توسعه مدل مسیریابی وسائل نقلیه چندهدفه با پنجره‌های زمانی و چند تقاضایی

علیرضا عیدی[1*]، سیدعلی قاسمی‌نژاد[2]

دانشگاه کردستان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۹/۱۹

چکیده

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه، به‌عنوان اساسی‌ترین مسئله درمدیریت توزیع شناخته می‌شود و به مجموعه‌ای ازمسائل اطلاق می‌گردد که در آن تعدادی وسایل نقلیه مستقر در یک یا چند قرارگاه بایستی به مجموعه‌ای از مشتریان که هر یک دارای تقاضای معینی می‌باشند مراجعه نموده و خدمتی را ارائه دهند. از سوی دیگر در اکثر مسائل دنیای واقعی به‌خصوص مسائل لجستیک با مسائل چندهدفه مواجه بوده که خیلی اوقات اهداف در تضاد با یکدیگر می‌باشند. هم‌چنین در دنیای رقابتی که توجه بسیاری به رضایت مشتریان می‌شود می‌بایست در صدد ارائه مدل‌هایی بود که خواسته‌های مشتریان را بیشتر مدنظر قرار می‌دهد. یکی از عواملی که برای مشتریان بسیار اهمیت دارد، تأمین به‌موقع تقاضاها می‌باشد. در این تحقیق، مشتریان دارای چند نوع متفاوت از تقاضا می‌باشند. بنابراین با تلفیق مفاهیم پنجره‌های زمانی و چند تقاضایی و هم‌چنین در نظر گرفتن دو هدف حداقل نمودن هزینه سفر و حداکثرسازی پوشش تقاضا، مدل جدیدی از مسئله مسیریابی وسایل نقلیه به‌صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته ارائه گردیده است. این توسعه مدل با هدف، نزدیکی مدل‌های کلاسیک به مسائل دنیای واقعی انجام شده و به‌منظور اعتبارسنجی مدل ارائه شده، تعدادی مثال نمونه تولید گردیده و با نرم‌افزار GAMS حل شده است.

واژه‌های کلیدی: مسئله مسیریابی وسیله نقلیه، مسیریابی چند هدفه، مسیریابی با پنجره‌های زمانی، چند تقاضایی

۱- مقدمه

یکی از مباحث مهم که درچند دهه اخیرکاربرد زیادی در سیستم‌های حمل و نقل داشته است، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه می‌باشد. این مسئله به‌عنوان اساسی‌ترین مسئله در مدیریت توزیع شناخته می‌شود. مسئله مسیریابی وسیله نقلیه به مجموعه‌ای از مسائل اطلاق می‌گردد که هدف ایجاد چند تور برای سرویس‌دهی به مجموعه‌ای از مشتریان با توجه به محدودیت‌ها و منابع می‌باشد به‌گونه‌ای که هزینه‌های سرویس‌دهی کمینه شود و مجموع تقاضای مشتریان یک مسیر از ظرفیت وسیله نقلیه مربوط به آن مسیر بیشتر نباشد. تحقیقات نظری و کاربردهای عملی در زمینه مسیریابی با معرفی مسئله اعزام کامیون توسط دانتزیگ[3] و رامسر[4] [۱] آغاز شد. با گذشت نزدیک به پنجاه سال از انتشار اولین مقاله، توسعه‌های زیادی در مسئله مسیریابی وسیله نقلیه وجود آمده است. در این‌گونه مسائل، با توجه به عملیات مورد انتظار از وسایل نقلیه، ماهیت مسئله و محدودیت‌های موجود در مسئله، پیچیدگی مدل‌سازی و رویکرد حل مسئله تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

یکی ازحالت‌های رایج مسئله مسیریابی وسایل نقلیه، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی می‌باشدکه دراین مسئله علاوه بر محدودیت ظرفیت، هریک از مشتریان یا قرارگاه‌ها (محل استقرار وسایل نقلیه) دارای بازه‌های زمانی جهت ارائه خدمات می باشند. ولی اغلب اوقات این مشتریان هستندکه برای دریافت کالا، محدودیت زمانی را تعریف می‌نمایند و فقط درآن محدوده زمانی کالا دریافت نموده و یا برای محدوده زمانی ذکر شده اولویت در نظر می‌گیرند[۲]. مسیریابی وسایل نقلیه با محدودیت پنجره‌های زمانی، دارای کاربردهای فراوانی در دنیای واقعی است. از آن‌جمله می‌توان به تحویل مرسولات بانکی و پستی، جمع‌آوری زباله و فضولات، تقسیم سوخت بین جایگاه‌های سوخت، مسیریابی اتوبوس مدرسه و غیره اشاره کرد[۳]. در حقیقت در اکثر مسائل دنیای واقعی به‌خصوص مسائل لجستیک با مسائل چند هدفه مواجه بوده و زمانی که درپی شناسایی اهداف هستند خیلی اوقات اهداف در تضاد با

۱*- استادیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه کردستان، نویسنده پاسخگو، پست‌الکترونیکی: Alireza.eydi@uok.ac.ir، نشانی: سنندج، بلوار پاسداران، دانشگاه کردستان، دانشکده مهندسی

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه کردستان، پست‌الکترونیکی: Sa.Ghaseminezhad@gmail.com

3- Dantzig
4- Ramser

یکدیگر می‌باشند و این دلیل نشان می‌دهد که در نظر گرفتن چند هدف بسیار سودمند می‌باشد. مسائل مسیریابی چندهدفه اغلب به‌صورت: توسعه مسائل دانشگاهی به‌منظور بهبود کاربرد عملی آنها، تعمیم مسائل کلاسیک و مطالعه مسائل دنیای واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

یکی از محدودیت‌هایی که مسائل کلاسیک را به مسائل دنیای واقعی بسیار نزدیک می‌کند، محدودیت پنجره‌های زمانی با در نظر گرفتن اهداف مختلف می‌باشد. بنابراین در دنیای رقابتی که توجه بسیاری به رضایت مشتری می‌شود، باید در صدد ارائه مدل‌هایی بود که خواسته‌های مشتریان را بیشتر مدنظر قرار دهد. سسومبون[1] و همکاران[۴] اهدافی را به مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره‌های زمانی افزودند و به‌منظور بهبود رضایت مشتری، تابعی برای رعایت موعد تحویل کالا در نظر گرفتند. هونگ[2] و پارک[3] زمان انتظار مشتریان را مدنظر قرار داده و سعی نمودند با حداقل کردن مجموع زمان انتظار مشتریان، رضایت‌مندی آنها را حداکثر نمایند[۵]. ال‌شربنی[4] برای یک کمپانی حمل و نقل در بلژیک، مسیریابی حمل و نقل را مدل کرده است[۶]. در این مدل هشت هدف مدنظر کمپانی در نظر گرفته شده است. فان[5] نیز هدفی را به‌عنوان حداکثر کردن رضایت مشتری در نظر گرفته که در آن با اعمال روابطی، رضایت مشتری را عکس زمان انتظار مشتری می‌داند[۷]. توکلی مقدم و همکاران در تحقیق خود اهداف کمینه کردن هزینه‌های سفر و حداکثر کردن فروش را مدنظر قرار دادند مشروط به آنکه برای حداکثر کردن فروش، قبل از اینکه توزیع‌کنندگان رقیب این تقاضا را کسب کرده باشند سرویس‌دهی انجام شود[۸]. قصیری و قنادپور یک مدل و راه حل جدید برای مسائل مسیریابی وسایل نقلیه چند هدفه با پنجره‌های زمانی ارائه دادند[۹]. آنها اهدافی مشتمل بر تعداد وسایل نقلیه و مجموع مسافت‌های سفر را در نظر گرفته و مسئله را به‌صورت برنامه‌ریزی آرمانی مدل نمودند و در نهایت آن را با الگوریتم ژنتیک حل کردند. فیلت[6] و همکاران یک کلاس از مسائل را به نام فروشنده دوره‌گرد با در نظر گرفتن سود تعریف نمودند به‌طوری که برای هر مشتری یک سود در نظر گرفته شده ولی ضرورتی برای ملاقات تمام مشتری‌ها وجود ندارد[۱۰]. این مسیریابی سعی در حداکثرکردن سود و کمینه‌کردن مجموع مسافت طی شده دارد.

در تحقیقات صورت گرفته، برای تأمین مناسب‌تر تقاضای مشتریان، تقاضاهای آنها به‌صورت احتمالی و یا فازی در نظر گرفته شده و مدل‌هایی برای آنها ارائه گردیده است. این عدم قطعیت در تقاضا از طرف مشتری بوده و تأمین‌کننده در صدد پیش‌بینی مناسب تقاضا برای سرویس‌دهی بهتر می‌باشد. در دنیای واقعی، مسائلی وجود دارند که تقاضای مشتری‌ها دارای قطعیت می‌باشد ولی وابسته به نوع و زمان سرویس از طرف تأمین‌کننده می‌باشد. به‌عبارتی تقاضاهای مشتری، قطعی و عدم قطعیت در زمان سرویس‌دهی می‌باشد. در این مقاله سعی شده به مسائلی اهمیت داده شود که کمتر مورد توجه قرار گرفته است و تقاضای هر مشتری را منوط به زمان سرویس‌دهی به آن می‌داند.

با توجه به برخی از جنبه‌های مشاهده شده از مسائل دنیای واقعی در حوزه زنجیره تأمین، این موضوع قابل درک است که وجود کالاهای مناسبتی نقش بسزایی در مسیریابی وسایل نقلیه دارند. به‌عبارتی، تقاضای کالاهای مناسبتی در برهه‌ای از زمان افزایش پیدا می‌کند و مشتری تقاضاهای بیشتری فقط در همان دوره زمانی دارد. ایده مورد نظر بر پایه چندتقاضایی[7] برای هر مشتری می‌باشد. به‌طوری که برای هر مشتری، دو تقاضای متفاوت و یک پنجره زمانی تعیین می‌شود که در صورت ارائه سرویس در پنجره زمانی مورد نظر مشتری، مشتری دارای تقاضای اول (که به‌طور عمده تقاضای بیشتر است) و در غیر این‌صورت تقاضای دوم را خواهد داشت. بنابراین تأمین‌کننده باید درصدد یافتن مسیرهایی باشد که رضایت‌مندی بیشتر مشتری با تأمین به‌موقع تقاضا را به‌همراه داشته باشد و هم‌چنین درصدد کاهش هزینه‌های ناشی از تورها باشد. این رویکرد در قالب یک مسئله چند هدفه با تقاضای متفاوت در پنجره‌های زمانی برای هر مشتری مدل می‌شود. در فرموله‌کردن این مدل از دو تابع هدف مینیمم کردن مجموع مسافت طی شده تورها و ماکزیمم کردن پوشش تقاضای مشتریان نیز استفاده خواهد شد.

از این رو در ادامه ساختار مقاله شامل بخش‌های زیر می‌باشد. بخش دوم به مفروضات مدل اختصاص یافته است. در بخش سوم فرمول‌بندی مدل ارائه می‌گردد. در بخش چهارم نیز آزمایش‌های مدل بیان می‌شود. در نهایت در بخش پنجم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از تحقیق ارائه می‌شود.

۲- مفروضات مدل

مفروضات زیر برای توسعه فرمول‌بندی مدل پیشنهادی استفاده می‌شوند:

1- Sessomboon
2- Hong
3- Park
4- El-Sherbeny
5- Fan
6- Feillet

7-Multiple Demand

- تعداد مشتریان معلوم و مشخص است.
- مکان هر یک از مشتریان و دپو (قرارگاه) مشخص است.
- حداکثر تعداد خودروها ثابت و مشخص است.
- خودروهای ناوگان همگن فرض می‌شوند و ظرفیت آنها مشخص و ثابت است.
- تقاضای هر تور نباید از ظرفیت خودرو تجاوز کند.
- مدت زمان سفر هر وسیله نقلیه نباید از حداکثر زمان معین شده تجاوز کند.
- هر خودرو، تور خود را از دپو آغاز کرده و پس از سرویس‌دهی، به دپو باز می‌گردد.
- هر مشتری می‌تواند تنها در یک تور قرار بگیرد.
- هزینه‌های حمل و نقل به مسافت پیموده شده وابسته است (مسافت پیموده شده متناسب با زمان سفر می‌باشد).
- هر مشتری دو تقاضا و یک پنجره زمانی مختص خود دارد. در صورت ارائه سرویس در آن پنجره زمانی، تقاضای اول و در غیر این‌صورت تقاضای دوم را خواهد داشت.
- در صورت تأمین مشتری قبل از پنجره زمانی مختص آن باید این تصمیم توسط وسیله نقلیه گرفته شود که برای کسب تقاضای اول تا شروع پنجره زمانی منتظر بماند و یا تقاضای دوم را برآورده کرده و به مسیر خود ادامه دهد.

۳- فرمول‌بندی مدل

در این بخش فرمول‌بندی مدل پیشنهادی ارائه می‌گردد. هدف اصلی این مدل، نزدیک ساختن مدل‌های کلاسیک به مسائل دنیای واقعی می‌باشد. در ادامه به‌منظور بیان فرم ریاضی مدل، نمادها (شامل مجموعه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم) معرفی گردیده و در فرمول‌بندی مدل پیشنهادی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مجموعه اندیس‌ها:

n: مجموعه تمام گره‌ها (مشتریان و قرارگاه) که گره اول شامل قرارگاه می‌باشد.

nv: مجموعه وسایل نقلیه

پارامترهای مدل:

$[l_i, u_i]$: پنجره زمانی مختص مشتری i ام

Q_k: حداکثر ظرفیت وسیله نقلیه k ام

T_k: حداکثر زمانی است که وسیله نقلیه k ام می‌تواند سفر کند.

C_{ij}: هزینه (مسافت/زمان) گره i تا گره j

S_{ik}: مدت زمان سرویس‌دهی به مشتری i ام با وسیله نقلیه k ام

d_i^1: تقاضای اول مشتری i ام (تقاضایی که در صورت ملاقات مشتری در پنجره زمانی به‌دست می‌آید)

d_i^2: تقاضای دوم مشتری i ام (تقاضایی که در صورت ملاقات مشتری خارج از پنجره زمانی به‌دست می‌آید)

ε: یک مقدار بسیار کوچک $\varepsilon \approx 0$

M: عدد خیلی بزرگ

۳-۱- متغیرهای تصمیم برای مسئله مورد بررسی

$q_i = 1$ اگر مشتری iام در پنجره زمانی $[l_i, u_i]$ ملاقات شود در غیر این‌صورت $q_i = 0$

$w_i = 1$ اگر مشتری iام قبل از l_i ملاقات شود و وسیله نقلیه منتظر بماند تا به زمان l_i برسد و سرویس را انجام دهد در غیر این‌صورت $w_i = 0$

$z_i = 1$ اگر مشتری iام بعد u_i ملاقات شود در غیر این‌صورت $z_i = 0$

$X_{ijk} = 1$ اگر گره i به گره j توسط وسیله نقلیه k ام پیموده شود در غیر این‌صورت $X_{ijk} = 0$

t_i: زمان رسیدن به گرهٔ iام

We_{ik}: زمان انتظار بعد از رسیدن به گره i ام برای شروع سرویس‌دهی توسط وسیله نقلیه k ام (زمان انتظار در قرارگاه صفر می‌باشد)

در نهایت، مسئله تحقیق به‌صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود:

$$\text{Objective1: Min} \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{nv} C_{ij}X_{ijk} \qquad (1)$$

$$\text{Objective2: Max} \sum_{i=1}^{n}[d_i^1(q_i + w_i) + d_i^2(1 - q_i - w_i)] \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{nv} X_{ijk} = 1 \qquad j = 2, \dots, n \qquad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{nv} X_{ijk} = 1 \qquad i = 2, \dots, n \qquad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ijk} - \sum_{i=1}^{n} X_{jik} = 0 \qquad j = 1, \dots, n\ ;\ k = 1, \dots, nv \qquad (5)$$

$$t_i + S_{ik} + C_{i1} + We_{ik} - M(1 - x_{i1k}) \leq T_k \quad i = 2, \dots, n \; ; k = 1, \dots, nv \qquad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=2}^{n} X_{ijk}[d_j^1(q_j + w_j) + d_j^2(1 - q_j - w_j)] \leq Q_k \qquad k = 1, \dots, nv \qquad (7)$$

$$t_j = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{nv} X_{ijk}(t_i + S_{ik} + C_{ij} + We_{ik}) \qquad j = 2, \dots, n \qquad (8)$$

$$\sum_{i=2}^{n} X_{i1k} \leq 1 \qquad k = 1, \dots, nv \qquad (9)$$

$$\sum_{k=1}^{nv}\sum_{i\in S}\sum_{\substack{j\in S \\ i\neq j}} X_{ijk} \leq |S| - 1 \; \forall S \subseteq n - \{1\}, S \neq \phi \qquad (10)$$

$$(t_i - u_i) + M(1 - z_i) - \varepsilon \geq 0 \qquad i = 2, \dots, n \qquad (11)$$

$$(t_i - l_i) + M(1 - q_i) \geq 0 \qquad i = 2, \dots, n \qquad (12)$$

$$(t_i - u_i) - M(1 - q_i) \leq 0 \qquad i = 2, \dots, n \qquad (13)$$

$$(t_i - l_i) - M(q_i + z_i) + \varepsilon \leq 0 \qquad i = 2, \dots, n \qquad (14)$$

$$z_i + q_i + w_i \leq 1 \qquad i = 1, \dots, n \qquad (15)$$

$$We_{ik} = w_i(l_i - t_i) \qquad i = 2, \dots, n \qquad (16)$$

$$z_i, q_i, w_i, x_{ijk} \in \{0,1\} \; ; \; t_i, We_{ik} \geq 0 \qquad (17)$$

در مدل بالا رابطه‌های (۱) و (۲) توابع هدف را نشان می‌دهند که به ترتیب بیانگر کمینه نمودن کل مسافت پیموده شده و بیشینه نمودن پوشش تقاضاهای بالقوه مشتریان می‌باشد. محدودیت‌های (۳) و (۴) تضمین می‌کنند که هر مشتری فقط یک‌بار توسط یک وسیله نقلیه سرویس بگیرد. محدودیت (۵) پیوسته بودن تورها را تضمین می‌کند، به‌عبارتی چنانچه پس از ورود وسیله نقلیه به گره می‌بایست از آن خارج شود. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که زمان سفر هر وسیله نقلیه از حداکثر زمان سفر تجاوز نکند. محدودیت (۷) تضمین می‌کند که تقاضاهای برآورده شده توسط هر وسیله نقلیه از ظرفیت آن تجاوز نکند. محدودیت (۸) زمان ملاقات هر گره را محاسبه می‌کند. محدودیت (۹) تضمین می‌کند که تور از قرارگاه آغاز شده و به آن ختم شود. محدودیت (۱۰) از تشکیل زیر تورها جلوگیری به‌عمل می‌آورد که در آن S، هر زیرمجموعه اختیاری از مجموعه مشتری‌ها و |S| بیانگر تعداد اعضای مجموعه S می‌باشد. محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند که اگر $z_i = 1$ آنگاه حتماً $t_i > u_i$. محدودیت‌های (۱۲) و (۱۳) تضمین می‌کند که اگر $q_i = 1$ آنگاه حتماً $t_i \in [l_i, u_i]$. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که اگر $z_i = 0$ و هم‌چنین $q_i = 0$ آنگاه حتماً $t_i < l_i$. در روابط (۱۱) و (۱۴) برای استفاده از نامساوی بزرگ‌تر مساوی به جای نامساوی بزرگ‌تر، به ترتیب مقدار ε کسر و اضافه شده است. محدودیت (۱۵) تضمین می‌کند که در صورت یک شدن z_i و یا q_i ؛ w_i مقدار صفر اختیار کند. در محدودیت (۱۶) مدت زمان انتظار در گره i ام محاسبه می‌شود. (در صورت ملاقات مشتری قبل از l_i و هم‌چنین $w_i = 1$ مقدار می‌گیرد). محدودیت‌های متغیرهای تصمیم در رابطه (۱۷) نشان داده شده است.

در بخش بعدی نتایج محاسباتی حاصل از اجرای مدل بر روی برخی از مسائل نمونه‌ای ارائه خواهد شد.

۴- آزمایش‌های مدل

هدف از انجام آزمایش‌های محاسباتی، ارزیابی یا اعتبارسنجی مدل پیشنهادی می‌باشد. از آنجایی‌که مسائل محک در مورد مدل پیشنهادی در ادبیات موضوع وجود ندارد، تعدادی مسئله نمونه در ابعاد کوچک و متوسط به‌صورت تصادفی تولید گردید. در این مقاله آزمایش‌های طراحی شده، دامنه مشتریان را بین ۵ تا ۱۳ مشتری در افق برنامه‌ریزی می‌کند.

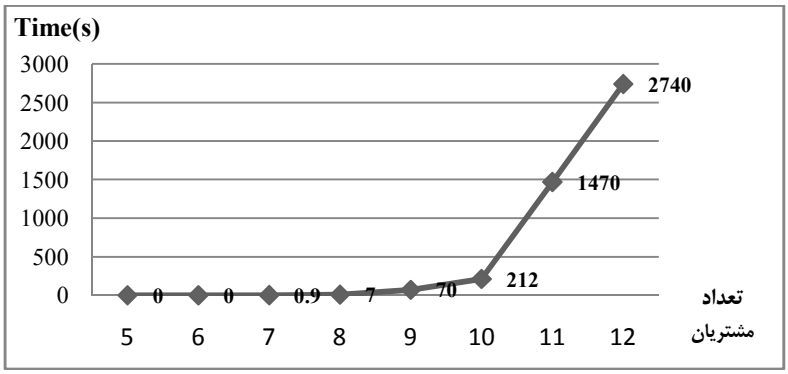
مدل پیشنهادی در نرم افزار GAMS 23.6.3 کد گردیده است و سپس مسائل نمونه توسط حل‌کننده CPLEX بر روی رایانه همراه با پردازنده Core i3 2.13GHz و با حافظه داخلی 3GB حل شده و نتایج مطابق جدول (۱) به‌دست آمده است.

در سال‌های اخیر، تکنیک‌های زیادی برای حل مسائل چندهدفه پیشنهاد شده است. این روش‌ها را می‌توان در دو گروه روش‌های پارتو و روش‌های عددی، دسته‌بندی کرد. روش-های عددی با تبدیل‌های ریاضی مانند مجموع وزنی خطی استفاده می‌شوند، در حالی که در روش پارتو، دو جواب بر این اساس که یکی بر دیگری غالب است یا خیر، مورد مقایسه قرار می‌گیرند[۱۲و۱۱]. معروف‌ترین روش عددی، روش مجموع وزنی خطی[1] می‌باشد. لیکن این روش چندین عیب دارد: اول

1- Weighted linear aggregation

جدول (۱): نتایج مسائل نمونه

مشخصات مسئله			نتایج محاسباتی برای مدل GAMS/CPLEX			
مسائل نمونه تولید شده	تعداد وسایل نقلیه	تعداد مشتریان	تعداد جواب‌های بهینه پارتو	مقادیر جواب‌های بهینه پارتو (obj1,obj2)	متوسط زمان حل برای هر جواب بهینه پارتو (ثانیه)	مجموع زمان حل (ثانیه)
مسئله شماره ۱	۳	۵	۲	(۹۲،۳۲)،(۱۰۴،۳۴)	۰	۰
مسئله شماره۲	۳	۶	۲	(۵۶،۴۳)،(۶۴،۴۵)	۰	۰
مسئله شماره۳	۳	۷	۲	(۷۸،۴۹)،(۸۸،۵۲)	۰،۹	۱،۸
مسئله شماره۴	۳	۸	۲	(۷۴،۵۰)،(۸۶،۵۸)	۷	۱۴
مسئله شماره۵	۳	۹	۶	(۹۸،۷۵)،(۹۴،۷۳)،(۸۲،۷۱)،(۸۰،۶۷)،(۷۶،۶۵)،(۷۴،۶۱)	۷۰	۴۲۰
مسئله شماره۶	۳	۱۰	۳	(۱۳۸،۵۶)،(۱۴۲،۶۲)،(۱۴۶،۶۵)	۲۱۲	۶۳۸
مسئله شماره۷	۴	۱۱	۱	(۱۱۸،۹۲)	۱۴۷۰	۱۴۷۰
مسئله شماره۸	۴	۱۲	۳	(۱۱۰،۹۴)،(۱۱۲،۹۹)،(۱۱۶،۱۰۲)	۲۷۴۰	۸۲۲۰
مسئله شماره۹	۴	۱۳	—	Error Memory	۶۹۴۵۰	—



شکل (۱): نمودار ارتباط بین زمان‌های حل مسئله و تعداد مشتریان

این‌که، وزن‌ها باید مطابق اهمیت اهداف باشند. دوم، این روش در پیدا کردن تمام جواب‌های بهینه پارتو ناتوان است. به‌عنوان مثال، تنها جواب‌هایی را پیدا می‌کند که روی قسمت محدب مجموعه پارتو قرار دارند[۱۳]. دیگر رویکرد عددی استفاده شده، روش برنامه‌ریزی آرمانی[13] می‌باشد. در این رویکرد، مقدار آرمانی (به‌عنوان مثال یک نقطه از فضای جواب) انتخاب می‌شود و سپس برای کم کردن مسافت بین جواب جاری و مقدار آرمانی یک جستجو انجام می‌شود. دشواری اصلی این روش به‌دست آوردن مقدار آرمانی می‌باشد. اما رویکرد دیگر عددی، روش ϵ محدودیت[14] می‌باشد[۱۵و۱۴] در این روش فقط یک هدف بهینه می‌گردد و سایر اهداف به‌عنوان محدودیت در نظر گرفته می‌شوند. از این رو در روند حل مدل، برای به‌دست آوردن جواب‌های بهینه پارتو، از رویکرد ϵ- محدودیت استفاده می‌گردد.

به‌طوری که در این روش هدف هزینه (مسافت) سفر بهینه می‌گردد و هدف پوشش تقاضا به‌عنوان محدودیت درنظر گرفته شده و طبق رابطه $f_2 \geq \epsilon$ بیان می‌شود. مجموع تقاضاهای دوم مشتریان به‌عنوان حد پایین پوشش تقاضا تعیین می‌شود و این حد پس از هر بار اجرای برنامه به‌روزرسانی می‌شود. این روند را می‌توان تا به‌دست آمدن تمام جواب‌های بهینه پارتو ادامه داد. در جدول (۱)، در ستون جواب‌های بهینه پارتو، هر جواب پارتو در یک پرانتز آورده شده است. مقادیر به ترتیب متناظر با هدف مجموع هزینه (مسافت) سفر و هدف دوم یعنی مجموع پوشش تقاضاها می‌باشند.

همان‌طور که از جدول (۱) مشاهده می‌شود در مثال‌های مورد آزمایش؛ تعداد جواب‌های بهینه پارتو برای هر مسئله متفاوت می‌باشد لذا تعداد اجرای برنامه و هم‌چنین زمان اجرای آن برای به‌دست آمدن تمام جواب‌های بهینه پارتو متفاوت است، به‌همین سبب برای هر مسئله متوسط زمان حل

13- Goal programming methods
14- ϵ-Constraint

هر جواب بهینه پارتو بیان شده است. منظور از مقدار زمان حل صفر برای مسائل شماره ۱ و ۲، عددی بسیار نزدیک به صفر می‌باشد که نرم‌افزار مقدار صفر را نشان می‌دهد. در شکل (۱) ارتباط بین زمان‌های حل مسائل نمونه و تعداد مشتریان نمایش داده شده است. همان‌گونه که از شکل (۱) مشخص است، زمان حل مسئله با افزایش ابعاد مسئله به‌طور نمایی رشد می‌کند. در شکل (۱) محور افقی تعداد مشتریان و محور عمودی زمان حل بر حسب ثانیه می‌باشد.

۵- جمع بندی و نتیجه‌گیری

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه نقش بسیار مهمی در لجستیک و توزیع کالا دارد و همواره در تحقیقات سعی شده که مدل‌های کلاسیک را به مسائل دنیای واقعی نزدیک‌تر کرده تا نیازهای حوزه لجستیک پوشش داده شود. با توجه به برخی از جنبه‌های مشاهده شده از مسائل دنیای واقعی در حوزه زنجیره تأمین، این موضوع قابل دریافت است که وجود کالاهای مناسبتی مشتمل بر چند نوع متفاوت تقاضاها نقش بسزایی در مسیریابی وسایل نقلیه دارند. لذا برای بررسی این مسائل در حوزه زنجیره تأمین، با تلفیق مفهوم چند تقاضایی و پنجره‌های زمانی، مدل ریاضی جدیدی تحت عنوان مسیریابی وسائل نقلیه چند هدفه با پنجره‌های زمانی و چند تقاضایی را با در نظر گرفتن دو هدف، حداقل کردن مجموع هزینه (مسافت) سفر و حداکثر کردن پوشش تقاضاهای بالقوه (به‌عبارتی حداکثرنمودن رضایت مشتریان) آن را ارائه داده و با رویکرد ϵ– محدودیت برای تعدادی از مسائل نمونه تولید شده، در نرم‌افزار GAMS آن را حل کرده است. همان‌گونه که از نتایج محاسباتی می‌توان دریافت، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه جز مسائل NP-Hard بوده و با افزایش ابعاد مسئله، زمان حل آن به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد. از این رو برای رسیدن به جواب‌های مناسب در مدت زمان قابل قبول، برای ابعاد بزرگ‌تر مسئله، لازم است یک روش ابتکاری و یا فراابتکاری با رویکرد چند هدفه طراحی شود. بنابراین طراحی و توسعه یک روش فرا ابتکاری برای حل مدل پیشنهادی می‌تواند از جمله تحقیقات آتی باشد. از طرفی مدل ریاضی فوق را می‌توان با اضافه‌کردن اهداف دیگر توسعه داده و کارآیی آن را با درنظرگرفتن یک مورد مطالعاتی واقعی مورد بررسی قرار داد.

منابع

[1] Dantzig G.B., Ramser J.M. , "***The truck dispatching problem***", Management Science, vol. 6, pp. 81–91, 1959.

[2] Cordeau J.F., Laprate G., "***Vehicle routing***", Cote Catherine montereal Canada, 2005.

[3] El-Sherbeny N. A., "***Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods***", Journal of King Saud University (Science), vol. 22, pp.123–131, 2010.

[4] Sessomboon W., Watanabe K., Irohara T. and Yoshimoto K., "***A study on multi-objective vehicle routing problem considering customer satisfaction with due-time (the creation of Pareto optimal solutions by hybrid genetic algorithm)***", Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineering, 1998.

[5] Hong S-C., Park Y-B., "***A heuristic for a bi-objective vehicle routing with time window constraints***", International Journal of Production Economics, vol. 62, pp. 249–258, 1999.

[6] El-Sherbeny N., "***Resolution of a vehicle routing problem with multi-objective simulated annealing method***", Ph.D. thesis, Faculte Polytechnique de Mons, Mons, Belgique, 2001.

[7] Fan J., "***The vehicle routing problem with simultaneous pickup and delively based on customer satisfaction***", Procedia Engineering, Vol. 15, pp.5284-5289, 2011.

[8] Tavakkoli-Moghaddam R., Gazanfari M., Alinaghianb M., Salamatbakhsh A. and Norouzi N., "***A new mathematical model for a competitive vehicle routing problem with time windows solved by simulated annealing***", Journal of Manufacturing Systems, vol. 30, pp. 83– 92, 2011.

[9] Ghoseiri K. and Ghannadpour S.F., "***Multi-objective vehicle routing problem with time windows using goal programming and genetic algorithm***", Applied Soft Computing, vol. 10, pp.1096–1107, 2010.

[10] Feillet D., Dejax P., Gendreau M. , "***Traveling salesman problems with profits***", Transportation Science, vol. 36, pp. 188–205, 2005.

[11] Coello Coello C.A., Van Veldhuizen D.A., Lamont G.B. (Eds.), "***Evolutionary Algorithms for Solving Multi-objective Problems***", Kluwer Academic Press, 2002.

[12] Deb K., "***Multi-objective Optimization using Evolutionary Algorithms***", John Wiley and Sons, 2001.

[13] Geoffrion A., "***Proper efficiency and theory of vector maximization***", Journal of Mathematical Analysis and Applications, vol. 22, pp. 618–630, 1968.

[14] Jozefowiez N., Semet F., Talbi E-G., "***Applications of multi-objective evolutionary algorithm***", Advance in Natural Computation, chapter: A multi-objective evolutionary algorithm for the covering tour problem, vol. 1, pp. 247–267, 2004.

[15] Pacheco J., Marti R., "***Tabu search for a multi-objective routing problem***", Journal of the Operational Research Society, vol. 57, pp. 29–37, 2006.