Archive of SID

پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره 4، شماره 1، بهار 1398

مدل‌سازی و حل مسئله چندهدفه مسیریابی وسایل نقلیه شرکت‌های پخش با محدودیت‌های فازی و احتمالی (مطالعه موردی)

زینب اسدی[1]، محمد ولی‌پور خطیر[2*]، عبدالحمید صفایی قادیکلائی[3]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران
2- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران
3- دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران

دریافت: 1396/9/12 پذیرش: 1397/10/20

چکیده

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه از مهم‌ترین مسائل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است. مسئله مسیریابی در شرکت‌های توزیع و پخش که حمل‌ونقل بخش عمده هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد، بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش با توجه به نیاز موجود در شرکت‌های توزیع و پخش و در نظر گرفتن محدودیت‌های دنیای واقعی مانند زمان سرویس احتمالی، تقاضای فازی و محدودیت پنجره زمانی یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه گردید، سپس با کمک فنون تحلیلی، مدل غیرخطی به مدل خطی تبدیل شد. از نرم‌افزار GAMS برای اعتبار سنجی مدل پیشنهادی استفاده شد. با توجه به این‌که سخت بودن مسئله مذکور و به‌منظور حل آن در ابعاد بزرگ، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نخبه‌گرا (NSGA-II) و الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه کلونی مورچگان (MOACO) طراحی شد. کارایی الگوریتم‌های طراحی‌شده، با استفاده از شاخص‌های سنجش کارایی الگوریتم‌های

* نویسنده مسئول مقاله: E- mail: M.khatir1461@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

فراابتکاری چندهدفه موردبررسی قرار گرفت و نتایج حاکی از کارا بودن الگوریتم NSGA-II بوده است. در ادامه با استفاده از الگوریتم پیشنهادی به حل مسئله مسیریابی شرکت مورد مطالعه پرداخته شد و راهکارهای عملی با توجه به نیاز مدیریت شرکت ارائه گردید.

واژگان کلیدی: مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چندهدفه؛ محدودیت‌های فازی و احتمالی؛ الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نخبه‌گرا؛ الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه کلونی مورچگان.

1- مقدمه

مسائل حمل‌ونقل یکی از مهم‌ترین مسائلی است که در لجستیک و زنجیره تأمین، موردتوجه محققان است. واژه لجستیک به‌طور گسترده برای تشریح فرآیند حمل‌ونقل، انبار و مدیریت محصول از ابتدا تا انتهای تولید و رساندن محصول به مشتری استفاده می‌شود [1]. هزینه فرایند لجستیک برای یک شرکت متوسط -به نسبت فروش- تقریباً 7,87% است که 44% از آن هزینه حمل‌ونقل است [2]؛ لذا با توجه به سهم هزینه‌های حمل‌ونقل در قیمت تمام‌شده و تأثیر آن بر رضایت مشتری، همواره کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل یکی از دغدغه‌های مهم شرکت‌ها برای افزایش رقابت‌پذیری محصولات بوده است [3].

از مهم‌ترین مسائلی که تاکنون در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل مطرح شده و از مشکلات عمده زنجیره تأمین به شمار می‌رود، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه است [4] که در آن باید مجموعه‌ای از مسیرهای بهینه وسایل نقلیه جهت سرویس‌دهی به مشتریان تعیین شود [5]؛ به‌این‌ترتیب که مسیرهای حمل‌ونقل به‌گونه‌ای تعیین شود که مسافت طی شده، زمان کل سفر، تعداد وسایل حمل‌ونقل، جریمه دیرکرد و درنهایت تابع هزینه حمل‌ونقل، حداقل گردد و رضایت مشتریان به حداکثر برسد [6]. این مسائل از دو نگاه برای محققین حائز اهمیت است: اول آنکه مسئله مطرح‌شده، مسئله‌ای کاربردی است و توفیق در دستیابی به جواب‌های بهتر، سبب صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود و دوم آنکه حل مسئله به خاطر ان‌پی_سخت[1] بودن، مسئله‌ای چالش‌برانگیز است [7]. بنابراین، تصمیمات بهتر در زمینه مسیریابی موجب افزایش کارآمدی یک شبکه توزیع و در نتیجه افزایش اثربخشی در جوابگویی به مشتریان است [8].

1. NP_Hard

www.SID.ir

Archive of SID

در شرکت‌های پخش، هزینه‌های حمل‌ونقل و لجستیک سهم قابل‌توجهی از هزینه‌های عملیاتی را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین اگر بتوان مدلی یافت که با دلیل و منطق ریاضی، نشان دهد مدیریت هزینه ها در حوزه حمل و توزیع در نقطه بهینه قرار دارد، یکی از دغدغه‌های اصلی در صنعت پخش برطرف می‌شود؛ مواردی نظیر تعداد خودروی موردنیاز، ظرفیت خودروها، تعداد ویزیتورها، مسیرهای تردد خودروها، از جمله دغدغه‌های مدنظر هستند. یکی از مسائل اساسی در شرکت‌های مذکور، تعیین چگونگی سرویس‌دهی به مشتریان است، به‌طوری‌که نیازها به میزان خواسته‌شده و در زمان خواسته‌شده، با کمترین هزینه و نیز بیشترین رضایت مشتری به دست آن‌ها برسد [9].

از زمانی که مسئله مسیریابی وسایل نقلیه مطرح شد، حالت‌های مختلفی از آن موردبررسی قرار گرفته است. تنوع محدودیت‌ها در این‌گونه مسائل، چالش‌های مختلفی از آن را تشکیل می‌دهد که هرکدام بخش خاصی از مسائل موجود در دنیای واقعی را شامل می‌شوند. اکثر مسائل دنیای واقعی، به‌خصوص مسائل مسیریابی وسایل نقلیه، اهدافی چندگانه دارند که در بیشتر موارد این اهداف در تضاد با یکدیگر هستند. از چالش‌های دیگر می‌توان به محدودیت‌هایی نظیر فازی بودن متغیرهای مسئله، احتمالی بودن زمان سرویس‌دهی به مشتریان و پنجره زمانی اشاره کرد.

عمده شرکت‌های پخش فعال در کشور، از یک سری قواعد تجربی برای مسیریابی وسایل نقلیه استفاده می‌کنند که هزینه‌های زیادی برای شرکت به همراه دارد و باعث ناکارآمدی شبکه توزیع می‌شود. در این پژوهش سعی شده است مدل ریاضی مرتبط با مسائل مسیریابی شرکت‌های پخش با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود در دنیای واقعی طراحی شده و با استفاده از روش‌های فراابتکاری به حل این مدل و ارائه مسیرهای بهینه پرداخته شود.

2- مبانی نظری پژوهش

مسئله مسیریابی وسیله نقلیه[1]، یکی از مفاهیم آشنا در زمینه تحقیق در عملیات و مسائل بهینه‌سازی ترکیبی است که اولین بار توسط دانتزیگ و رامسر[2] فرموله و

1. Vehicle Routing Problem
2. Dantzig & Ramser

www.SID.ir

Archive of SID

براساس روش‌های ریاضی به حل آن پرداخته شد [10]. سپس دانتزیگ به همراه فالکرسون [1]برای حل این مسئله یک مدل صفر و یک ارائه کردند [11]. در سال 1964 رایت و کلارک [2] در مقاله‌ای مسئله فروشنده دوره‌گرد را با بیش از یک وسیله نقلیه در نظر گرفتند [12]. در این مطالعه، مدل توسعه‌یافته دانتزیگ و رامسر، با عنوان رویکرد ابتکاری الگوریتم صرفه‌جویی ارائه گردید و یکی از اولین مقالات در ادبیات مسیریابی به شمار می‌رود؛ درحالی‌که اولین مقاله‌ای که اصطلاح مسیریابی را به‌طور صریح در عنوانش بکار برد متعلق به گلدن[3] و همکارانش است [13].

در ادامه، مطالعات زیادی برای توسعه مسئله مسیریابی انجام پذیرفت؛ برای مثال، سالامون[4] در سال 1983 مفهوم پنجره زمانی را به مسئله کلاسیک مسیریابی اضافه کرد و مجموعه‌ای از مسائل مبنا معروف را که امروزه به‌عنوان مسائل سالامون شناخته شده است، معرفی کرد [14]. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی یکی از حالت‌های رایج مسائل مسیریابی است که در آن، علاوه بر محدودیت ظرفیت، هر یک از مشتریان یا قرارگاه‌ها بازه‌های زمانی مشخصی را برای ارائه خدمات دارند. البته غالباً محدودیت پنجره زمانی از سوی مشتریان برای دریافت کالا، تعریف می‌شود و فقط در محدوده زمانی مشخص کالا دریافت می‌کنند و یا برای محدوده زمانی ذکرشده، اولویت در نظر می‌گیرند [15]. این‌گونه مسائل در دنیای واقعی کاربردهای فراوانی دارد؛ از جمله می‌توان به تحویل مرسولات بانکی و پستی، جمع‌آوری زباله و فضولات، تقسیم سوخت بین جایگاه‌های سوخت و مسیریابی اتوبوس مدرسه اشاره کرد [16].

یکی دیگر از چالش‌هایی که توجه محققان را به خود جلب کرده است، وجود چند هدف هم‌زمان و بعضاً متضاد در مسائل مربوط به مسیریابی وسایل نقلیه است. ازجمله این اهداف می‌توان به مواردی نظیر میزان کالای جابجا شده در هر مسیر، تعداد مشتریان موجود در هر مسیر، طول مسیرها و یا زمان عبور از آن‌ها اشاره کرد. بریوب و همکارانش[5] مسئله فروشنده دوره‌گرد را با ارائه روش‌های ابتکاری بهبودیافته در حالت چندهدفه حل کردند [17]. عیدی و قاسمی نژاد به توسعه مدل مسئله مسیریابی وسایل

1. Fulkerson
2. Wright & Clarck
3. Golden
4. Solomon
5. Berube et.al

www.SID.ir

Archive of SID

نقلیه چندهدفه با پنجره زمانی و چند تقاضایی پرداختند و مدل جدیدی به‌صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه کردند [18]. راوی شانکار کومار و همکارانش [1] نیز به مدل‌سازی چندهدفه مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی با اهداف حداقل‌سازی هزینه‌های عملیاتی کل و تولید گازهای گلخانه‌ای پرداختند [19].

مرور مبانی نظری نشان می‌دهد تحقیقات معدودی در زمینه زمان سرویس احتمالی و مسئله مسیریابی فازی انجام شده است. لاپورته [2] و همکارانش از اولین محققانی بودند که مسئله مسیریابی را با زمان احتمالی در نظر گرفتند؛ آن‌ها سه مدل متفاوت را بر پایه برنامه‌ریزی احتمالی ارائه دادند و از روش شاخه و کران برای حل آن‌ها استفاده کردند [20]. دوگلاس میراندا [3] و همکارانش مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی سخت را با محدودیت احتمالی بودن زمان سفر و زمان سرویس‌دهی به مشتریان در نظر گرفتند و از یک الگوریتم فراابتکاری بر پایه جستجوی محلی استفاده کردند [21]. تئودوروویچ [4] برای اولین بار مفاهیم فازی را در مسئله مسیریابی وسیله نقلیه ارائه نمود [22]. در زمینه تئوری و مفاهیم فازی، ونگ و ون [5] تئوری فازی را در مسئله فروشنده دوره‌گرد به کار بردند [23]. کائو [6] و همکارانش به مسئله مسیریابی باز با تقاضای فازی پرداختند؛ مسئله مسیریابی باز حالتی از مسیریابی است که در آن وسایل نقلیه پس از سرویس‌دهی به مشتریان نیازی به بازگشت به انبار مرکزی ندارند [24]. یانگ شی [7] و همکارانش یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی برای حل مسئله مسیریابی مربوط به خانه مراقبت از سلامت ارائه کردند و در آن محدودیت‌های پنجره زمانی و تقاضای فازی در نظر گرفته شد [25]. جواد بهنامیان و همکارانش در مسئله مسیریابی تولید رقابتی، یک مدل برنامه ریزی ریاضی فازی برای تصمیم گیری برنامه ریزی مسیریابی تولید ارائه کردند [26].

سیر مطالعات نشان می‌دهد چالش‌های متعددی در دنیای واقعی وجود دارد که هر یک از محققان به‌نوعی درصدد حل آن برآمدند. این پژوهش به‌منظور یافتن مسیر بهینه حرکت وسایل نقلیه از انبار مرکزی شرکت‌های پخش به مشتریان صورت

1. Ravi Shankar Kumar, et al.
2. Laporte
3. Douglas Miranda
4. Teodorovich
5. Wang & Wen
6. Cao
7. Shi

www.SID.ir

Archive of SID

گرفته است؛ در این راستا اهداف کاهش هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های دیرکرد و مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه و محدودیت‌های تقاضای فازی، زمان سرویس احتمالی به مشتریان، محدودیت پنجره زمانی و محدودیت‌های مربوط به ظرفیت و زمان در دسترس وسایل نقلیه موردتوجه قرار گرفت.

3- مدل‌سازی مسئله

3-1- مفروضات

بدیهی است ایجاد هر مدلی مستلزم بیان مفروضاتی از مسئله موردنظر است و در مدل پیشنهادی نیز مفروضات زیر موردتوجه نویسندگان بوده است: 1) هدف مدیر توزیع، حداقل سازی هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه‌های دیرکرد به‌عنوان هدف اول و حداقل سازی مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه به‌عنوان هدف دوم است؛ 2) مدت‌زمان سرویس به مشتریان احتمالی در نظر گرفته می‌شود؛ 3) تقاضای هر مشتری با تقریب فازی و به‌صورت عدد فازی مثلثی نشان داده می‌شود. اعداد فازی مثلثی $d_j=(d_1,d_2,d_3)$ با حدود چپ و راست مشخص می‌شوند. این مقادیر بر پایه داده‌های شرکت به‌دست‌آمده و به‌گونه‌ای تعریف شده‌اند که تقاضای هر مشتری j در این مسئله، کمتر از تقاضای d_1 و بیشتر از تقاضای d_3 نباشد و دارای درجه عضویت یک باشد؛ 4) اگر تقاضای هر مشتری در زمان تحویل معین‌شده تأمین نشود، باید توزیع‌کننده جریمه آن را بپردازد؛ 5) برای حمل تقاضاهای محصولات مختلف می‌توان آن‌ها را درون یک وسیله حمل گذاشت و الزامی در حمل جداگانه محصول با وسیله نقلیه مجزا وجود ندارد؛ 6) از یک مسیر نباید بیش از یک وسیله نقلیه برای حمل کالا به مشتریان استفاده شود. به‌عبارت‌دیگر اگر قرار است تقاضای محصولات مختلف یک مشتری اجابت شود باید با حمل توسط یک وسیله نقلیه انجام شود.

3-2- مدل چندهدفه پیشنهادی

در این بخش نمادهای به‌کاررفته در مدل ریاضی (اعم از پارامترهای ورودی، زیروندها (اندیس‌ها) و متغیرهای تصمیم) تشریح می‌شوند:

www.SID.ir

Archive of SID

پارامترها و زیروندها

N	تعداد کلیه نقاط تخلیه و بارگیری (با احتساب انبار مرکزی)؛
i, j	زیروند نقطه تخلیه بار ($i=0,1,2,\ldots,N$)؛
K	زیروند وسیله حمل‌ونقل ($k=1,2,3,..,K$)؛
E	تعداد انواع محصولات؛
E	زیروند نوع محصول ($e=1,2,3,..,E$)؛
tc_{ij}	هزینه واحد حمل‌ونقل مابین نقطه تخلیه بار i و نقطه تخلیه بار j با سفر مستقیم بین آن‌ها؛
t_{ij}	فاصله زمانی مابین نقطه تخلیه بار i و نقطه تخلیه بار j با سفر مستقیم بین آن‌ها؛
dis_{ij}	فاصله مکانی مابین نقطه تخلیه بار i و نقطه تخلیه بار j با سفر مستقیم بین آن‌ها؛
$\tilde{d}_{ie}$	تقاضای فازی محصول نوع e در نقطه تخلیه i؛
Cap	ظرفیت حمل وسیله حمل‌ونقل برحسب کیلوگرم؛
w_e	وزن هر واحد محصول نوع e برحسب کیلوگرم؛
l_i	طول پنجره زمانی تحویل کالا در نقطه تخلیه بار i؛
Cc	هزینه خسارت ناشی از عدم تأمین تقاضای مشتری در پنجره زمانی موردنظر؛

متغیرهای تصمیم

x_{ijk}	یک اگر مابین نقطه تخلیه i و j توسط وسیله حمل بزرگ k سفری صورت گیرد؛ صفر، در غیر این صورت.
u_i	یک اگر هیچ وسیله حمل بزرگی نتواند تا قبل از اتمام پنجره زمانی خود را به نقطه تخلیه بار i برساند؛ صفر، در غیر این صورت.
t_i	زمان رسیدن وسیله حمل بار به نقطه تخلیه بار i؛

www.SID.ir

Archive of SID

s_i زمان سرویس مربوط به مشتری i؛

tt_i طول مدت‌زمان تجاوز از پنجره زمانی در محل مشتری i؛

v_{ik} متغیر کمکی جلوگیری از ایجاد زیر تور؛

B حداکثر زمان سفر برای وسایل نقلیه؛

K تعداد کل وسایل حمل‌ونقل.

مدل ریاضی مسئله

(1)
$$\text{Min}\sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N}\sum_{k=1}^{K} tc_{ij}x_{ijk} + cc\sum_{i=1}^{N} tt_i$$

$$\text{Min}\sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N}\sum_{k=1}^{K} dis_{ij}x_{ijk}$$

s.t

$$\sum_{j=1}^{N} x_{0jK} = 1 \qquad \forall\, \kappa \qquad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{i0K} = 1 \qquad \forall\, \kappa \qquad (4)$$

$$\sum_{i=0}^{N} x_{ijk} - \sum_{i=0}^{N} x_{jpk} = 0 \qquad \forall\, \varphi,\kappa \qquad (5)$$

$$\sum_{j=0}^{N}\sum_{k=1}^{K} x_{ijk} = 1 \qquad \forall\, \iota > 0 \qquad (6)$$

$$\sum_{j=0}^{N}\sum_{i=0}^{N}\sum_{e=1}^{E} x_{ijk}\tilde{d}_{ie}w_e \le cap \qquad \forall\, \kappa \qquad (7)$$

$$t_j = \sum_{i=0}^{N} t_i\left(\sum_{k=1}^{K} x_{ijk}\right) + \sum_{i=0}^{N}\sum_{k=1}^{K}(s_i + t_{ij})x_{ijk} \qquad \forall\, \varphi > 0 \qquad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} t_{ij}x_{ijk} + \sum_{i=0}^{N} s_i \sum_{j=1}^{N} x_{ijk} \le B \qquad \forall\, \kappa \qquad (9)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$v_{ik} + 1 \le v_{jk} + M(1 - x_{ijk}) \qquad \forall \iota,\varphi,\kappa=1,2,\square,N \qquad (10)$$

$$t_i - l_i < 0 + Mu_i \qquad \forall \iota > 0 \qquad (11)$$

$$t_i - l_i > 0 - M(1 - u_i) \qquad \forall \iota > 0 \qquad (12)$$

$$tt_i = u_i(t_i - l_i) \qquad \forall \iota > 0 \qquad (13)$$

$$x_{ijk}, u_i \in \{0,1\} \qquad \forall \iota,\varphi,\kappa \qquad (14)$$

$$v_{ik}, t_i, tt_i, k \in z^+ \qquad \forall \iota,\varphi,\kappa \qquad (15)$$

تابع هدف اول به دنبال حداقل سازی هزینه‌های سفر و هزینه تجاوز از پنجره زمانی است. تابع هدف دوم نیز حداقل سازی کل مسافت طی شده را در نظر دارد. محدودیت‌های (3) و (4) بیانگر این است که هر وسیله نقلیه باید از مبدأ شروع به حرکت کرده و دوباره به مبدأ بازگردد. محدودیت (5) پیوسته بودن تورها را نشان می‌دهد به عبارتی در صورت ورود یک وسیله نقلیه به یک گره مشخص، الزاماً باید از آن گره خارج شود. محدودیت (6) تضمین می‌کند که هر مشتری تنها یک‌بار ویزیت شود. محدودیت (7) نشانگر این است که هر وسیله نقلیه چه ظرفیتی دارد. محدودیت (8) زمان رسیدن یک وسیله نقلیه را در نقطه تخلیه J اندازه می‌گیرد که مجموع زمان سفر بین نقاط طی شده و زمان سرویس‌دهی در نقاط تقاضا است. در این پژوهش زمان سرویس‌دهی در نقاط تقاضا s_i به‌صورت احتمالی است که با استفاده از پارامترهای میانگین و انحراف معیار حاصل از داده‌های تاریخی، براساس تابع توزیع نرمال به‌صورت تصادفی تعیین شدند. محدودیت (9) زمان در دسترس هر وسیله نقلیه را نشان می‌دهد. محدودیت (10) برای جلوگیری از ایجاد زیر تور[1] قرار گرفته است. محدودیت‌های (11) و (12) چک می‌کند که آیا تا قبل از اتمام پنجره زمانی وسیله حمل می‌تواند خود را به نقطه تخلیه بار i برساند یا خیر. محدودیت (13)

1. Subtour

www.SID.ir

Archive of SID

مدت‌زمان تجاوز از پنجره زمانی نقطه تخلیه بار i را اندازه‌گیری می‌کند. روابط(14) و (15) دامنه تغییرات و جنس متغیرهای تصمیم مدل را نشان می‌دهند.

4- روش حل

در این قسمت با توجه به وجود محدودیت غیرخطی و همچنین تقاضای فازی در مدل پیشنهادی، ابتدا شکل خطی مدل ارائه می‌شود؛ سپس با فازی زدایی مسئله، مدل قطعی مسئله ایجاد می‌شود. پس از آن، درستی عملکرد مدل پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار GAMS مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه، مسئله حاضر جزو مسائل ان‌پی-سخت است، برای حل این مسئله دو الگوریتم فراابتکاری با رویکرد چندهدفه طراحی و نتایج هر یک از الگوریتم‌ها موردبررسی قرار گرفت.

4-1- خطی سازی مدل

عبارت‌های $t_i(\sum_{k=1}^{K} x_{ijk})$ و $U_i * t_i$ در محدودیت‌های (8) و (13) باعث غیرخطی شدن محدودیت‌ها شده است. با توجه به مطالعه شرالی و آلامدین[1] [27] معادل خطی عبارت‌های مذکور را می‌توان با جایگزینی عبارت $t_i(\sum_{k=1}^{K} x_{ijk})$ با متغیر h_{ijk} و عبارت $U_i * t_i$ با متغیر N_i در محدودیت‌های ذکرشده و اضافه کردن محدودیت‌های زیر نوشت:

$$h_{ijk} \le t_i \qquad \forall \iota,\varphi > 0 ,\forall \kappa \qquad (16)$$

$$h_{ijk} \le M * x_{ijk} \qquad \forall \iota > 0 \qquad (17)$$

$$h_{ijk} \ge t_i - M*(1-x_{ijk}) \qquad \forall \iota > 0 \qquad (18)$$

$$h_{ijk} \ge 0 \qquad \forall \iota > 0 \qquad (19)$$

$$N_i \le t_i \qquad \forall \iota \qquad (20)$$

1. Sherali & Alameddine

www.SID.ir

Archive of SID

$$N_i \le M^* U_i \qquad \forall \iota \qquad (21)$$

$$N_i \ge t_i - M^*(1-U_i) \qquad \forall \iota \qquad (22)$$

$$N_i \ge 0 \qquad \forall \iota \qquad (23)$$

4-2- فازی زدایی

برای حل مدل پیشنهادی ابتدا می‌بایست مدل فازی پیشنهادی به مدل قطعی تبدیل شده و سپس مدل قطعی با استفاده از رویکرد پیشنهادی حل شود. در مدل مسئله موردنظر مقدار تقاضای فازی باعث فازی شدن محدودیت (7) شده است که با استفاده از روش ساکاوا[1] [28] غیر فازی می‌شود.

قضیه ساکاوا: اگر m,n دو مقدار فازی با تابع عضویت پیوسته باشند، برای سطح اطمینان $\eta\in[0,1]$ می‌توان به‌صورت زیر عمل کرد:

$$pos\{m \ge n\} \ge \eta \Leftrightarrow m_\eta^R \ge n_\eta^L \qquad (24)$$

و بر طبق آن به ترتیب $\left[m_\eta^L, m_\eta^R\right]$ و $\left[n_\eta^L, n_\eta^R\right]$ نقاط حدی چپ و راست مقادیر m, n در سطح اطمینان η هستند و $pos\{m \ge n\}$ درجه امکانی است که نشان می‌دهد m بزرگ‌تر یا مساوی n است.

قضیه: فرض کنید مقادیر فازی d_{ie} توسط سطوح سه‌گانه حد چپ، راست و وسط $(\alpha_{ie}, \gamma_{ie}, \beta_{ie})$ مشخص شده باشند، آنگاه خواهیم داشت:

$$pos\left\{\sum_{i=0}^{N}\sum_{e=1}^{E} d_{ie} w_e \left(\sum_{j=0}^{N} x_{ijk}\right) \le cap\right\} \ge \eta$$

$$cap - (1-\eta)\sum_{i=0}^{N}\sum_{e=1`}^{E} \alpha_{ie} w_e \left(\sum_{j=0}^{N} x_{ijk}\right) - \eta\sum_{i=0}^{N}\sum_{e=1}^{E} \gamma_{ie} w_e \left(\sum_{j=0}^{N} x_{ijk}\right) \ge 0 \qquad (25)$$

1. Sakawa

www.SID.ir

Archive of SID

اثبات: ازآنجایی‌که

$$\sum_{i=0}^{N}\sum_{e=1}^{E} d_{ie} w_e \left(\sum_{j=0}^{N} x_{ijk}\right) = \left(\sum_{i=0}^{N}\sum_{e=1`}^{E} \alpha_{ie} w_e \left(\sum_{j=0}^{N} x_{ijk}\right), \sum_{i=0}^{N}\sum_{e=1`}^{E} \gamma_{ie} w_e \left(\sum_{j=0}^{N} x_{ijk}\right), \sum_{i=0}^{N}\sum_{e=1`}^{E} \beta_{ie} w_e \left(\sum_{j=0}^{N} x_{ijk}\right)\right)$$

$$\Leftrightarrow \sum_{i=0}^{N}\sum_{e=1`}^{E} \alpha_{ie} w_e \left(\sum_{j=0}^{N} x_{ijk}\right) + \eta \sum_{i=0}^{N}\sum_{e=1`}^{E} (\gamma_{ie} - \alpha_{ie}) w_e \left(\sum_{j=0}^{N} x_{ijk}\right) \le cap \quad (26)$$

$$\Leftrightarrow (1-\eta)\sum_{i=0}^{N}\sum_{e=1`}^{E} \alpha_{ie} w_e \left(\sum_{j=0}^{N} x_{ijk}\right) + \eta \sum_{i=0}^{N}\sum_{e=1`}^{E} \gamma_{ie} w_e \left(\sum_{j=0}^{N} x_{ijk}\right) \le cap \quad (27)$$

$$\Leftrightarrow cap - (1-\eta)\sum_{i=0}^{N}\sum_{e=1`}^{E} \alpha_{ie} w_e \left(\sum_{j=0}^{N} x_{ijk}\right) - \eta \sum_{i=0}^{N}\sum_{e=1`}^{E} \gamma_{ie} w_e \left(\sum_{j=0}^{N} x_{ijk}\right) \ge 0 \quad (28)$$

و درنهایت با قرار دادن محدودیت (28) به‌جای محدودیت (7) مدل به حالت قطعی تبدیل می‌گردد.

در الگوریتم‌های فراابتکاری نیز مقادیر فازی مثلثی تقاضا $\tilde{d} = (a_1, a_2, a_3)$ براساس رابطه (29) با سطح اطمینان α قطعی سازی شدند [29].

$$d = \frac{1}{2}(\alpha a_3 + a_2 + (1-\alpha)a_1) \quad (29)$$

4-3- اعتبارسنجی مدل

برای بررسی اعتبار مدل پیشنهادی و رفتار الگوریتم پیشنهادی یک سری مسائل نمونه از داده‌های شرکت موردمطالعه، تولید شد. مسائل نمونه در نرم‌افزار GAMS با محدودیت زمان حل چهل‌وپنج دقیقه اجرا شدند. ابتدا مدل مسئله جهت صحت‌سنجی، در ابعاد کوچک حل و زمان آن ثبت گردید، سپس در ابعاد متوسط و ابعاد واقعی نیز این فرایند تکرار شد. بنابراین مسئله در سه سطح حل می‌شود: سطح اول آزمایشی بوده و صرفاً جهت صحت‌سنجی مدل و کد نویسی آن می‌باشد؛ در سطح دوم،

www.SID.ir

Archive of SID

مسائلی با ابعاد بزرگ‌تر ایجاد شد تا میزان اختلاف‌زمان حل سطوح مختلف موردبررسی قرار گیرد؛ در سطح سوم نیز مسئله مسیریابی شرکت موردمطالعه در ابعاد واقعی آن، مورد تحلیل قرار گرفت. در جدول (1) اطلاعات مربوط به مسائل هر سطح و زمان حل هرکدام ارائه شد.

جدول 1 اطلاعات مسائل اعتبارسنجی

سطح	مسائل نمونه	تعداد نقاط تقاضا	تعداد محصولات	تعداد وسایل نقلیه	مجموع زمان حل (دقیقه)
سطح اول	مسئله 1	4	2	2	0/34
	مسئله 2	6	3	2	0/351
	مسئله 3	8	7	4	0/415
	مسئله 4	10	9	6	0/469
	مسئله 5	15	15	6	0/6
سطح دوم	مسئله 6	25	20	8	03:996
	مسئله 7	30	20	8	07:05
	مسئله 8	40	29	10	16:42
	مسئله 9	50	29	10	29:09
	مسئله 10	60	29	12	39:42
سطح سوم	مسئله 11	75	29	15	54:08

پس از ارزیابی مسائل در دو سطح اول و دوم، با مشاهده تفاوت معنی‌دار میان زمان حل سطوح اول و دوم، دریافت می‌شود که نرم‌افزار حل مدل احتمالاً برای سطوح بالاتر داده، زمان زیادی را به خود اختصاص خواهد داد و چنانچه مشاهده

www.SID.ir

Archive of SID

شد، برای سطح سوم داده‌ها که شامل داده‌های شرکت موردمطالعه است، در محدوده زمانی موردنظر جواب بهینه حاصل نشده است. بنابراین ازآنجایی‌که مسئله حاضر جزو مسائل ان‌پی-سخت است، برای حل مسئله با ابعاد بزرگ‌تر و یافتن جواب مناسب در مدت‌زمان قابل‌قبول، لازم است یک روش فراابتکاری با رویکرد چندهدفه طراحی شود. روش‌های فراابتکاری، ابتکاری خاص برای تناسب با نوع خاصی از مسئله فراهم می‌آورند [30]. در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نخبه‌گرا و الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه کلونی مورچگان برای حل مسئله استفاده خواهد شد.

4-4- الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه

به همه روش‌های بهینه‌سازی که در هر تکرار از آن یک جواب به دست می‌آید و اکثراً از یک قاعده‌ی معین برای تغییر جواب استفاده می‌کنند، روش‌های کلاسیک گفته می‌شوند. بیشتر روش‌های نقطه‌به‌نقطه کلاسیک از یک رویه مشخص برای دستیابی به جواب بهینه استفاده می‌کنند و در هر تکرار، یک جواب به جواب دیگر تبدیل می‌شود. باوجوداین، حوزه جستجو و بهینه‌سازی در دهه‌های اخیر با معرفی تعدادی از روش‌های بهینه‌سازی غیر کلاسیک تغییر کرده است. یکی از این روش‌ها، الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه هستند که برای جستجو و بهینه‌سازی مسائل از قوانین طبیعت تقلید می‌کنند. مهم‌ترین وجه تمایز آن‌ها با روش‌های کلاسیک این است که الگوریتم‌های تکاملی در هر تکرار به‌جای یک جواب، از مجموعه‌ای از جواب‌ها استفاده می‌کنند. لذا با توجه به اینکه در هر تکرار، مجموعه‌ای از جواب‌ها پردازش می‌شوند، خروجی یک الگوریتم تکاملی چندهدفه نیز مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه است [31].

4-4-1- بهینه‌سازی چندهدفه

در بهینه‌سازی چندهدفه، اهداف مسئله بعضاً متناقض یا در رقابت با یکدیگر هستند و به‌جای ارائه یک پاسخ بهینه، مجموعه‌ای از پاسخ‌های بهینه تولید می‌شود. مجموعه پاسخ‌های بهینه -که پارتو اپتیمال نیز گفته می‌شود- شامل پاسخ‌هایی است که هیچ‌کدام از آن‌ها با در نظر گرفتن تمامی اهداف، نسبت به دیگری برتری ندارند.

www.SID.ir

Archive of SID

4-4-2- الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نخبه‌گرا[1] (NSGA-II)

الگوریتم ژنتیک با رویکرد جمعیت محور، روشی بسیار مناسب برای حل مسائل بهینه‌سازی می‌باشد. نسخه چندهدفه الگوریتم ژنتیک می‌تواند برای یافتن مجموعه‌ای از چندین جواب نامغلوب در مسائل چندهدفه، اصلاح گردد. در الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نخبه‌گرا، عملگر نخبه‌گرایی این فرصت را برای نخبه‌های یک جمعیت فراهم می‌کند که مستقیماً بتوانند به نسل بعدی منتقل شوند. در عملگر نخبه‌گرایی، یک جواب از بین نخواهد رفت مگر اینکه جواب بهتری نسبت به آن پیدا شود. برای تشریح الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نخبه‌گرا، ابتدا جمعیت P_0 به‌صورت تصادفی ایجاد می‌شود. جمعیت به‌دست‌آمده مرتب شده و داخل سطوح متفاوتی از درجه نامغلوب بودن دسته‌بندی می‌شوند. سپس برای هر جواب برحسب اینکه در چه لبه‌ای دسته‌بندی شده است ارزشی اختصاص داده می‌شود (به بهترین لبه ارزش یک اختصاص داده می‌شود). سپس عملگرهای انتخاب رقابتی، ترکیب و جهش برای ایجاد جمعیت فرزندان (جمعیت Q_0) با اندازه N استفاده می‌شوند. گام‌های پیاده‌سازی این الگوریتم به شرح ذیل است:

گام 1) با ترکیب جمعیت فرزندان و جمعیت والدین جمعیت R_t ایجاد شده و جمعیت حاصل با استفاده از مرتب‌سازی نامغلوب به لبه‌های F_i که $(i=1,2,\ldots)$ دسته‌بندی می‌شود.

گام 2) با قرار دادن i=1 و $P_{t+1} = \phi$، تا زمانی که رابطه (30) برقرار باشد عملیات مربوط به رابطه (31) تکرار می‌شود.

$$|P_{t+1}| + |F_i| < N \qquad (30)$$

$$\{P_{t+1} = P_{t+1} \cup F_i, i = i+1\} \qquad (31)$$

گام 3) پس از اجرای مراحل مرتب‌سازی ازدحام، با استفاده از مفهوم فاصله ازدحام، ارزش‌های متفاوتی برای $(N-|P_{t+1}|)$ از جواب‌های $|F_i|$ تعیین به دست می‌آید (مرتب‌سازی برحسب ازدحام جواب‌ها در لبه‌ای که برخی از جواب‌های آن نتوانستند

1. Elitist non-domainated sorting GA

www.SID.ir

Archive of SID

در جمعیت قرار گیرند). بنابراین جمعیت به‌صورت نزولی تحت میزان بزرگی ارزش فاصله ازدحام مرتب خواهد شد.

گام 4) جمعیت فرزندان Q_{t+1} از P_{t+1} با استفاده از یک الگوریتم انتخاب رقابتی ازدحام و عملگرهای ترکیب و جهش ایجاد می‌شوند (مبنای مقایسه عملگر انتخاب رقابتی ازدحام همان فاصله ازدحام است) [32].

4-4-3- الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه کلونی مورچگان[1]:

این الگوریتم جزء روش‌های فراابتکاری مبتنی بر جمعیت است و تکنیک سازنده‌ای برای یافتن راه‌حل‌های تقریبی مسائل بهینه‌سازی دشوار به شمار می‌رود. ایده اصلی الگوریتم کلونی مورچگان این است که مسئله را به‌صورت جستجوی یک مسیر با حداقل هزینه در یک گراف، حل کند. الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه کلونی مورچگان از سه منظر با هم تفاوت دارند که عبارت‌اند از:

1. فرومون: برای محاسبه مقدار فرومون در الگوریتم دو استراتژی وجود دارد: الف) در این استراتژی یک ماتریس فرومون در نظر گرفته می‌شود و برای محاسبه آن، از مجموع توابع هدف استفاده می‌شود. ب) در این استراتژی به ازای هر تابع هدف یک کلونی و یک ماتریس فرومون در نظر گرفته می‌شود.

2. انتخاب جواب: یکی از سؤال‌هایی که موقع به‌روزرسانی مقدار فرومون مسیرها پیش می‌آید، این است که کدام جواب ساخته‌شده جهت به‌روزرسانی انتخاب می‌شود. برای انتخاب جواب، دو روش وجود دارد: الف) بهترین جواب هر تابع هدف کدام است. ب) جواب‌های نامغلوب کدام است.

3. عوامل اکتشافی: برای تعریف این عامل دو استراتژی وجود دارد: الف) در نظر گرفتن مجموع توابع هدف. ب) در نظر گرفتن کلونی به ازای هر تابع هدف.

در حالت کلی، شبه کد الگوریتم استاندارد کلونی برای چندهدفه‌ها به‌صورت زیر می‌باشد:

1. آماده‌سازی پارامترها و مقداردهی اولیه ماتریس فرومون τ و اطلاعات اکتشافی η و خالی قرار دادن مجموعه پارتو P.
2. در صورت برآورده نشدن شرایط خاتمه، مراحل زیر را تکرار کنید:
   i. ساختن جواب‌های هر مورچه؛

1. Multi Objective Ant Colony Optimization(MOACO)

www.SID.ir

Archive of SID

ii. بروز رسانی مجموعه پارتو؛

iii. بروز رسانی کلی فرومون.

3. مجموعه P جواب‌های نامغلوب را می‌دهد و پایان [32].

5- اجرای الگوریتم‌ها

5-1- معیارهای ارزیابی کارایی الگوریتم‌های فراابتکاری

برای ارزیابی کارایی الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه شاخص‌هایی معرفی شده است که در این پژوهش از سه شاخص زیر جهت ارزیابی استفاده شده است [33، 34، 35].

1. فاصله از نقطه ایده‌آل (MID)[1]: این معیار، میزان نزدیکی بین جواب‌های موجود در لبه پارتو و نقاط ایده‌آل موردسنجش قرار می‌گیرد که مقدار آن توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^{n} c_i}{n} \qquad (32)$$

$$c_i = \sqrt{\left(\frac{f_{1i} - f_1^{best}}{f_{1,total}^{max} - f_{1,total}^{min}}\right)^2 + \left(\frac{f_{2i} - f_2^{best}}{f_{2,total}^{max} - f_{2,total}^{min}}\right)^2} \qquad (33)$$

که در آن، n تعداد جواب‌های نامغلوب، f_1^{best} مقدار ایده‌آل برای تابع هدف اول، f_2^{best} مقدار ایده‌آل برای تابع هدف دوم، $f_{1,total}^{max} - f_{1,total}^{min}$ و $f_{2,total}^{max} - f_{2,total}^{min}$ به ترتیب اختلاف بین حداقل و حداکثر مقدار تابع هدف اول و دوم حاصل از جواب‌های نامغلوب می‌باشد. هرچه مقدار این فاصله کمتر باشد، یک الگوریتم از عملکرد بهتری برخوردار خواهد بود.

2. نرخ دستیابی به دو تابع هدف به‌صورت هم‌زمان (RAS)[2]: مقدار این معیار، بعد از تعیین بهترین مقدار به‌دست‌آمده برای هر تابع هدف، از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

1. Mean Ideas Distance
2. The rate of achievement to tow objectives simulataneously

www.SID.ir

Archive of SID

$$RAS = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| f_{1i}(x) - f_{1i}^{best}(x) \right| + \left| f_{2i}(x) - f_{2i}^{best}(x) \right|}{n} \quad (34)$$

که در آن، n تعداد جواب‌های نامغلوب، f_1^{best} مقدار ایده‌آل برای تابع هدف اول، f_2^{best} مقدار ایده‌آل برای تابع هدف دوم است. مقادیر کمتر برای این شاخص نشان‌دهنده کاراتر بودن الگوریتم است.

3. پراکندگی حل‌های نامغلوب (SNS) [1]: این معیار که به‌عنوان شاخص تنوع نیز شناخته می‌شود، از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$SNS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (MID - c_i)^2}{n-1}} \quad (35)$$

مقادیر بزرگ‌تر این شاخص نشان‌دهنده کارایی بهتر الگوریتم خواهد بود.

5-2- آزمایش‌ها و تحلیل نتایج

جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی، از 6 مسئله با ابعاد مختلف براساس داده‌های شرکت موردمطالعه، استفاده شده است که اطلاعات مربوط در جدول (2) آمده است.

جدول 2 اطلاعات مربوط به مسائل

شماره مسئله	1	2	3	4	5	6
تعداد مشتری	8	10	15	25	30	75
تعداد محصولات	7	9	15	20	20	29
تعداد وسایل نقلیه	2	6	6	8	8	15

الگوریتم‌های فراابتکاری ارائه‌شده برای مسائل نمونه اجرا گردید و مقادیر معیارهای مقایسه برای آن‌ها در جدول (3) آمده است. این جدول مقادیر به‌دست‌آمده

1. Spread of Non-domainance Solutions

www.SID.ir

Archive of SID

برای معیارهای MID، RAS و SNS را برای هر یک از الگوریتم‌های NSGA-II و MOACO نشان می‌دهد. با توجه به توضیحات پیشین مقادیر کمتر برای MID و RASو مقادیر بیشتر برای SNS مطلوب است. بنابراین با توجه به این جدول، الگوریتم NSGA-II عملکرد بهتری از الگوریتم MOACO در مقادیر میانگین حاصل از تمام معیارهای عملکرد داشته است. همچنین با توجه به مقادیر سطر آخر در جدول3، مشاهده می‌شود که الگوریتم NSGA-II از لحاظ تعداد دفعات برتری سه معیار موردنظر، عملکرد بهتری داشته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم NSGA-II برای حل مدل چندهدفه پیشنهادی کیفیت عملکرد بهتری دارد.

جدول 3 معیارهای مقایسه الگوریتم‌ها

Mean Ideas Distance(MID)		The rate of achievement to tow objectives simulataneously(RAS)		Spread of Non-domainance Solutions(SNS)		شماره مسئله
NSGA-II	MOACO	NSGA-II	MOACO	NSGA-II	MOACO	
1/306	1/113	10/666	18	0/569	0/401	1
1/856	23/563	666/61	104/333	0/197	0/421	2
9/649	5/269	59/666	138/333	4/370	0/532	3
15/278	15/732	152	513/666	1/926	0/417	4
7/723	54/08	172/333	806/666	0/295	0/473	5
4/044	26/574	744/333	1865/66	0/118	0/579	6
6/642	21/1	206/611	574/777	1/277	0/47	میانگین
4	2	6	0	3	3	دفعات برتری شاخص

6- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این پژوهش به بهینه‌سازی مسئله مسیریابی در شرکت‌های توزیع و پخش که مسائل حمل‌ونقل نقش اصلی را ایفا می‌کنند، پرداخته شد. در بسیاری از سازمان‌ها، بخش فروش براساس یک قاعدهی تجربی به‌منظور مسیریابی فروش می‌پردازد، شرکت کوثر دشت ایرانیان یک شرکت پخش مواد غذایی در استان گلستان است که از سال 1384 فعالیت

www.SID.ir

Archive of SID

خود را در زمینه پخش مواد غذایی شروع کرده و شامل قسمت‌های مختلفی مانند پخش مواد لبنی، پخش لوازم بهداشتی و پخش نوشیدنی‌ها است. در این راستا ابتدا، مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح آمیخته (MINLP) ارائه گردید و با تکنیک‌های تحلیلی، مدل غیرخطی ساخته‌شده با مدل خطی معادل‌سازی شد و همچنین تقاضای فازی به تقاضای قطعی تبدیل گردید. مدل پیشنهادی با طرح مسائل آزمایشی و حل آن توسط نرم‌افزار گمز اعتبارسنجی شد. به‌منظور حل مسئله در ابعاد بزرگ، الگوریتم NSGA-II و MOACO طراحی و شش مسئله آزمایشی توسط الگوریتم‌های مذکور حل شد. نتایج مقایسه دو الگوریتم با استفاده از شاخص‌های ارزیابی الگوریتم‌های فراابتکاری، کارایی الگوریتم NSGA-II را نشان داد. بنابراین با استفاده از الگوریتم NSGA-II به حل مسئله شرکت موردمطالعه که شامل 75 مشتری و 29 نوع محصول موردتقاضا و 15 وسیله حمل است پرداخته شد، سه مورد از بهترین جواب‌های پارتو به‌دست‌آمده توسط الگوریتم در جدول (4) به‌تفصیل بیان شده است.

جدول 4 جواب‌های پارتو الگوریتم NSGA-II

ردیف	جواب‌های پارتو	ماشین	مسیر بهینه
1	[2761;3007]	1	۱،۶،20،62،56،1
		2	۱،35،15،11،۴،13،14،65،64،16،1
		...	...
		15	۱،18،۹،1
2	[2787;2983]	1	۱،46،21،1
		2	۹،17،28،52،1
		...	...
		15	29،13،10،74،55،1
3	[2910;3050]	1	۱،46،21،1
		2	۱،44،61،41،1
		...	...
		15	۱،10،59،۸،34،27

www.SID.ir

Archive of SID

در مورد نتایج مدیریتی حاصل از این تحقیق می‌توان به این نکته اشاره کرد که با توجه به اهمیت هر یک از توابع هدف پیشنهادی برای مدیریت، می‌تواند از میان پاسخ‌های نامغلوب به‌دست‌آمده از الگوریتم، آن پاسخی را که ترجیح می‌دهد انتخاب کند. ویژگی بارز تحقیق حاضر تلاش نویسندگان برای در نظر گرفتن محدودیت‌های دنیای واقعی از جمله محدودیت زمان سرویس احتمالی بوده که با استفاده از تابع توزیع نرمال به‌دست‌آمده است. جهت حفظ رضایت مشتری محدودیت‌های تقاضای فازی و پنجره زمانی مشتریان اعمال گردیده که این محدودیت‌ها به ترتیب امکان درخواست تقاضای مشتریان در یک بازه مشخص و همچنین زمان تحویل موردنظر مشتریان را فراهم نموده است. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی مسائل مسیریابی دوره‌ای و یا چند قرارگاهی برای شرکت‌های توزیع با توجه به محدودیت‌های موجود در دنیای واقعی موردبررسی قرار گیرد و همچنین کارایی دیگر الگوریتم‌های فراابتکاری با الگوریتم‌های ارائه‌شده، مقایسه شود.

7- منابع

[1] McKinnon, A. Sustainable distribution: opportunities to improve vehicle loading. *Industry and environment*, 23(4), 2000, 26-27.

[2] Ongtang, M., & Sirivunnabood, S. Transportation backhaul matching using binary programming model: a case study on third-party logistics network in Thailand. *Lecture notes on software engineering*, *2*(3), 2014, 251.

[3] Zafari, Hashemi, Yousefi. An effective genetic algorithm for solving vehicle routing problems. *International Journa Of Industrial Engineering & Production Research*. 21(2), 2009, 63-76.

[4] Ranjbar, azade. Reengineering the supply chain network by considering routing decisions, *Modern researches in decision making*, 2(3), 2016, 19-20.

[5] Y. Ren, M. Dessouky, & F.Ordóñez. The multi-shift vehicle routing problem with overtime. *Computers & Operations Research*, 37(11), 2010, 1987-1998.

[6] Falkenauer, E. A hybrid grouping genetic algorithm for bin packing. *Journal of heuristics*, 2(1), 1996, 5-30.

www.SID.ir

Archive of SID

[7] Mester, D., Bräysy, O., Dullaert, W. A multi-parametric evaluation strategies algorithm for vehicle routing problems. *Expert Systems with Applications*, 32, 2007, 508–517.

[8] Vayssettes-Courchay, C., Bouysset, F., Cordi, A., Laubie, M., & Verbeuren, T. J. Effects of medullary α 2-adrenoceptor blockade in the rat. *European journal of pharmacology*, 453(2), 2002, 287-297.

[9] Hosseini, khalji aliaei. Mathematical modeling of locating-routing problem considering the capacity, variety and traffic constraints of transportation vehicles and development of a model of solving based on an ant colony algorithm. *International Journal Of Industrial Engineering & Production Research*. 3(5), 2015, 91-105.

[10] Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 1959, 80-91.

[11] Dantzig, G. B., & Fulkerson, D. R. Minimizing the number of tankers to meet a fixed schedule. *The Basic George B. Dantzig*, 2003, 217-222.

[12] Clarke, G., & Wright, J. W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations research*. 12(4), 1964, 568-581.

[13] Golden, B. L., Magnanti, T. L., & Nguyen, H. Q. Implementing vehicle routing algorithms. *Networks*, 7(2), 1977, 113-148.

[14] Solomon, M. M. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints, *Operations research*. 35(2), 1983, 254-265.

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

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

[17] Bérubé, J, "An exact □-constraint method for bi-objective combinatorial optimization problems: Application to the Traveling Salesman Problem with Profits. *European Journal of Operational Research*. 194(1), 2009, 39-50.

www.SID.ir

Archive of SID

[18] Eidi, Ghasemi nezhad, The vehicle routing problem with time window and multi demand. *Iranian Journal of Supply Chain Management*, 14(37), 2009, 38-43.

[19] Kumar, R. S., Kondapaneni, K., Dixit, V., Goswami, A., Thakur, L. S., & Tiwari, M. K, Multi-objective modeling of production and pollution routing problem with time window: A self-learning particle swarm optimization approach. *Computers & Industrial Engineering*. 99(1), 2016, 29-40.

[20] Laporte, G., Louveaux, F., Mercure, H., The vehicle routing problem with stochastic travel times. *Transportation Science*; 26(3), 1992, 161–170.

[21] Miranda, D. M., & Conceição, S. V, The vehicle routing problem with hard time windows and stochastic travel and service time. *Expert Systems with Applications*, 64(1), 2016, 104-116.

[22] Teodorovich, D., Pavkovickm, G., A simulated annealing technique approach to the vehicle routing problem in the case of the stochastic. *Transportation Planning and Technology*, 16(4), 1992, 261– 273.

[23] Wang, H. F., Wen, Y. P., Time-constrained Chinese postman problems. *Computer and Mathematical Application*, 44, 2004, 375-387.

[24] Cao, E., & Lai, M. The open vehicle routing problem with fuzzy demands. *Expert Systems with Applications*, 37(3), 2010, 2405-2411.

[25] Shi, Y., Boudouh, T., & Grunder, O, A hybrid genetic algorithm for a home health care routing problem with time window and fuzzy demand. *Expert Systems with Applications*, 72, 2017, 160-176.

[26] Behnamian, J., Adabi, F. Competitive Production Problem: Modeling, Solving and Valid Inequalities, *Modern researches in decision making*, 3(2), 2018, 55-79.

[27] Sherali, H., Alameddine, A, A new reformulation-linearization technique for bilinear programming problems. *Journal of Global Optimization*, 2(4), 1992, 379–410.

[28] Sakawa, M., Fuzzy Sets and Interactive Multi objective Optimization. Plenum Press, NewYork, 1993.

www.SID.ir

Archive of SID

[29] Molla-alizade-Zavardehi, S., Nezhad, S. S., Tavakkoli-Moghadam, R., & Yazdani, M. Solving a fuzzy fixed charge solid transportation problem by metaheuristics. *Mathematical and computer Modeling*, 57(5), 2013, 1543-1558.

[30] Taghavifard, S., dehghani, M., aghaei, M.. The Model for Lot Sizing Problem with Supplier Selection and Solving by NSGA-II (Case Study: Morvarid Panberiz Company). *The Modares Journal of Management Research in Iran*, 19(2), 2015 65-89.

[31] Coello, C.A.C., Lamont, G.B., Veldhuizen, D.A.V.: Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems, 2nd end. Springer, New York, 2007.

[32] Rezaeian, javad. Shafipour omrani, milad. Modern meta- heuristics algorithms (step by step implementation in MATLAB), Mazandaran University Jihad, 1396, 81-84.

[33] Abraham, L. Jain, and R. Goldberg, editors. Evolutionary Multiobjective Optimization. *Theoretical Advances and Applications*. Springer, USA, 2005.

[34] Donoso, Yeizd, and Ramon Fabergate. Multi-Objective optimization in computer networks using metheuristics. New York: taylor and Francis Group, LLC, 2007.

[35] Ghosh, Ashish, Satchidananda Dehuri. Multi-Objective Evolutionary Algorithms for Knowledge Discovery from Databases. Berlin, Germany: Springer-Verlage Berlin Heidelberg, 2008.

www.SID.ir