مدل‌سازی و حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با تابع هزینه پله‌ای وابسته به مقدار بارگیری (مطالعه موردی: شرکت فرگاز مازندران)

محمد جعفر تارخ*[1]، نورالدین دبیری[2] و وحید یدالله‌نژاد کلمی[3]

[1] دانشیار دانشکده مهندسی صنایع- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

[2] دانشجوی دکترای دانشکده مهندسی صنایع- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

[3] کارشناس مهندسی صنایع- شرکت فرگاز مازندران

(تاریخ دریافت 90/2/11، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده 90/3/14، تاریخ تصویب 90/7/16)

چکیده

موضوع مسیریابی وسیله نقلیه، یکی از موضوعات مهم در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است. در اکثر پژوهش‌های پیشین، هدف این موضوعات حداقل‌کردن کل مسافت طی‌شده توسط وسایل نقلیه بوده است. ولی در صنعت، موارد متعددی یافت می‌شود که مقدار محصول بارگیری‌شده جزو مؤلفه‌های تابع هزینه است. در این مقاله ابتدا یک موضوع مسیریابی وسیله نقلیه ناهمگن، مدل‌سازی شده است که در آن هزینه پرداختی برای هر وسیله نقلیه، برابر حاصل‌ضرب نرخ هزینه در مقدار بارگیری است و نرخ هزینه نیز بر اساس تابع پله‌ای بر اساس مسافت طی‌شده توسط وسیله نقلیه محاسبه می‌شود. سپس به کمک تکنیک‌های تحلیلی، مدل غیرخطی ساخته‌شده با مدل خطی معادل‌سازی شده است. در ادامه، یک راه حل ابتکاری سازنده برای این موضوع پیشنهاد و کارآیی آن با حدود جواب بهینه حاصل از نرم‌افزار Cplex 12.2 سنجیده شده است. در انتها، کاربرد این موضوع در شرکت فرگاز مازندران، جمع‌بندی نتایج حاصل از این پژوهش و پیشنهادهایی برای تحقیقات بعدی ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی توزیع، برنامه‌ریزی حمل و نقل، مسیریابی وسیله نقلیه ناهمگن، مقدار بارگیری، تابع هدف پله‌ای، روش ابتکاری

مقدمه

موضوع مسیریابی وسیله نقلیه(VRP)[1]، یکی از مفاهیم آشنا در زمینه تحقیق در عملیات است که در دو دهه اخیر تلاش‌ها و به دنبال آن پیشرفت‌های بزرگی در این زمینه انجام گرفته است. موضوع مسیریابی وسیله نقلیه به مجموعه‌ای از موضوعات اطلاق می‌شود که در آن ناوگانی متشکل از چندین وسیله نقلیه از یک یا چند قرارگاه به ارایه خدمت به مشتریان پراکنده در نقاط مختلف جغرافیایی می‌پردازند و این موضوع را به نحوی انجام می‌دهند که هزینه‌های انجام این کار به حداقل برسد. هر وسیله نقلیه با شروع از قرارگاه مرکزی پس از ارایه خدمت به مشتریان به مبداء باز می‌گردد. هر وسیله، ظرفیت معینی دارد و همه مسیرهای مربوطه از مبداء یا قرارگاه مرکزی شروع و به آن ختم می‌شوند.

این موضوعات، در واقع توسعه‌یافته موضوع معروف فروشنده دوره‌گرد(TSP)[2] است. ساده‌ترین شکل از موضوعات مسیریابی وسیله نقلیه، موضوع مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت ظرفیت(CVRP)[3] است. این موضوع برای اولین بار در سال 1959 توسط دانتزیگ و رامسر معرفی شده است[1].

از همان سال‌های اولیه معرفی این موضوعات، مطالعات بسیار زیادی در راستای توسعه مدل‌های ریاضی و کاربردی‌تر کردن آن‌ها توسط محققان انجام شده است. برای نمونه، اضافه‌شدن ملاحظاتی مانند پنجره زمانی[4]، ناهمگن بودن ناوگان[5]، حمل کالا در برگشت[6]، جمع‌آوری و توزیع[7]، تحویل در چندبار[8]، وابسته به زمان، چند دپویی[9]، چند دوره‌ای[10]، مسیریابی باز[11] و مسیریابی لحظه‌ای[12] از آن جمله‌اند. به دلیل گستردگی دامنه تحقیقات مربوط به موضوعات مسیریابی وسیله نقلیه، تا کنون مقالات و کتاب‌های متعددی فقط با هدف دسته‌بندی و مرور مطالعات انجام‌شده منتشر شده است[2-6].

موضوعات مسیریابی وسیله نقلیه ناهمگن را می‌توان

*نویسنده مسئول : تلفن : 84063365 , فاکس : 88674858 ، Email: mjtarokh@kntu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

به سه دسته طبقه‌بندی کرد. در دسته اول که توسط گلدن و همکاران وی ارائه شده است، فرض می‌شود هزینه متغیر همه انواع وسایل نقلیه یکسان و تعداد نامحدودی از هر یک از انواع وسایل وجود دارد[7-9]. در دسته دوم، فرض شده است که هزینه متغیر وسایل نقلیه متفاوت است، ولی در اینجا نیز تعداد نامحدودی از هر یک از انواع وسایل وجود دارد[10-12]. در دسته سوم، هزینه متغیر وسایل نقلیه متفاوت و همچنین تعداد وسایل موجود از هر نوع، محدود فرض شده است[13-14]. لازم به ذکر است موضوع مورد بررسی در این مقاله در دسته سوم قرار می‌گیرد.

موضوعات مسیریابی وسیله نقلیه، از جمله موضوعات بسیار سخت (NP-hard) است؛ به گونه‌ای که یافتن جواب بهینه برای آنها بسیار سخت و زمان‌بر است[15]. بنابراین در کنار توسعه مدل‌های کاربردی، پژوهش‌های بسیاری با هدف ارائه راه‌حل‌های کارآ توسط محققان انجام شده است[2و6]. ناهمگن‌بودن وسایل نقلیه، پیچیدگی موضوع را به شدت افزایش می‌دهد و به دنبال آن ارائه راه حل برای آنها بسیار سخت‌تر است[16]. از بین سه دسته موضوعات مسیریابی وسیله نقلیه ناهمگن نیز دسته سوم، پیچیدگی بسیار بالاتری دارد، زیرا محدودیت جدیدی اضافه می‌شود[14]. به گونه‌ای که پژوهش‌های بسیار محدودی در این زمینه منتشر شده است[13- 14و 17]. به طور کلی توابع هزینه در نظر گرفته شده در موضوعات مسیریابی وسایل نقلیه، شامل هزینه‌های وابسته به زمان، وابسته به مسافت، وابسته به وسیله نقلیه، وابسته به عملیات، وابسته به تأخیر و وابسته به بی‌نظمی‌های ناوگان است[6].

طبق بررسی‌های انجام‌شده توسط محققان، به‌کارگیری و ملاحظه مقدار بارگیری برای محاسبه هزینه در موضوعات مسیریابی وسایل نقلیه، به ندرت مورد توجه قرار گرفته است. به عنوان مثال، ژن‌هو و کائی، هزینه مصرف سوخت وسیله نقلیه را در نظر گرفته‌اند که خود تابعی از میزان بار وسیله نقلیه است[18]. زیائو و همکاران، کمینه‌سازی هزینه سوخت را به طور جامع بررسی کرده‌اند؛ ایشان با تجزیه و تحلیل میزان مصرف سوخت در انواع وسایل نقلیه، تابع برآورد آن را به شکل تابع خطی استنتاج کرده‌اند. همچنین یک الگوریتم ابتکاری به نسبت کارآ برای حل مدل پیشنهادی توسعه داده‌اند[19]. در پژوهش دیگری محققان ضمن ملاحظه هزینه‌های ثابت، هزینه‌های متغیر وسلیه نقلیه را به عنوان تابعی از مقدار بار و مقدار مسافت طی‌شده در نظر گرفته‌اند. سپس یک الگوریتم فراابتکاری مبتنی بر روش جستجوی پراکنده، برای حل مدل مذکور پیشنهاد داده‌اند[20]. کسکن‌ترک و یلدریم، یک الگوریتم ژنتیک برای موازنه بار کامیون‌ها در موضوع مسیریابی وسیله نقلیه را بدون در نظر گرفتن هزینه مسیر، توسعه داده‌اند[21]. کریتیکوس و آیوانو موازنه بار وسایل نقلیه را همزمان با کاهش هزینه، البته به صورت مدل تک هدفه مورد مطالعه قرار داده‌اند[22].

هنگامی که حمل کالا در شبکه توزیع برون‌سپاری می‌شود، از یک طرف میزان بار وسایل اهمیت پیدا می‌کند و از طرفی اندازه‌گیری میزان مصرف سوخت امکان‌پذیر ناست، بنابراین در این پژوهش، هزینه حمل و نقل به صورت پله‌ای، وابسته به مقدار بار و مسافت طی‌شده در نظر گرفته شده است. برای این منظور، ابتدا یک مدل غیرخطی برای موضوع مسیریابی وسیله نقلیه ناهمگن با تعداد وسایل محدود و با هدف حداقل‌کردن هزینه کل ساخته شده است. نکته قابل توجه در مدل ارائه‌شده این است که هزینه پرداختی برای هر وسیله نقلیه برابر حاصل ضرب نرخ هزینه در مقدار بارگیری در نظر گرفته شده است. نرخ هزینه نیز بر اساس تابع پله‌ای بر اساس مسافت طی‌شده توسط هر وسیله نقلیه محاسبه می‌شود. سپس به کمک تکنیک‌های تحلیلی مدل غیرخطی، عدد صحیح مختلط (MINLP)[13] ساخته‌شده با یک مدل خطی عدد صحیح مختلط (MIP)[14] معادل‌سازی شده است. در ادامه، یک راه حل ابتکاری سازنده برای این موضوع پیشنهاد شده است. برای بررسی درستی راه حل پیشنهادی، نتایج حاصل از آن با حدود بالا و پایین به‌دست‌آمده از نرم‌افزار Cplex 12.0 مقایسه شده است. برای اعتبارسنجی مدل و راه‌حل پیشنهادی نیز، کاربرد این نوع موضوعات در شرکت فرگاز مازندران مورد مطالعه قرار گرفته است. در انتها نیز خلاصه نتایج حاصل از این پژوهش بیان شده است.

مدل‌سازی موضوع

در این بخش، مدل ریاضی موضوع مسیریابی وسیله نقلیه با ناوگان ناهمگن و محدود با تابع نرخ هزینه پله‌ای و ملاحظه مقدار بارگیری، به صورت پارامتریک ارائه می‌شود. لازم به ذکر است که با توجه به پیچیدگی موضوع مورد

Archive of SID

www.SID.ir

بررسی، محتوای این بخش در سه زیربخش پارامترها و متغیرها، محدودیت‌ها و تابع هدف به صورت تفکیک‌شده بیان شده است.

1-پارامترها و متغیرها

i,j,k,l : اندیس‌های شماره مکان‌ها، شماره صفر برای قرارگاه مرکزی و بقیه برای مشتریان

v : اندیس وسیله نقلیه $v=1, 2, \ldots, V$

s : اندیس پله‌های تابع نرخ هزینه $s=1, 2, \ldots, S$

d_i : تقاضای مشتری i ام

e_{ij} : مسافت بین مکان i ام تا مکان j ام

q_v : ظرفیت وسیله نقلیه v ام

bp_s : نقطه شکست تابع پله‌ای نرخ هزینه بین پله‌های s-1 و s است و فرض می‌شود $bp_0=0$.

sc_s^v : نرخ هزینه‌ی حمل هر واحد کپسول توسط وسیله نقلیه v ام برای مسافت طی‌شده در بازه bp_{s-1} و bp_s.

X_{ij}^v : برابر 1 اگر وسیله نقلیه v از مکان i ام به مکان j ام برود در غیر این‌صورت برابر صفر.

Y_{ij}^v : مقدار محصول که توسط وسیله نقلیه v بین مکان i ام به مکان j ام حمل می‌شود.

W^v : کل مسافت طی‌شده توسط وسیله نقلیه v

U^v : مقدار محصولبارگیری‌شده توسط وسیله v

CR^v : نرخ هزینه‌ی هر واحد محصول توزیع‌شده توسط وسیله نقلیه v

G_s^v : برابر 1 اگر مقدار W^v در بازه $[bp_S , bp_{S-1}]$ باشد و برابر با صفر در غیر این‌صورت.

TC_s^v : هزینه‌ی پرداختی به وسیله نقلیه v در صورتی که sc_s^v در پله‌ی s ام قرار گیرد.

TCF : متغیر هدف، مقدار هزینه‌ی کل پرداختی برای توزیع محصول‌ها

2- محدودیت‌ها

در یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی، انواع مختلفی از محدودیت‌ها کاربرد دارند. برخی از محدودیت‌ها، بیان‌گر امکان‌پذیری جواب‌ها هستند، این‌گونه محدودیت‌ها اغلب از نحوه عملکرد سیستم واقعی نشأت می‌گیرند. به این نوع محدودیت‌ها، محدودیت‌های کارکردی نیز اطلاق می‌شود. برخی دیگر از محدودیت‌ها برای بیان تابع در مدل گنجانده می‌شوند. روابط (1) تا (9) محدودیت‌های کارکردی موضوع را بیان می‌کنند:

$$\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{N} X_{ij}^v \leq 1 \quad \forall i, v \qquad (1)$$

$$\sum_{\substack{k=0\\ k\neq i}}^{N} X_{ik}^v = \sum_{\substack{l=0\\ l\neq i}}^{N} X_{li}^v \quad \forall i, v \qquad (2)$$

$$Y_{ij}^v \leq q_v . X_{ij}^v \quad \forall (i,j) \mid i \neq j, v \qquad (3)$$

$$\sum_{v=1}^{V} \left(\sum_{\substack{l=0\\ l\neq i}}^{N} Y_{li}^v - \sum_{\substack{k=0\\ k\neq i}}^{N} Y_{ik}^v \right) = d_i \quad \forall i \mid i \neq 0 \qquad (4)$$

$$\sum_{i=0}^{N} \sum_{\substack{j=0\\ j\neq i}}^{N} e_{ij} X_{ij}^v = W^v \quad \forall v \qquad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{N} Y_{0j}^v = U^v \quad \forall v \qquad (6)$$

$$Y_{ij}^v \geq 0 \; and \; X_{ij}^v = 0 \; or \; 1 \quad \forall (i,j) \mid i \neq j, v \qquad (7)$$

$$Q_i^v \geq 0 \quad \forall i \mid i \neq 0, v \qquad (8)$$

$$W^v \geq 0 \; and \; U^v \geq 0 \quad \forall v \qquad (9)$$

رابطه (1) بیان‌گر این است که هر وسیله نقلیه در هر سفر بیشتر از یک بار به یک مشتری مراجعه نخواهد کرد. رابطه (2) بیان می‌کند در صورتی که یک وسیله نقلیه وارد یک مکان شد، باید از آن مکان خارج شود که این موضوع باعث حفظ پیوستگی مسیر حرکت وسایل نقلیه می‌شود. رابطه (3) دو نوع محدودیت را تبیین می‌کند، اول اینکه تضمین می‌کند اگر وسیله نقلیه‌ای در یک سفر در مسیری حرکت نکرد، مقدار کالای حمل‌شده متناظر با آن برابر صفر شود. دوم تضمین می‌کند در صورت حرکت وسیله نقلیه در یک سفر، در آن مسیر مقدار کالای حمل‌شده متناظر با آن از ظرفیت وسیله نقلیه بیشتر

Archive of SID

www.SID.ir

نشود. روابط بین مقدار کالای تحویلی به مشتریان و مقدار کالای حمل‌شده در مسیرها در محدودیت‌های (4) نمایش داده شده‌اند. در ضمن، این رابطه برای حذف زیرتورها در بحث مسیریابی لازم است. محدودیت (5) بیان‌کننده مقدار مسافت طی‌شده توسط هر وسیله نقلیه در هر سفر در دوره‌های برنامه‌ریزی است. تعداد کپسول‌های توزیع‌شده توسط هر وسیله نقلیه در هر سفر در هر دوره، از طریق محدودیت (6) نشان داده شده است. محدودیت‌های (7)-(9) دامنه و نوع متغیرها را نشان می‌دهد.

3- تابع هدف

در این بخش، ابتدا با توجه به تعریف موضوع در قسمت (الف)تابع هدف به صورت غیرخطی فرموله می‌شود، سپس در قسمت (ب) با استفاده از تحلیل‌های ریاضی تابع هدف به رابطه خطی تبدیل خواهد شد.

الف) تشکیل تابع هدف

همان‌گونه که ذکر شد، هدف موضوع کاهش هزینه‌های توزیع یعنی مجموع هزینه‌های پرداختی به رانندگان است. بر اساس پارامترها و متغیرهای تعریف‌شده، رفتار توابع هزینه‌ای در شکل‌های (1) و (2) نشان داده شده است. از یک طرف مطابق شکل (1) نرخ هزینه نسبت به مسافت طی‌شده از تابع پله‌ای پیروی می‌کند. از طرف دیگر مطابق شکل (2) کل هزینه پرداختی به هر وسیله از حاصل‌ضرب مقدار محصول بارگیری‌شده در نرخ هزینه‌ی تعیین شده بر اساس مسافت محاسبه می‌شود؛ از این رو به راحتی قابل درک است که شکل تابع هزینه کل، غیرخطی است.

از یک طرف، برای هر وسیله نقلیه v یک مقدار متناظر W^v و یک مقدار متناظر U^v وجود دارد. از طرف دیگر، مقدار sc_s^v نسبت به متغیر W^v به‌صورت پله‌ای تغییر می‌کند. بنابراین برای محاسبه TCF ابتدا بر اساس مقدار W^v باید تعیین شود که برای U^v متناظر با آن، مقدار CR^v چند خواهد بود. برای این منظور می‌توان روابط (10) تا (16) را به‌کار برد:

$$\sum_{s=1}^{S} G_s^v = 1 \qquad \forall\, v \tag{10}$$

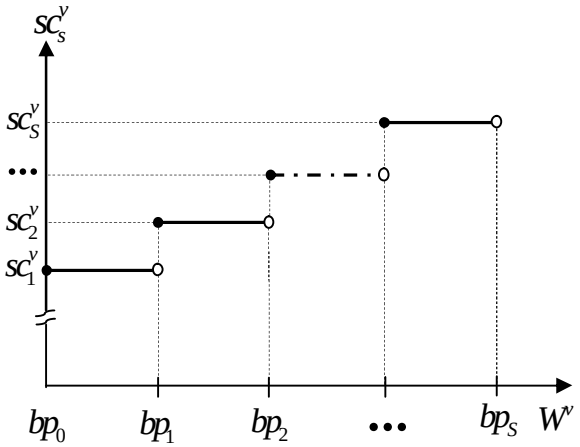
$$bp_{s-1} \cdot G_s^v \le W^v \quad \forall s,\ v \tag{11}$$

$$bp_s \cdot G_s^v + M\left(1 - G_s^v\right) \ge W^v \quad \forall s,\ v \tag{12}$$

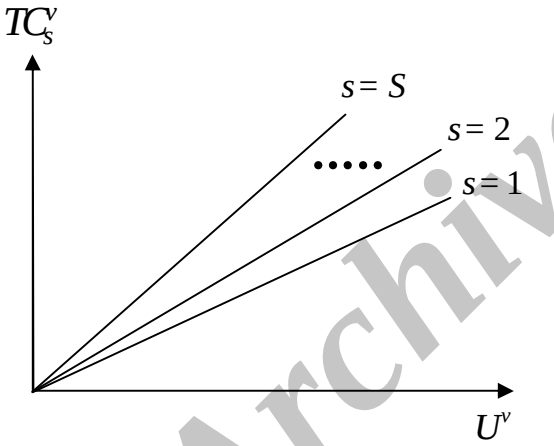
$$CR^v = \sum_{s=1}^{S} sc_s^v \cdot G_s^v \quad \forall\, v \tag{13}$$

$$G_s^v = 0 \text{ or } 1 \quad \forall s,\ v \tag{14}$$

$$CR^v \ge 0 \quad \forall\, v \tag{15}$$



شکل 1: تابع نرخ هزینه نسبت به مسافت طی‌شده



شکل 2: تابع هزینه کل نسبت به مقدار محصول

همان‌طور که گفته شد، G_s^v یک متغیر نشانگر است که نشان می‌دهد برای هر وسیله نقلیه v مقدار W^v در کدام بازه $[bp_s\ ,\ bp_{s-1})$ قرار می‌گیرد. در این راستا رابطه(10) بیان می‌کند که برای هر وسیله نقلیه v فقط یکی از مقادیر G_s^v می‌تواند برابر یک باشد. به عبارتی دیگر، هر مقدار W^v حداکثر در یکی از بازه‌های $[bp_s\ ,\ bp_{s-1})$ می‌تواند قرار گیرد. بر اساس رابطه (11) تعیین می‌شود که مقدار W^v به طور دقیق در کدام بازه $[bp_s\ ,\ bp_{s-1})$ قرار می‌گیرد. به کمک رابطه (13) نرخ هزینه (CR^v) متناظر

Archive of SID

با هر وسیله نقلیه v مشخص می‌شود. روابط (14) و (15) دامنه و نوع متغیرها را نشان می‌دهد:

$$\min \ TCF = \sum_{v=1}^{V} CR^v \times U^v \qquad (16)$$

با توجه به تعریف موضوع و تحلیل‌های انجام‌شده، به راحتی استنباط می‌شود که تابع هدف موضوع، مطابق رابطه (16) خواهد بود. بنابراین با کنار هم قراردادن روابط (1) تا (16)، مدل غیرخطی عدد صحیح مختلط (MINLP) موضوع مسیریابی وسیله نقلیه تکمیل می‌شود. پرواضح است که چون این مدل توسعه‌یافته موضوع کلاسیک مسیریابی وسیله نقلیه است، درجه پیچیدگی آن از مرتبه NP-hard است.

ب) خطی‌سازی تابع هدف

حل مدل‌های غیرخطی بسیار سخت‌تر از مدل‌های خطی است. به عبارتی در ادبیات برنامه‌ریزی ریاضی برای مدل‌های خطی، روش‌های بسیار کارآتری توسعه یافته‌اند. از این رو تبدیل یک مدل غیرخطی به یک مدل خطی متناظر با آن، می‌تواند گام مؤثری برای حل موضوع باشد. در اینجا سعی می‌شود با افزودن چند محدودیت تابع هدف غیرخطی، رابطه (16) به یک تابع هدف خطی تبدیل شود. در این راستا برای هر ترکیب (s,v) متغیر هزینه‌ای TC_s^v به صورت روابط (17) و (18) تعریف می‌شود:

$$TC_s^v = sc_s^v \cdot U^v \cdot G_s^v \quad \forall s,\ v \qquad (17)$$

$$TC_s^v \geq 0 \quad \forall s,\ v \qquad (18)$$

با جایگذاری رابطه (13) در رابطه (16) می‌توان تابع هدف را به طور مستقیم مطابق رابطه (19) به شکل خطی بازنویسی کرد:

$$\min \ TCF = \sum_{v=1}^{V}\sum_{s=1}^{S} TC_s^v \qquad (19)$$

از آنجایی که متغیر G_s^v یک متغیر صفر و یک و متغیر U^v یک متغیر حقیقی غیرمنفی است، رابطه (17) را نیز می‌توان به طور متناظر با روابط (20) تا (21) جایگزین کرد. برای اثبات این تناظر، کافی است دقت شود که اگر $G_s^v = 0$ باشد، مطابق هر دو رابطه (17) و (20) مقدار $TC_s^v = 0$ برقرار شده و محدودیت (21) زاید خواهد شد. چنانچه $G_s^v = 1$ باشد، مقدار $TC_s^v = sc_s^v \times U^v$ توسط رابطه (17) و همچنین به طور معادل از ترکیب روابط (21) و (22) حاصل می‌شود. در این شرایط محدودیت (20) زاید خواهد شد:

$$TC_s^v \leq M \cdot G_s^v \quad \forall s,\ v \qquad (20)$$

$$sc_s^v \cdot U^v - M\left(1-G_s^v\right) \leq TC_s^v \quad \forall s,\ v \qquad (21)$$

$$sc_s^v \cdot U^v + M\left(1-G_s^v\right) \geq TC_s^v \quad \forall s,\ v \qquad (22)$$

بنابراین با حذف محدودیت‌های (13) و تابع هدف (16) از مدل MINLP و جایگزینی آنها با روابط (18) تا (22) مدل موضوع مسیریابی وسیله نقلیه به مدل خطی عدد صحیح مختلط تبدیل می‌شود. در این مدل، تعداد متغیرهای صفر و یک نسبت به قبل بدون تغییر باقی می‌ماند، ولی به تعداد $V(3S-1)$ محدودیت به موضوع افزوده می‌شود.

به دلیل پیچیدگی مدل، امکان حل آن با نرم‌افزارهای بهینه‌سازی در زمان معقول امکان‌پذیر **ناست**، از این رو در ادامه یک راه حل ابتکاری سازنده[15] برای این موضوع پیشنهاد شده است.

راه‌حل ابتکاری سازنده پیشنهادی

در این بخش، یک الگوریتم ابتکاری برای مسیریابی وسیله نقلیه وسایل ناهمگن و محدود موضوع توسعه داده است. ایده اصلی الگوریتم پیشنهادی بر پایه پیداکردن کوتاه‌ترین مسیر موضوع فروشنده دوره‌گرد (TSP) و تجزیه آن به مسیرهای مناسب وسایل نقلیه است. از این رو این الگوریتم را الگوریتم SRPV[16] می‌نامیم. شکل (3) مراحل این الگوریتم را به طور خلاصه نشان می‌دهد.

در الگوریتم SRPV ابتدا یک موضوع TSP حل می‌شود. برای حل این موضوع، الگوریتم‌های متعدد و بسیار کارآیی توسعه داده شده است. به عنوان نمونه، می‌توان الگوریتم‌های نزدیک‌ترین همسایگی[17]، استفاده از برنامه‌ریزی پویا[18]، جابه‌جایی چندتایی[19] و الگوریتم‌های فراابتکاری بسیار متنوع مبتنی بر الگوریتم‌های ژنتیک[20] و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید[21] را نام برد[23]. در این مقاله از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی به دلیل سادگی و کارآیی مناسب آن استفاده شده است.

Archive of SID

سپس الگوهای مختلف تجزیه مسیر TSP، به مسیرهای امکان‌پذیر برای وسایل نقلیه شناسایی می‌شود. در ادامه، کوتاه‌ترین مسیر TSP بر اساس الگوهای مختلف تجزیه شده و به ترتیب امکان‌پذیری مسیرها از نظر متناسب‌بودن تقاضاهای هر مسیر با ظرفیت وسیله تخصیص‌یافته به آن و امکان‌پذیری مسیرها از نظر طول مسافت مجاز برای وسایل نقلیه بررسی می‌شود. در صورتی که مسیرهای تجزیه‌شده از هر دو منظر امکان‌پذیر باشند، مقدار تابع هدف برای آن محاسبه می‌شود. در غیر این صورت الگوی ذکرشده از فهرست الگوها حذف می‌شود. این فرآیند برای همه الگوهای تجزیه در نظرگرفته شده طی می‌شود.

در نهایت، بر اساس تابع هدف موضوع، الگوی منتخب برای تجزیه مسیر فروشنده دوره‌گرد و تشکیل مسیرهای وسایل نقلیه به عنوان جواب حاصل از الگوریتم ارائه می‌شود.

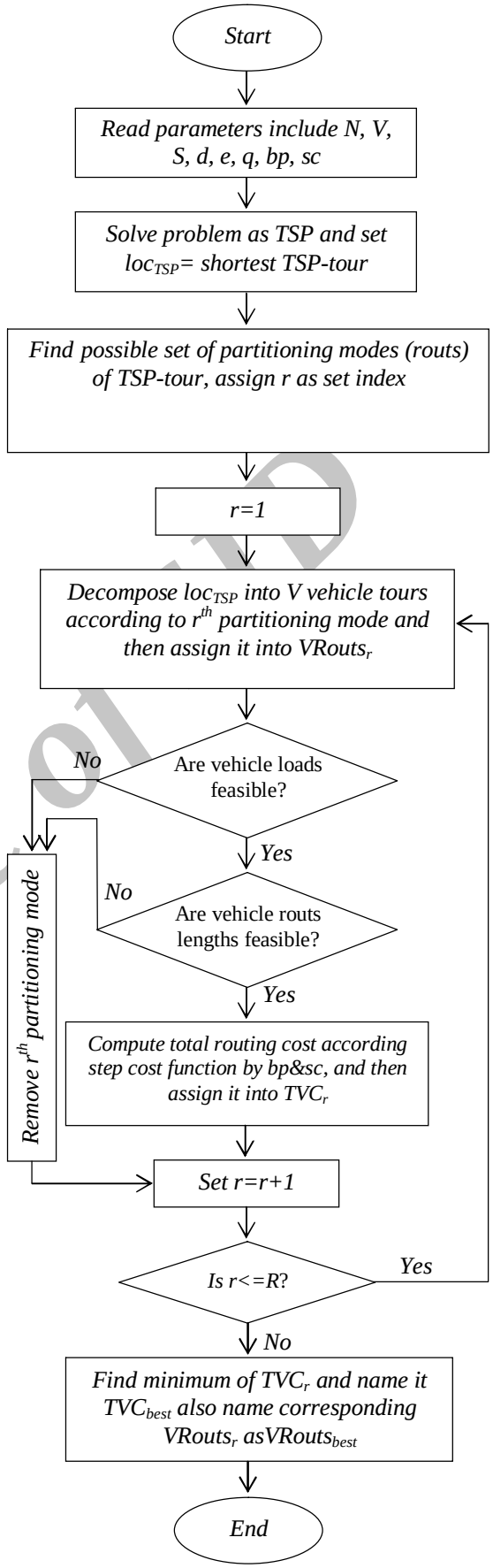
طراحی آزمایش‌ها و تحلیل نتایج

در این پژوهش، چهار سناریوی مختلف (A, B, C, D) برای ارزیابی کارآیی الگوریتم پیشنهادی طراحی و به کار گرفته شده است. این سناریوها تا حد ممکن با شرایط محیطی سازگار با مطالعه موردی انجام‌شده در این پژوهش، طراحی شده‌اند.

در سناریوی اول، نسبت تعداد مشتریان به تعداد وسایل نقلیه کم و ظرفیت وسایل نقلیه هم کم در نظر گرفته شده است؛ به گونه‌ای که به برخی از وسایل نقلیه ممکن است فقط یک مشتری اختصاص یابد. برای این منظور مجموع ظرفیت ناوگان حداکثر 50 درصد بیشتر از مجموع تقاضا در نظر گرفته شده است. در سناریوی دوم، تنوع ناوگان مشابه سناریوی اول فرض شده است، ولی مجموع ظرفیت ناوگان حداکثر 20درصد بیشتر از مجموع تقاضا در نظر گرفته شده است.

در سناریوی سوم، نسبت تعداد مشتریان به تعداد وسایل نقلیه بزرگ‌تر و ظرفیت وسایل نقلیه هم نسبت به دو سناریوی اول بیشتر در نظر گرفته شده است. در ضمن، مشابه سناریوی اول مجموع ظرفیت ناوگان حداکثر 1/5 برابر مجموع تقاضا در نظر گرفته شده است. در سناریوی چهارم، نسبت 1/5 برابری ظرفیت ناوگان به مجموع تقاضاها به 1/2 برابر کاهش داده شده است.

برای هر چهار سناریو، فرض شده است که مشتریان



شکل 3: مراحل الگوریتم حل ابتکاری SRPFV

Archive of SID

www.SID.ir

در داخل یک مربع 100*100 با توزیع یکنواخت پراکنده شده‌اند و محل انبار مرکزی نیز در مرکز مربع در نظر گرفته شده است. تقاضای مشتریان عدد صحیح تصادفی با توزیع یکنواخت گسسته بین 5 تا 100 واحد فرض شده است. در ضمن برای هر سطح از آزمایش‌های طراحی‌شده، سه نمونه موضوع تولید شده است.

جدول (1) سطوح مختلف فرض شده برای پارمترهای طراحی آزمایش‌ها و جدول (2) مقادیر نرخ هزینه پله‌ای بر اساس نقاط شکست مسافت را نشان می‌دهند.

برای استخراج حدود بالا و پایین مدل‌های ریاضی به زبان نرم‌افزار GAMS نوشته شده و با نرم‌افزار بهینه‌ساز Cplex 12.2 حل شده است. الگوریتم ابتکاری نیز در نرم‌افزار Matlab کدنویسی شده است. هر نمونه موضوع، 3 ساعت روی کامپیوتر Pentium IV 2.6 GHz با RAM2GB اجرا شده است.

در ادامه برای تحلیل نتایج، ابتدا معیار درصد شکاف برای ارزیابی کارآیی الگوریتم ابتکاری مطابق رابطه (23) استفاده شده است:

$$Gap\ \% = \frac{SRPV\ results - Upper\ B}{SRPV\ results} \times 100 \qquad (23)$$

جدول (3) نتایج حاصل از اجرای آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از رابطه (23) مشخص است، درصد اختلاف بیان‌گر میزان انحراف جواب حاصل از الگوریتم ابتکاری از بهترین جواب عدد صحیح، حد بالای یافته‌شده توسط نرم‌افزار است. از این رو هر چه میانگین این معیار کمتر و انحراف استاندارد کمتری داشته باشد، بیان‌گر کارآیی بهتر الگوریتم پیشنهادی خواهد بود.

همان طور که در جدول (3) مشاهده می‌شود، میانگین این معیار 2/3 درصد و انحراف استاندارد آن 4/9 است که این سطح از کیفیت جواب برای یک الگوریتم سازنده مناسب است.

برای بررسی رفتار الگوریتم از نظر میزان درصد اختلاف در مقایسه با میزان پیچیدگی موضوع، شاخص دیگری با عنوان درصد پیچیدگی[22] مطابق رابطه (24) تعریف شده است:

$$Complexity\ \% = \frac{Upper\ B - Lower\ B}{Upper\ B} \times 100 \qquad (24)$$

نتایج محاسبه این معیار نیز در جدول (3) مشاهده می‌شود. در ادامه برای تجزیه و تحلیل رفتار الگوریتم، موضوعات مختلف به ترتیب افزایش درصد پیچیدگی آنها مرتب شده و نمودارهای مربوط به این دو معیار، مطابق شکل (4) ترسیم شد.

به شکل شهودی قابل درک است که رفتار الگوریتم از نظر میزان انحراف جواب از بهترین جواب مورد قبول، به میزان پیچیدگی موضوع همبسته نیست. فرض همبسته‌بودن این دو معیار از نظر تحلیلی نیز با خطای نوع اول $a = 0.02$ رد می‌شود.

جدول 1: سطوح پارامترهای مربوط به طراحی آزمایش‌ها

PARAMETERS	SCENARIOS	
	A& B	C& D
NUMBER OF CUSTOMERS	[5, 10, 15, 20]	[5, 10, 15, 20, 30]
VEHICLE TYPES	[50, 100, 150, 200]	[300, 500]
CORRESPONDING COST RATE BASSES	[15, 13, 10, 6]	[15, 10]
CORRESPONDING COST RATE BASSES	[15, 13, 10, 6]	[15, 10]
TOUR LENGTH BREAK POINTS (BP_s)	[50, 100, 150, 200, 300, 500, 1000]	[100, 150, 200, 300, 500, 1000, 2000]

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 2: مقادیر نرخ هزینه پله‌ای براساس نقاط شکست مسافت

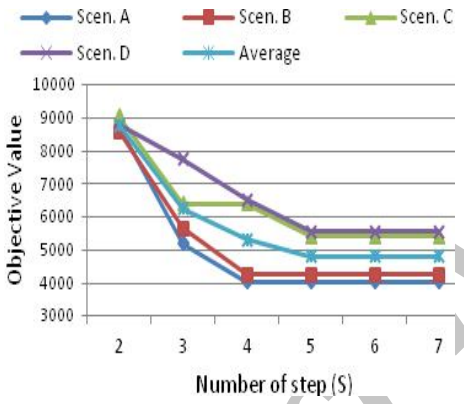
SCENARIOS	VEHICLE TYPE	TOUR LENGTH BREAK POINTS (BP_S)							
		50	100	150	200	300	500	1000	2000
A & B	50	15	20	25	30	35	40	45	-
	100	13	18	23	28	33	38	43	-
	150	10	15	20	25	30	35	40	-
	200	6	11	16	21	26	31	36	-
C & D	300	-	15	20	25	30	35	40	45
	500	-	10	15	20	25	30	35	40

تحلیل حساسیت پارامترهای مدل

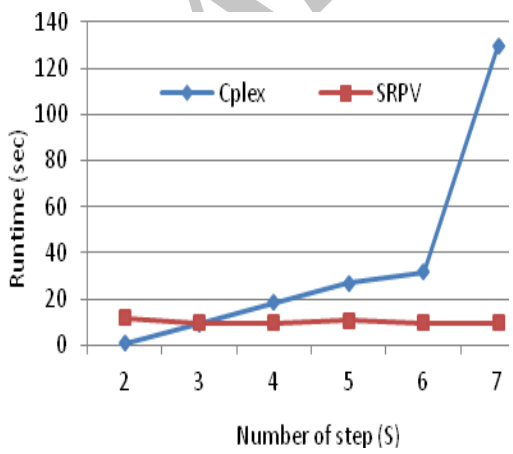
برای بررسی رفتار مدل و روش حل پیشنهادی در این بخش، تجزیه و تحلیل حساسیت پارامترهای مدل انجام می‌شود. از آنجایی که یکی از نوآوری‌های اصلی این پژوهش، ملاحظه هزینه حمل‌ونقل به شکل تابع پله‌ای است، ابتدا تعداد نقاط شکست یا به عبارتی تعداد پله‌های تابع هدف(S) به عنوان یکی از پارمترهای اصلی مدل، مورد مطالعه قرار گرفته است.

با تغییر مقدار S دو پارامتر sc و bp تغییر می‌کند. با توجه به نمونه موضوعات طراحی‌شده برای مطالعه تأثیر تغییر S بر مقدار تابع هدف، سه نمونه موضوع اول از هر سناریو انتخاب شد. به عبارتی، 12 موضوع برای تحلیل حساسیت انتخاب شد. برای هر یک از موضوعات منتخب با فرض اینکه تعداد پله‌ها از 2 تا 7 تغییر کند، موضوعات بار دیگر حل شد. نتایج حاصل در شکل (4) نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشخص است، با افزایش تعداد پله‌های تابع هدف در همه سناریوها سیر نزولی دارد. این موضوع از آنجایی ناشی می‌شود که با افزایش S فضای جواب بزرگ‌تر می‌شود.

شکل (5) متوسط زمان حل موضوعات منتخب را نشان می‌دهد. با افزایش تعداد پله‌های تابع هدف، در صورت استفاده از روش پیشنهادی، زمان حل تقریباً ثابت می‌ماند، در حالی که به کمک نرم‌افزار بهینه‌سازی، زمان حل به طور نمایی افزایش می‌یابد.



شکل 4: تغییر تابع هدف با افزایش پله‌های تابع هدف



شکل 5: تغییر زمان حل با افزایش پله‌های تابع هدف

Archive of SID

www.SID.ir

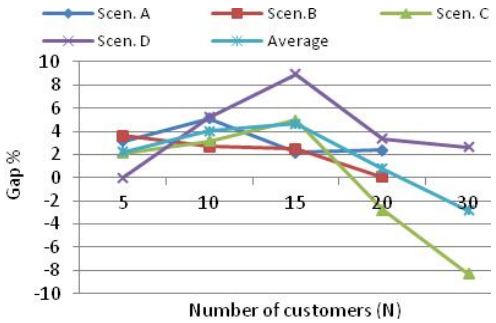
جدول۳: جزئیات نمونه مسائل و نتایج اجرای الگوریتم ابتکاری.

Test number	scenario	N	V	Instance	Cplex bounds		Complexity %	SRPV results	Difference %
					Lower	Upper			
1	A	5	4	1	**3388***	**3388***	**0.0**	**3388***	**0.0**
2			3	2	**3059***	**3059***	**0.0**	3119	1.9
3			5	3	**5656***	**5656***	**0.0**	6122	7.6
4		10	6	1	3722	6758	44.9	7137	5.3
5			6	2	1975	6832	71.1	6811	-0.3
6			5	3	4424	4719	6.3	5258	10.3
7		15	12	1	0	12343	100.0	12583	1.9
8			11	2	0	11479	100.0	11713	2.0
9			12	3	0	14309	100.0	14688	2.6
10		20	15	1	0	17869	100.0	18217	1.9
11			14	2	0	13358	100.0	14126	5.4
12			12	3	0	11626	100.0	11602	-0.2
13	B	5	3	1	**4298***	**4298***	**0.0**	4454	3.5
14			4	2	**4581***	**4581***	**0.0**	4940	7.3
15			3	3	**3903***	**3903***	**0.0**	**3903***	**0.0**
16		10	5	1	6948	8192	15.2	8488	3.5
17			7	2	2972.7	9202	67.7	9202	0.0
18			8	3	450	10915	95.9	11434	4.5
19		15	8	1	3025	11064	72.7	11385	2.8
20			11	2	0	14996	100.0	14918	-0.5
21			11	3	0	11853	100.0	12484	5.1
22		20	10	1	0	15714	100.0	15226	-3.2
23			10	2	0	13001	100.0	13054	0.4
24			9	3	0	13074	100.0	13479	3.0
25	C	5	1	1	**5880***	**5880***	**0.0**	**5880***	**0.0**
26			2	2	**3705***	**3705***	**0.0**	**3705***	**0.0**
27			2	3	**6685***	**6685***	**0.0**	7140	6.4
28		10	3	1	0	8540	100.0	9435	9.5
29			3	2	**9185**	**9185**	**0.0**	**9185***	**0.0**
30			3	3	**10870**	**10870**	**0.0**	**10870***	**0.0**
31		15	4	1	5349	13200	59.5	13900	5.0
32			4	2	12238	15365	20.4	16215	5.2
33			3	3	11889.6	13605	12.6	14280	4.7
34		20	4	1	0	18560	100.0	17910	-3.6
35			4	2	3380	15770	78.6	15055	-4.7
36			4	3	5323	17045	68.8	17045	0.0
37		30	7	1	0	26525	100.0	24855	-6.7
38			7	2	0	22520	100.0	22390	-0.6
39			7	3	0	28605	100.0	24325	-17.6
40	D	5	2	1	**6620***	**6620***	**0.0**	**6620***	**0.0**
41			1	2	**5820***	**5820***	**0.0**	**5820***	**0.0**
42			2	3	**4215***	**4215***	**0.0**	**4215***	**0.0**
43		10	2	1	**9580***	**9580***	**0.0**	9800	2.2
44			2	2	**12790***	**12790***	**0.0**	12970	1.4
45			2	3	**10800***	**10800***	**0.0**	12280	12.1
46		15	3	1	13424	14980	10.4	16095	6.9
47			3	2	13775	14605	5.7	16225	10.0
48			3	3	16245	17310	6.2	19215	9.9
49		20	4	1	4740	19505	75.7	18935	-3.0
50			3	2	13429.9	15760	14.8	16545	4.7
51			4	3	9935.3	16585	40.1	18115	8.4
52		30	5	1	3660	25640	85.7	25710	0.3
53			6	2	0	27450	100.0	27945	1.8
54			6	3	0	25695	100.0	27280	5.8
Average									**2.3**
Standard Deviation									**4.9**

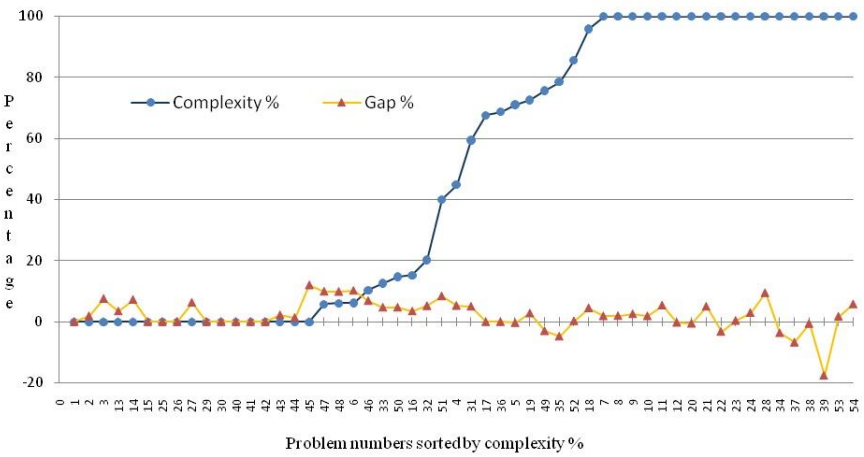
* Optimal solution founded.

www.SID.ir

شکل (6) تغییر معیار درصد اختلاف پاسخ الگوریتم پیشنهادی با نتیجه حاصل از نرم‌افزار را نشان می‌دهد. طبق این شکل، در همه سناریوها و متوسط آنها با افزایش تعداد مشتریان این معیار کاهش می‌یابد، یا به عبارتی عملکرد روش حل پیشنهادی در مقایسه با نرم‌افزار بهتر می‌شود.



شکل 6: تغییر معیار درصد شکاف با افزایش تعداد مشتریان



شکل 7: میزان اختلاف نتایج الگوریتم *SRPV* با بهترین جواب نرم افزار *CEPLEX 12.2*

جدول 4: نرخ هزینه پرداختی به رانندگان

COST RATE STEPS(S)	*TOUR LENGTH BREAK POINTS (BP_S)(KM)*	*COST RATE (R_{LS})*	
		$V_1, V_2, ..., V_8$	V_9 AND V_{10}
1	*100*	*660*	*620*
2	*200*	*700*	*650*
3	*300*	*720*	*680*
4	*400*	*750*	*710*

جدول 5: سهمیه روزانه هر یک از مشتریان

Customer's #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Demand	77	38	29	79	32	42	33	27	25	19	24	19	25
Customer's #	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Demand	28	22	33	43	24	24	17	7	13	8	10	12	17
Customer's #	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Demand	49	5	13	27	33	53	32	25	28	7	35	10	14

www.SID.ir

مطالعه موردی

شرکت فرگاز مازندران، یکی از زیرمجموعه‌های شرکت فرگاز تهران است که تأمین گاز مایع را در سطح استان مازندران بر عهده دارد. این شرکت از سال 1356 شروع به فعالیت کرده است. این شرکت وظیفه تزریق گاز مایع در کپسول‌های 11 کیلویی و توزیع آنها را مطابق سهمیه از پیش تعیین‌شده بر عهده دارد. این شرکت چهار دستگاه تزریق گاز مایع به همراه یک سکوی بارگیری به ابعاد 10x50 متر را دارد. گاز مایع از شرکت مبداء به صورت بالک و سهمیه‌بندی‌شده به آن ارسال می‌شود.

موضوع مورد بررسی در این مقاله، بهینه‌سازی سیستم توزیع کپسول‌های 11 کیلویی از مرکز شرکت فرگاز به نمایندگان طرف قرارداد با این شرکت است. تعداد نمایندگان طرف قرارداد این شرکت در حال حاضر 39 نماینده است که در ادامه عنوان مشتری به آنها اطلاق می‌شود. این مشتریان در نقاط مختلف استان مازندران پراکنده شده‌اند. ناوگان توزیع این شرکت شامل 8 دستگاه نیسان وانت (V_1-V_8) و 2 دستگاه خاور (V_{10}وV_9) است که صاحبان آنها همان رانندگان هستند که با شرکت فرگاز قرارداد همکاری دارند. ظرفیت هر یک از نیسان وانت‌ها، 100 کپسول و ظرفیت هر یک از خاورها، 196 کپسول در هر بارگیری است. هدف موردنظر مدیریت در این موضوع، کاهش هزینه‌های توزیع یعنی مجموع هزینه‌های پرداختی به رانندگان است. محاسبه این هزینه‌ها از رابطه‌ای غیرخطی بین تعداد کپسول و مقدار مسافت طی‌شده توسط وسیله نقلیه در هر سفر پیروی می‌کند. نرخ هزینه پرداختی به رانندگان و سهمیه روزانه مشتریان به ترتیب در جداول (4) و (5) نشان داده شده است.

با توجه به اینکه با حل مدل ریاضی مربوط به شرکت فرگاز به کمک نرم‌افزار Cplex 12.2 با بیش از 10 ساعت اجرا روی کامپیوتر ذکرشده هیچ جواب امکان‌پذیری یافت نشد، بنابراین موضوع شرکت فرگاز با استفاده از الگوریتم ابتکاری حل شده و مقدار تابع هدف هزینه آن 695820 ریال تعیین شد.

جمع‌بندی و پیشنهادات

در این پژوهش، ابتدا یک مدل عدد صحیح مختلط غیرخطی برای موضوع مسیریابی وسیله نقلیه ناهمگن با تعداد وسایل محدود، با هدف ملاحظه مقدار بارگیری در تابع هدف هزینه آن، مدل‌سازی شد. مدل غیرخطی ساخته‌شده به کمک تکنیک‌های تحلیلی به مدل خطی عدد صحیح تبدیل شد. سپس با توجه به بودن NP-hard موضوع یک الگوریتم ابتکاری سازنده برای حل آن پیشنهاد شد.

در ادامه، برای بررسی درستی راه‌حل پیشنهادی، تعدادی نمونه موضوع تولید شد و نتایج حاصل از الگوریتم ابتکاری با حدود بالا و پایین به‌دست‌آمده از نرم‌افزار Cplex 12.2 مقایسه شده است. نتایج به‌دست‌آمده از اجرای آزمایش‌ها، نشان می‌دهد میانگین درصد اختلاف جواب‌های به‌دست‌آمده به کمک الگوریتم ابتکاری با بهترین جواب عدد صحیح یافته‌شده توسط نرم‌افزار فقط 2/3 درصد با 4/9 انحراف استاندارد است. این سطح از کیفیت جواب برای یک الگوریتم سازنده مورد قبول است.

برای ارزیابی تأثیر تغییر پارامترهای مدل بر تابع هدف، سه موضوع کوچک از چهار سناریوی طراحی‌شده انتخاب شدند. سپس موضوعات منتخب به ازای شش حالت مختلف از تعداد پله‌های تابع هدف حل شد. نتایج حاصل بیان‌گر آن است که با افزایش تعداد پله‌های تابع هزینه، مقدار تابع هدف به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد.

علاوه بر این، با افزایش تعداد مشتریان، میزان انحراف جواب الگوریتم پیشنهادی با نتایج نرم‌افزار کمتر می‌شود. همچنین با افزایش تعداد پله‌های تابع هزینه، زمان حل مدل با الگوریتم پیشنهادی تقریباً ثابت می‌ماند، در حالی که زمان اجرای نرم‌افزار به صورت نمایی افزایش می‌یابد. در ضمن، برای بیان کاربردی بودن ملاحظه مقدار بارگیری در موضوعات مسیریابی وسیله نقلیه، مطالعه موردی برای موضوع مدل‌سازی شده در شرکت فرگاز مازندران انجام گرفته است.

برای تحقیقات آینده، پیشنهاد می‌شود برای هر چه کاربردی‌تر شدن این موضوع، ملاحظاتی مانند پنجره زمانی، چند دوره‌ای بودن و موارد مشابه به موضوع مسیریابی این پژوهش اضافه شود. همچنین توسعه الگوریتم‌های بهبوددهنده برای این موضوع به کمک روش‌های ابتکاری و فراابتکاری نیز می‌تواند موضوع‌های مناسبی پیش‌روی محققان باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع

1-Dantzig, G. and Ramser, J.(1959). "The truck dispatching problem."*Management Science*, Vol. 6, No.1, PP. 80–91.

2- Desrochers, M., Lenstra, J. K., and Savelsbergh, M. W. P. (1990). "A classification schemefor vehicle routing and scheduling problems."*European Journal of Operational Research*, Vol. 46, PP. 322–332.

3- Psaraftis, H. N. (1995). "Dynamic vehicle routing: Status and prospects."*Annals of Operations Research*, Vol. 61, PP. 143–164.

4- Laporte, G. and Osman, I. H. (1995). "Routing problems: A bibliography."*Annals of Operations Research*, Vol. 61, PP. 227–262.

5- Golden, B., Raghavan, S. and Wasil, E. (2008). *The vehicle routing problem:Latest advances and new challenges*. Part I, Springer ScienceBusiness Media, LLC, New York.

6- Eksioglu B., Vural A.V. and Reisman A. (2009). "The vehicle routing problem: A taxonomic review." *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 57, PP. 1472-1483.

7- Golden, B., Assad, A., Levy, L. and Gheysens, F. (1984). "The fleet size and mix vehicle routing problem." *Computers and Operations Research*", Vol. 11, PP.49–66.

8- Salhi, S. and Rand, G.K. (1993). "Incorporating vehicle routing into the vehicle fleet composition problem." *European Journal ofOperational Research*, Vol. 66, PP. 313–30.

9- Gheysens, F., Golden. B. and Assad, A. (1982)."A new heuristic for determining fleet size and composition." *Mathematical ProgrammingStudy*, Vol. 26, PP. 233–236.

10- Gendreau, M., Laporte, G., Musaraganyi, C. and Taillard, E. D. (1999). "A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routingproblem."*Computers and Operations Research*, Vol. 26, PP. 1153–1173.

11- Salhi, S., Sari, M., Saidi, D. and Touati, N. (1992). "Adaptation of some vehicle fleet mix heuristics." *Omega*, Vol. 20, PP. 653–660.

12- Wassan, N.A. and Osman, I.H. (2002). "Tabu search variants for the mix fleet vehicle routing problem."*Journal of the Operational Research Society*, Vol. 53, PP. 768–782.

13- Taillard, E. D. (1999). "A heuristic column generation method for the heterogeneous fleet VRP." *RAIRO*, Vol. 33, PP. 1–14.

14- Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T. and Vassiliadis, V. S. (2004). "A threshold accepting metaheuristic for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem." *European Journal of Operational Research*, Vol. 152, PP. 148–158.

15- Ai, T. J. and Kachitvichyanukul, V. (2009). "Particle swarm optimization and two solution representations for solvingthe capacitated vehicle routing problem." *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 56, PP. 380–387.

16- Choi, E. and Tcha, D-W. (2007). "A column generation approach to the heterogeneousfleet vehicle routing problem." *Computers & Operations Research*, Vol. 34, PP. 2080–2095.

17- Cordeau, J.-F. and Laporte, G. (2001). "A tabu search algorithm for the site dependentvehicle routing problem with time windows."*INFOR*, Vol. 39, No. 3, PP. 292–298.

18- Zhen-hua, G. and Kai, W. (2011). "Vehicle Routing Problem Considering Load Cost" *IEEE*.

19- Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I. and Xu, Y. (2012) "Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem." *Computers & Operations Research*, Vol. 39, PP. 1419–1431.

Archive of SID

www.SID.ir

20- Tang, J., Zhang, J. and Pan Z. (2010). "A scatter search algorithm for solving vehicle routing problem with loading cost." *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, PP. 4073–4083.

21- Keskinturk T. and Yildirim M. B. (2011). "A genetic algorithm metaheuristic for Bakery Distribution Vehicle Routing Problem with Load Balancing." *IEEE*.

22- Kritikos M.N. and Ioannou G. (2010). "The balanced cargo vehicle routing problem with time windows." *International Journal of Production Economics*, Vol. 123, PP. 42–51.

23- Applegate, D. L., Bixby, R. M., Chv?tal, V. and Cook, W. J. (2006). *The Traveling Salesman Problem.* Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1- Vehicle Routing Problem (VRP)
2- Traveling Salesman Problem (TSP)
3-Capacitated Vehicle Routing Problem
4- Time Window
5- Heterogeneous Fleet
6- Backhauls
7- Pickup and Delivery
8- Split Delivery
9- Multi-Depot
10- Multi Period
11- Open Vehicle Routing
12 Online Vehicle Routing
13- Mixed Integer Non-Linear Programming
14- Mixed Integer Programming
15- Constructive Heuristic
16- Salesman Rout Partitioning for Vehicles
17- Nearest Neighbor (NN) Algorithm
18- Dynamic Programming
19- *k*-opt exchange
20- Genetic Algorithm
21- Simulated Annealing
22- Complexity percentage

Archive of SID

www.SID.ir