۵۴۶۶۷	۱۰		۳۵۳۶۰۰	۴۲	
۲۸۵۰۰	۱۵	۱۳۲	۲۰۳۳۳	۱۱	۹۶	۲۰۹۰۰۰	۱۱۰	۶۰	۱۴۲۵۰۰	۷۵	۲۴
۱۶۷۲۰۰	۱۰		۷۹۳۳۳	۱۲		۱۸۷۸۳۳	۲۴		۶۸۷۴۵۰	۹۳	
۱۹۰۰۰	۱۰	۱۳۳	۱۹۰۰۰	۱۰	۹۷	۴۷۵۰۰	۲۵	۶۱	۲۸۵۰۰	۱۵	۲۵
۲۱۸۱۳۳	۲۸		۱۹۸۵۰۰	۲۲		۱۹۶۳۳۳	۲۱		۳۹۱۰۰۰	۴۱	
۱۹۰۰۰	۱۰	۱۳۴	۳۸۰۰۰	۲۰	۹۸	.	.	۶۲	۸۵۵۰۰	۴۵	۲۶
۱۳۹۲۰۰	۱۷		۱۳۰۵۳۳	۲۰		۳۵۰۰۰۰	۳۲		۴۷۷۲۵۰	۳۱	
۴۷۵۰۰	۲۵	۱۳۵	۳۸۰۰۰	۲۰	۹۹	۱۹۰۰۰	۱۰	۶۳	۱۱۴۰۰۰	۶۰	۲۷
۳۲۹۶۰۰	۲۵		۱۷۴۳۳۳	۲۳		۱۰۵۶۶۷	۸		۴۳۱۸۰۰	۶۴	
۱۹۰۰۰	۱۰	۱۳۶	۱۹۰۰۰	۱۰	۱۰۰	۲۸۵۰۰	۱۵	۶۴	۸۵۵۰۰	۴۵	۲۸
۸۷۵۰۰	۱۱		۵۹۳۳۳	۹		۲۲۶۶۶۷	۲۷		۲۲۵۶۰۰	۳۴	
۹۵۰۰	۵	۱۳۷	۱۹۰۰۰	۱۰	۱۰۱	۳۸۰۰۰	۲۰	۶۵	۸۵۵۰۰	۴۵	۲۹
۲۲۷۹۳۳	۳۱		۴۹۶۶۷	۴		۱۹۲۰۰۰	۱۴		۶۸۹۰۰۰	۷۴	
۳۸۰۰۰	۲۰	۱۳۸	۳۸۰۰۰	۲۰	۱۰۲	۳۸۰۰۰	۲۰	۶۶	۳۱۶۷	۲	۳۰
۲۸۱۶۶۷	۲۴		۱۱۲۴۶۷	۱۸		۱۰۵۸۳۳	۱۰		۲۱۰۶۶۷	۲۸	
۱۹۰۰۰	۱۰	۱۳۹	۱۲۶۶۷	۷	۱۰۳	۳۸۰۰۰	۲۰	۶۷	۴۷۵۰۰	۲۵	۳۱
۳۰۲۷۶۷	۲۱		۲۹۵۰۰	۴		۸۳۳۳۳	۸		۳۲۷۵۰۰	۲۱	
۲۸۵۰۰	۱۵	۱۴۰	۱۳۳۰۰۰	۷۰	۱۰۴	۱۹۰۰۰	۱۰	۶۸	۲۵۳۳۳	۱۳	۳۲
۳۷۶۷۳۳	۳۱		۵۹۲۴۰۰	۶۶		۱۱۶۰۰۰	۱۸		۸۰۰۰۰	۷	
۳۸۰۰۰	۲۰	۱۴۱	۹۵۰۰۰	۵۰	۱۰۵	۲۸۵۰۰	۱۵	۶۹	۱۹۰۰۰	۱۰	۳۳
۳۰۵۸۰۰	۲۸		۵۱۳۴۶۷	۶۲		۲۶۸۱۶۷	۲۴		۲۹۰۰۰	۱۰	
			۹۵۰۰۰	۵۰	۱۰۶	۱۹۰۰۰	۱۰	۷۰	۷۶۰۰۰	۴۰	۳۴
			۵۸۲۴۶۷	۴۶		۱۰۰۰۰۰	۱۴		۲۷۵۶۶۷	۳۹	
			۱۶۱۵۰۰	۸۵	۱۰۷	۷۶۰۰۰	۴۰	۷۱	.	.	۳۵
			۷۸۸۳۶۷	۸۶		۳۷۹۰۰۰	۴۷		۱۹۶۲۹۵۰	۱۱۹	

جدول ۴. نتایج حاصل از حل مسئله مسیریابی شرکت پخش

مشخصات مسئله		لینگو		شبیه سازی تبرید		
تعداد وسیله نقلیه	تعداد مشتریان	مقدار بهینه	زمان حل (دقیقه)	مقدار بهینه-فاصله بر حسب زمان	زمان حل (دقیقه)	
شرکت پخش محصولات لبنی	۴	۱۴۱	غیر قابل حل در زمان مناسب	-	۱۷۰۴	۲۰

۸. نتیجه گیری

وجود رقابت در توزیع کالا سبب شده است تا تنها اتکا به پیدا کردن مسیرهای کوتاه و با هزینه کمتر نتواند انتظار مدیران را در باب مسیریابی ناوگان توزیع جوابگو باشد. با توجه به دانش نویسندگان، تاکنون هیچ توجهی به مبحث نقدینگی و رقابت در مسیریابی و سائط نقلیه در ادبیات موضوع صورت پذیرفته است. توجه به مبحث نقدینگی و دانستن این حقیقت که سرویس دهی روزانه زودتر به مشتریان سبب کسب حداکثر نقدینگی قابل کسب از مشتریان می شود باعث شد تا در این مقاله مدلی توسعه داده شود که علاوه بر پیدا کردن مسیرهای کوتاه زمانبندی و سائط را به گونه ای تنظیم کند که حجم زیادی از نقدینگی موجود را نصیب شرکت کند. در این مقاله، علاوه بر مدل سازی در جهت اعتبار سنجی به مدل الگوریتم فراابتکاری شبیه سازی تبرید با اپراتورهای ژنتیک توسعه داده شد. در ادامه در جهت اعتبار سنجی مدل تعدادی نمونه عددی ارائه شده و با الگوریتم فراابتکاری و نرم افزار Lingo حل شده و جواب های حاصله مقایسه گردید. در انتها مطالعه موردی بر روی یکی از شرکت های پخش مستقر در شهر شیراز انجام گرفت و نتایج حاصل گزارش شد.

۹. پانویس ها

1. Gross National Product
2. Vehicle Routing Problem
3. Spatial
4. Market Share
5. VRP with Backhauls
6. Memetic Algorithm
7. Branch-and-Bound
8. ϵ -Constraint
9. Hybrid Genetic Algorithm
10. Generalized Travelling Salesman Problem
11. Automated Storage/Retrieval System
12. Split Service
13. Competitive VRP

۱۰. فهرست مراجع

الف) مراجع فارسی:

۳. توکلی مقدم، رضا، ربانی، مسعود، شریعت، محمد علی و صفائی، نیما (۱۳۸۵) "حل مسیریابی و سائط نقلیه با پنجره زمانی نرم با استفاده از یک الگوریتم فراابتکاری تلفیقی"، نشریه فنی، دانشگاه تهران، جلد ۴۰، شماره ۴، ص ۴۷۶-۴۶۹.

۱۳. قصیری، کیوان و قناد پور، سید فرید (۱۳۸۷) "مسیریابی لوکوموتیوها در شبکه با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال پنجم، شماره ۳، (۱۶)، ص ۲۷۳-۲۵۹.

۱۴. سپهری، محمد مهدی و حسینی مطلق، سید مهدی (۱۳۸۷) "مسیریابی بهینه سیستم های حمل و نقل در انبارهای اتوماتیک"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال پنجم، شماره ۲، (۱۵)، ص ۱۲۷-۱۴۴.

ب) مراجع غیر فارسی:

1. Lenstra, J.K. and Rinnooy Kan, A.H.G. (1981) "Complexity of vehicle routing and scheduling problem", Networks, Vol. 11, pp. 221-227.

2. Mingozzi, A., Giorgi, S. and Baldacci, R. (1999) "An exact method for the vehicle routing problem with back hauls", Transportation Science, Vol. 33, pp. 315-329.

3. Dantzig, G.B., Fulderson, R. and Johnson, S.M. (1954) "Solution of a large scale traveling salesman problem", Management Science, Vol. 6, pp. 80-91.

4. Clarke, C. and Wright, J.Q. (1994) "Scheduling of vehicle from a central depot to a number of delivery points," Operations Research, Vol. 12, pp. 568-581.

5. Tavakkoli-Moghaddam, R., Saremi, A.R. and Ziaee, M.S. (2006) "A memetic algorithm for a vehicle routing problem with backhauls", Applied Mathematics and Computation, Vol. 181, pp. 1049-1060.

10. 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.
11. 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.
12. Tavakoli-Moghadam, R., Safaei, N., Kah, M.M.O. and Rabbani, M. (2007) "A new capacitated vehicle routing problem with split service for minimizing fleet cost by simulated annealing", *Journal of the Franklin Institute*, Vol. 344, pp. 406-425.
6. Fisher, M. (1995) "Vehicle routing", in *Handbooks in OR & MS*, M.O. Ball et al. (Eds), Vol. 8.
7. Laport, G., Mercure, H. and Nobert, Y. (1992) "A branch and bound algorithm for a class of asymmetrical vehicle routing problems", *Journal of Operational Research Society*, Vol. 43, pp. 469-481.
8. Lee, T. and Ueng, J. (1999) "A study of vehicle routing problems with load balancing", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 29, pp. 646-658.
9. Russell, R.A. (1977) "An effective heuristic for the M-tour traveling salesman problem with some side conditions", *Operations Research*, Vol. 25, No. 3, pp. 517-524.

A New Mathematical Programming Model for a Vehicle Routing Problem in a Competitive Environment: A Real Case Study

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

*M. Alinaghian, Ph.D. candidate, Department of Industrial Engineering, Iran
University of Science and Technology, Tehran, Iran*

*A. R. Salamat Bakhsh, MSc. Student, Department of Industrial Engineering, Islamic
Azad University - South Tehran Branch, Tehran, Iran
E-Mail: tavakoli@ut.ac.ir*

ABSTRACT

Transportation, which has a specific division in production economics and service systems, has a great value in a gross national product (GNP) in every country. Thus, most researchers worked on improving routes, omitting unimportant transportations, or replacing shortcut routes. For these reasons, they have developed a traveling salesman problem (TSP) and a vehicle routing problem (VRP). The classical and deterministic VRP seeks routes with the lowest cost from a depot to a geographically dispersed customers' set with known demands. Usually in the VRP, monopoly in an environment is the first assumption in solving the problem. Also attending to the competitors for getting better success is important. In the real-world situation, customer's cash is limited, and a competitor that reach to customers earlier than others can receive the maximum cash. So, providing the specific service to customers earlier than other competitors is very important. In this paper, getting the maximum cash is considered in our presented model with a competitive environment. In the best of our knowledge, the VRP with maximizing cash in the objective function has not been considered in the literature. Thus, we consider a bi-objective model that minimizes the total distance travelled and maximizes the cash flow in a competitive environment. These objectives conflict with each other (i.e., the better one of them, the worse the other). So for facing to this difficulty, a weighting method is needed to integrate these objectives into a single minimization cost function. The presented mathematical model is solved by the Lingo 8 software for various test problems. Since exact solutions of VRPs that belong to the category of NP-hard problems are not practical in large scale, a hybrid simulated annealing (SA) algorithm embedded with genetic operators is proposed in order to obtain an efficient solution in a reasonable computational time. Furthermore, a real case study is carried out to validate our presented model and the related results are reported. Finally, the remarkable conclusion is presented.

Keywords: Vehicle routing problem, mathematical programming, cash flow, competitive environment, hybrid simulated annealing.