مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ناهمگن با چند جایگاه پخش همراه بامحدودیت بازه‌های زمانی مختص به کالاهای فاسدشدنی

عرفان بابایی تیرکلایی[1*]، سعید سائیل پور[2]، سیدحمید میرمحمدی[3]
دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۱۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۳/۲۵

چکیده

این مقاله به بررسی مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ناهمگن با چند جایگاه پخش، همراه بامحدودیت بازه‌های زمانی مختص به کالاهای فاسدشدنی می‌پردازد. هدف در مسئله مورد بررسی، کمینه‌سازی مجموع زمان مورد نیاز جهت سرویس‌دهی کل مشتریان متناسب با هزینه کل است. محصولات توسط ناوگانی از وسایل حمل ناهمگن با ظرفیت محدود و محدودیت زمانی تعریف شده به مشتریان تحویل داده می‌شوند.

با توجه به اینکه مورد بررسی این مقاله، یک مسئله NP-Complete و نمونه پیچیده‌تر مسئله مسیریابی وسیله نقلیه است، بنابراین مسئله ما نیز در دسته مسائل NP-Complete قرار دارد و روش‌های دقیق برای حل آن در ابعاد واقعی، کارآمد می‌باشند. در ضمن برای حل تقریبی مسئله الگوریتم فراابتکاری مورچگان بیشینه-کمینه ارائه شده است و دلایل استفاده از آن در ادامه مقاله تشریح می‌شود. در نهایت، نتیجه بررسی‌ها در مقایسه با نمونه‌های مشهور بیانگر آن است که الگوریتم پیشنهادی در یک زمان عملیاتی کوتاه، عملکرد مناسبی دارد.

واژه‌های کلیدی: مسیریابی وسایل نقلیه با چند جایگاه پخش، کالاهای فاسدشدنی، الگوریتم فراابتکاری مورچگان بیشینه- کمینه، محدودیت پنجره زمانی، وسایل نقلیه ناهمگن.

۱- مقدمه

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه[4] جهت مدل‌سازی بازه وسیعی از مسائل روزمره مانند حمل و نقل، مدیریت زنجیره تأمین، برنامه‌ریزی تولید و ارتباطات کاربرد دارد[۱]. بررسی اولیه این مسئله توسط دانتزیگ[5] و رامسر[6] انجام شد[۲]. از آن پس این موضوع مورد مطالعه بسیاری از محققان قرار گرفته‌است. هدف از این مسئله طراحی مجموعه‌ای از مسیرها (که از یک جایگاه پخش آغاز و به همان جایگاه پخش منتهی می‌شود) برای وسایل نقلیه با محدودیت ظرفیت جهت کمینه نمودن هزینه‌های مورد نیاز است که منجر به برآوردن تقاضای مشتریان مطرح در مسئله می‌شود. هر مشتری فقط یک بار سرویس خود را دریافت می‌کند و به تمام مشتری‌ها باید سرویس داده شود.

در مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با چند جایگاه پخش،[7] تقاضای مشتریان با استفاده از چندین جایگاه پخش برآورده می‌شود. همانند مسئله مسیریابی وسایل نقلیه هر وسیله نقلیه باید به جایگاه پخشی که آن را ترک نموده‌است بازگردد.

یکی از رویافت‌های این مسئله حل آن در دو مرحله است، بدین طریق که ابتدا مشتریان خوشه‌بندی می‌شوند و هر مشتری به یک جایگاه پخش تخصیص داده می‌شود،

۱*- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی اصفهان، نویسنده پاسخگو، پست‌الکترونیکی: e.babaee@in.iut.ac.ir، نشانی: استان مازندران، ساری، میدان خزر، بلوار خزر، کوچه شهید یوسفی، ساختمان پارمیدا، واحد چهارم جنوبی
۲-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی اصفهان، پست الکترونیکی: s.saeilpour@in.iut.ac.ir
۳-استادیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی اصفهان، پست الکترونیکی: h_mirmohammadi@cc.iut.ac.ir

4- Vehicle Routing Problem
5- Dantzig
6- Ramser
7- Multiple depot

سپس برای هر یک از خوشه‌ها که در این مرحله شبیه به یک مسئله مسیریابی وسایل نقلیه است، برنامه‌ریزی صورت می‌گیرد. گرچه حل هم‌زمان هر دو مرحله فوق نتایج بهتری به دست می‌دهد ولی در مسائل با حجم بزرگ این روش امکان‌پذیرنیست[۳].

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با چند جایگاه پخش همراه با مسیرهای دارای جایگاه پخش میانی[1] (فرض لزوم بازگشت هر وسیله نقلیه به جایگاه پخشی که مسیر خود را از آن آغاز کرده است) را نادیده می‌گیرد و این امکان را مطرح می‌نماید که وسیله نقلیه پس از ورود به جایگاه پخش جدید دوباره مأموریت بعدی خود را از جایگاه پخش جدید آغاز نماید[۴].

در صورت در نظر گرفتن بازه‌های زمانی برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با چند جایگاه پخش، سرویس‌دهی به هر مشتری فقط در بازه زمانی خاصی امکان‌پذیر است. بررسی ادبیات موضوع نشان‌گر عدم توجه مساوی و کافی به تمام کلاس‌های مختلف این مسئله است. این مورد به خصوص در مورد مسائل دارای چندین جایگاه پخش، به چشم می‌آید. از آن طرف، مسائلی چون مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت‌دار[2] و یا مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره‌های زمانی (VRPTW)[3]مورد بررسی افراطی محققان قرار گرفته و سایر کلاس‌های مسئله به ندرت بررسی شده‌اند[۵].

در واقع یکی از مختص‌های اصلی کالاهای فاسد شدنی در نظر گرفتن پنجره‌های زمانی است که در تعاریف داریم که فاسد شدن و تقلیل کیفیت آنها به‌طور گسترده‌ای در صنایع غذایی از قبیل شیر، سبزیجات و گوشت وجود دارد. هم‌چنین به موجودات زنده،گل‌های زینتی و غیره نیز این مجموعه تعلق می‌گیرد. زمان بین تاریخ آماده‌سازی و فروش این محصولات اهمیت عمده‌ای برای تولید کننده و خریدار دارد چون‌که اگر فرآیند توزیع کارا و مؤثر نباشد:

۱- محصولات به موقع به مقصد (سوپر مارکت، رستوران‌ها و سایر) نخواهند رسید و موجب کاهش جدی در کیفیت و ارزش محصولات می‌شود.

۲- هزینه‌های انبار و نگهداری آنها به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد.

۳- حجم سفارش کاهش می‌یابد چون‌که مشتریان، محصولات شرکت رقیب را ترجیح می‌دهند.

در این مقاله ابتدا ادبیات موضوع در بخش ۲ و مدل مسئله در بخش ۳ ارائه می‌گردد. سپس در بخش ۴ به توضیح روش پیشنهادی حل مسئله پرداخته می‌شود. در نهایت در بخش ۵ نتایج محاسباتی به‌دست آمده و نتیجه‌گیری نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۲- ادبیات موضوع

مسئله مسیریابی که شامل زمان(وقت)، مدت زمان سفر وابسته به روز است ابتدا توسط ماکاندراکی[4] و داسکین[5] معرفی شده است[۶].آنها مسئله فروشنده دوره‌گرد(TSP)[6] وابسته به زمان را ارائه دادند، به‌طوری‌که مسئله ساده شده آنها، مسئلهVRPبوده و باید به کلیه مشتریان سرویس داده شود و هر مشتری نیز فقط توسط یک وسیله نقلیه بازدید گردد.

روش‌های مختلفی برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه و مسیریابی وسایل نقلیه با محدودیت پنجره‌های زمانی توسعه داده شده‌اند. در این مسائل مسیرهایی برای کمینه کردن کل هزینه توزیع باید انتخاب شوند. توضیح مفصل این مسائل و مسائل مربوط به آنها شامل یک مرور ادبیات از روش‌های ایجاد شده توسط توس[7] و ویگو[8] است[۱]. در مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با محدودیت پنجره‌های زمانی، محل مرکز پخش و تقاضاهای مشتریان و پنجره زمانی سرویس (زودترین و دیرترین زمان که مشتری محموله ارسالی را قبول می‌کند) هر مشتری مشخص است. راه‌حل مسئله توسط یک یا چند مسیر ارائه می‌شود. هر کدام از این مسیرها مربوط به یک وسیله نقلیه است، یک مسیر از یک نقطه (انبار مرکزی) آغاز و از زیرمجموعه مشتریانی که در یک ترتیب خاص و مشخصی می‌باشند عبور کرده و سپس به انبار مرکزی بر می‌گردد. هر مشتری فقط باید به یک وسیله نقلیه تخصیص داده شود و حجم بار نیز نباید بیشتر از ظرفیت وسیله نقلیه به آن باشد.

1- Multi-Depot VRP with Inter-Depot Routes
2- Capacitated VRP
3- VRP with Time Windows

4- Malandraki
5- Daskin
6- Traveling Salesman Problem
7- Toth
8- Vigo

تارانتیلیس[1] و کیرانودیس[2] توزیع شیر تازه را در شهر آتن بررسی کردند[۷]. آنها مسئله را برای مسیریابی وسایل حمل و نقل ناهمگن بررسی کردند که دارای ظرفیت‌های مختلفی می‌باشند. یک الگوریتم پذیرش آستانه‌ای با هدف ارضای تقاضای توزیع شرکت توسعه داده شد و به آنها اجازه داد تا توزیع آنها را در زمان‌های مختلف در طول هفته برنامه‌ریزی کنند.

پریندزیس[3] و کیرانودیسیک برنامه کاربردی فراهم‌کننده سرویس ارائه دادند[۸]. به‌طوری‌که برای بازارهای مرکزی غذا مورد استفاده قرار گرفت و فعالیت‌ها، کارها و اطلاعات مرتبط را برای حل مسئلهVRP هماهنگ و جدا می‌کرد. برای حل مسئلهVRP از تکنیک فراابتکاری جستجوی ممنوع[4] استفاده کردند. آنها نرم‌افزار سفارشی خود را برای شبکه‌های جاده‌ای آتن درست کرده و آن را برای مسئله یکپارچه لجستیک به ۶۹۰ شرکت خرده فروشی بازار مرکزی غذایی آتن تحویل دادند. آنها از یک الگوریتم دو مرحله‌ای برای حل مسئله VRP استفاده کردند. در فاز اول، از یک الگوریتم سازنده مسیر استفاده گردید و در فاز دوم از یک الگوریتم جستجوی ممنوع برای بهبود جواب داده شده استفاده شد. چانگ[5] و همکاران یک مسئلهVRPTW برای توزیع غذاهای فاسدشدنی ارائه کردند، هدف مسئله به‌دست آوردن مسیرهای بهینه، زمان بهینه آغاز سفر و غیره است. آنها جهت حل مسئله، از الگوریتم‌های ابتکاری خود استفاده کردند و نتایج مناسبی به‌دست آوردند [۹].

اوسوالد[6] و استرین[7]، مسئله توزیع سبزیجات تازه را با توجه به عامل بحرانی فسادپذیری ارائه دادند. آنها مسئله خود را به‌صورتVRPTW، با در نظرگرفتن وابستگی مدت زمان سفر به زمان آغاز سفر فرموله کردند، هدف مسئله آنها کمینه کردن مسافت، زمان سفر، هزینه‌های تأخیر سرویس‌دهی و هزینه‌های مرتبط با فاسد شدن کالا است. آنها از یک روش ابتکاری مبتنی بر جستجوی ممنوع برای حل مسئله خود استفاده کردند[۱۰].

۳- فرضیات و تعریف مسئله

شرایطی را در نظر بگیرید که تعداد NC مشتری هر کدام دارای مقدار مشخصی تقاضا DE_{NC} باشند. این تقاضا باید از طریق ND جایگاه پخش رفع شود. کالاهای مورد نیاز از طریق وسایل نقلیه غیرمشابه حاضر در جایگاه‌های پخش به مشتریان تحویل داده می‌شود. QG_{ND} ,NV_{ND} به ترتیب نشان‌گر میزان کالا و تعداد وسایل نقلیه موجود در هر جایگاه پخش است. مسیرهای اختصاص یافته به وسیله نقلیه نباید باعث نقض محدودیت ظرفیت هر وسیله نقلیه وVC بازه زمانی ممکن برای سرویس‌دهی برای هر مشتری DU_{NC} شود. وسایل نقلیه لزوماً به جایگاه پخشی که مسیر خود را از آن آغاز نموده‌اند بازنمی‌گردد، ولی قطعاً پایان مسیر هر وسیله نقلیه یکی از جایگاه‌های پخش است. هدف، تعیین وسایل نقلیه سرویس‌دهنده به هر مشتری و ترتیب سرویس‌دهی به شکلی که هر مشتری فقط یک بار مورد سرویس قرار بگیرد، می‌باشد. همچنین باید محدودیت‌های ذکر شده رعایت گردیده و مجموع زمان مورد نیاز جهت سرویس‌دهی کل مشتریان متناسب با مجموع زمان طی هر یال مورد نیاز t_{ij} کمینه شود. متغیر اصلی مسئله برابر است با:

$$x_{ijkl}^{v}=\begin{cases}1 & \text{اگر مسیر آغاز شونده از } k \text{ و منتهی به } l, \\ & \text{توسط وسیله نقلیه } v \text{ از گره } i \text{ به } j \text{ استفاده کند} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} ,\end{cases}$$

1- Tarantilis
2- Kiranoudis
3- Prindezis
4- Tabu search
5- Chaug
6- Osvald
7- Stirn

روابط ریاضی شامل تابع هدف و محدودیت‌ها عبارتند از:

$$Minimize \sum_{v=1}^{V}\sum_{k=1}^{ND}\sum_{l=1}^{ND}\sum_{i=1}^{NT}\sum_{j=1}^{NT} t_{ij}x_{ijkl}^{v} \quad (۱)$$

$$\sum_{v=1}^{V}\sum_{k=1}^{ND}\sum_{l=1}^{ND}\sum_{i=1}^{NT} x_{ijkl}^{v} = 1 \quad ,\forall j \in NC \quad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{NT} x_{ijkl}^{v} = \sum_{i=1}^{NT} x_{jikl}^{v} ,\forall j \in NC, \forall k,l \in ND, \forall \in V \quad (۳)$$

$$\sum_{j=1}^{NC} x_{kjkl}^{v} = \sum_{i=1}^{NC} x_{ilkl}^{v} ,\forall k,l \in ND, \forall v \in V \quad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{NT} x_{ikkk}^{v} + \sum_{i=1}^{NT} x_{kikk}^{v} \leq 1 \quad ,\forall k \in ND, \forall v \in V \quad (۵)$$

$$u_j - u_i + L\sum_{k=1}^{ND}\sum_{l=1}^{ND}\sum_{v=1}^{V} x_{ijkl}^{v} + (L-2)\sum_{k=1}^{ND}\sum_{l=1}^{ND}\sum_{v=1}^{V} x_{jikl}^{v} \leq L-1 \quad ,\forall i,j \in NC, i \neq j \quad (۶)$$

$$\sum_{v=1}^{V}\sum_{l=1}^{ND}\sum_{i=1}^{NT}\sum_{j=1}^{NC} DE_j x_{ijkl}^{v} \leq QG_k \quad ,\forall k \in ND \quad (۷)$$

$$\sum_{k=1}^{ND}\sum_{l=1}^{ND}\sum_{i=1}^{NT}\sum_{j=1}^{NC} DE_j x_{ijkl}^{v} \leq VC_v \quad ,\forall v \in V \quad (۸)$$

$$t_j = \sum_{k=1}^{ND}\sum_{l=1}^{ND}\sum_{v=1}^{V}\sum_{i=1}^{NT} (t_i + t_{ij}) x_{ijkl}^{v} ,\forall j \in NC \quad (۹)$$

$$t_i = 0 \quad ,\forall i \in ND \quad (۱۰)$$

$$e_i \leq t_i \leq l_i, \forall i \in NC \quad (۱۱)$$

$$\sum_{v=1}^{V}\sum_{l=1}^{ND}\sum_{j=1}^{NC} x_{kjkl}^{v} \leq NV_k ,\forall k \in ND \quad (۱۲)$$

$$d_j = \sum_{k=1}^{ND}\sum_{l=1}^{ND}\sum_{v=1}^{V}\sum_{i=1}^{NT} (sd_i + d_{ij}) x_{ijkl}^{v} ,\forall j \in NC \quad (۱۳)$$

$$sd_i = \begin{cases} 0 , & if i \in ND \\ d_i , & if i \in NC \end{cases} \quad (۱۴)$$

$$dd_j^{v} = \sum_{k=1}^{ND}\sum_{l=1}^{ND}\sum_{i=1}^{NC} (d_i + d_{ij}) x_{ijkl}^{v} ,\forall j \in ND , \forall v \in V \quad (۱۵)$$

$$dd_j^{v} \leq DI_v, \forall j \in ND, \forall v \in V \quad (۱۶)$$

$$x_{ijkl}^{v} \in \{0,1\}, \forall k,l \in ND, \forall i,j \in NC, \forall v \in V \quad (۱۷)$$

تابع هدف مسئله (۱)، زمان کل طی یال‌های مورد نیاز را کمینه می‌کند. محدودیت‌های (۲) این موضوع را تضمین می‌کند که هر مشتری فقط توسط یک وسیله نقلیه سرویس‌دهی می‌شود.

محدودیت‌های (۳) و (۴) یکپارچگی و پیوستگی مسیرهای ایجاد شده را تضمین می‌نماید. محدودیت‌های (۵) از ایجاد مسیری دارای فقط یک مشتری و با محل آغاز و پایان یکسان جلوگیری می‌کند. محدودیت‌های (۶) از ایجاد زیرتور (مسیری بدون جایگاه پخش ابتدایی و انتهایی) جلوگیری می‌کند. محدودیت‌های (۷) و (۸) به ترتیب از عدم تجاوز مجموع تقاضای مشتریانی که از جایگاه پخش i و وسیله نقلیه v استفاده می‌کنند از کالای موجود در آن جایگاه و وسیله نقلیه اطمینان حاصل می‌نماید. محدودیت‌های (۹) تا (۱۱) رعایت زمان سرویس‌دهی به مشتریانرا الزام می‌نمایند. محدودیت‌های (۱۲) از تجاوز تعداد وسایل نقلیه خارج شده از هر جایگاه پخش از تعداد وسایل موجود در آن جایگاه جلوگیری می‌کند. محدودیت‌های (۱۳) تا (۱۶) از رعایت حداکثر برد مسافتی هر وسیله نقلیه اطمینان حاصل می‌نماید. محدودیت‌های (۱۷) نیز نوع متغیرهای مسئله را مشخص می‌سازد.

۴- روش پیشنهادی حل مسئله

چون ابعاد مسئله در دنیای واقعی بزرگ است. بنابراین استفاده از الگوریتم‌های دقیق به علت زمان‌بر بودن تقریباً غیرممکن است. در نتیجه از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده می‌شود.

در این بخش ابتدا روش سیستم کلونی مورچگان (ACO)[1] بیان شده و برای حل این مسئله از الگوریتم پیشنهادی که بر پایه این الگوریتم است، تشریح می‌گردد.

۴-۱- الگوریتم جمعیت مورچگان

دوریگو[2] پس از ایده گرفتن از زندگی جمعیت مورچه‌ها، راه‌حل‌های خوبی در مسائل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار داد و الگوریتم سیستم مورچگان (AS)[3] را ارائه کرد[۱۱]. گروهی از مهم‌ترین مسایلی که به وسیله این روش مورد حل قرار گرفتند، مسائل فروشنده دوره گرد (TSP)، تخصیص[4] و مسیریابی در شبکه‌های ارتباطی از راه دور و گسترش‌های آنها می‌باشند.

در AS وظیفه اصلی هر مورچه مصنوعی مانند همتای طبیعی خود، یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین یک جفت گره در یک گراف است که در آن، مسئله به نحو مناسبی بر آن نگاشته شده است. بنابراین، یک مسئله واقعی مانند TSP (اولین مسئله‌ای که با AS حل شد) به زیرمسئله‌هایی تبدیل می‌شود که در آن مورچه‌های مصنوعی وظیفه دارند که انتخاب گره بعدی را براساس فرومون ریخته شده روی یال و اصل و فاصله تا گره بعدی، انجام دهند.

الگوریتم AS اولین نسخه از الگوریتم ACO، برای این مسئله مورد استفاده قرار گرفت و متأسفانه نتایج خوبی را در مقایسه با سایر الگوریتم‌های فراابتکاری آن زمان تولید نکرد، دانشمندان به تکاپو افتادند که نسخه‌های جدیدتری از این الگوریتم را ایجاد کنند که بتواند در مقایسه با سایر الگوریتم‌های فراابتکاری نتایج بهتری را به دست آورد. تلاش‌ها سبب شد که الگوریتم‌هایی مانند سیستم مورچگان نخبه‌گرا[5](EAS)، سیستم رتبه‌بندی مورچگان[6](RAS) و سیستم مورچگان بیشینه- کمینه[7](MMAS) ارائه شوند که همگی نسخه‌های اصلاح شده از ACO هستندکه در تابع احتمال انتخاب گره بعدی، ریختن و به‌روزکردن فرومون با یکدیگر تفاوت دارند. این اصلاحات سبب شد که نسخه‌های جدید در مقایسه با سایر الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیکو شبیه‌سازی تبرید به یکی از بهترین روش‌ها برای حل مسئله TSP تبدیل شده و کارآیی بیشتری از لحاظ زمان و کیفیت پیدا کنند.

برای نمونه سویا[8] و دبلاس[9] با استفاده از شبکه‌های عصبی و کلونی مورچگان، مسئله‌ای را با در نظر گرفتن محدودیت بازه زمانی سرویس‌دهی بررسی و حل کردند[۱۲].

۴-۲- طراحی الگوریتم پیشنهادی

برای حل مدل مطرح شده از سیستم مورچگان بیشینه- کمینه، استفاده شده است. مزیت اصلی این الگوریتم، سازنده بودن برای ایجاد مسیر و در واقع جوابی که زمان کل را بهینه کند، می‌باشد.

چارچوب کلی الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان بیشینه- کمینه به‌صورت زیر است:

- **اندازه جمعیت**: که برابر است با تعداد مورچگان در هر تکرار
- **نرخ فرومون‌گذاری و تبخیر فرومون**: که نرخ فرومون‌گذاری را برابر (ρ - ۱) و نرخ تبخیر برابر ρ در نظر گرفته می‌شود.

1- Ant Colony System
2- Dorigo
3- Ant System
4- Assignment problem

5- Elite Ant System
6- Rank Ant System
7- Max-Min Ant
8- Sevilla
9- De Blas

- **مکانیزم فرومون گذاری:** براساس فرومون‌گذاری مسیر از لانه تا منبع غذا و بالعکس

- **مکانیزم به‌روزرسانی فرومون:** با در نظرگیری نرخ تبخیر فرومون

$$\tau_{ij}(1-\rho)+\Delta\tau_{ij}{}^{best} \quad \rightarrow \tau_{ij}$$

که τ_{ij} مقدار فرومون موجود در یال (i,j) و $\Delta\tau_{ij}{}^{best}$ مقدار فرومون ریخته‌شده روی یال (i,j) توسط بهترین مورچه در هر تکرار است.

-کران بالا / پایین فرومون در هر یال:

$$[\frac{\tau_{max}}{a},\tau_{max}]$$

$\tau_{max}=\frac{1}{\rho\, C*}$ و $C*$ بهترین جواب یافت شده تاکنون (تا آن تکرار) و ρ نرخ تبخیر است.

- **حالت همسایگی مسئله:** چون این الگوریتم سازنده است، بنابراین گره اول را به‌طور تصادفی انتخاب می‌کند و اولین وسیله نقلیه انتخاب‌شده دارای بیشترین ظرفیت است، سپس در تعریف همسایگی بر اساس میزان فرومون یال‌ها و مسافت بین گره‌ها از روی رابطه $P_{ij}=\frac{{\tau_{ij}}^{A}\times{\eta_{ij}}^{B}}{\Sigma_j {\tau_{ij}}^{A}\times{\eta_{ij}}^{B}}$ مقدار احتمال بزرگ‌تر از صفر هنگامی‌که $j\in {N_i}^{k}$است، برای رفتن گره i به گره j به‌دست می‌آید.

A: میزان اثرگذاری مقدار فرومون موجود بر روی یال (i,j) در محاسبه احتمال

B : میزان اثرگذاری میزان مسافت بین دو گره در محاسبه احتمال

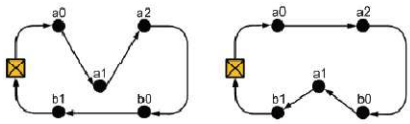
$$\eta_{ij}=\frac{1}{d_{ij}}$$

$d_{ij}=(i,j)$ مسافت بین دو گره تشکیل‌دهنده یال

- **شرایط خاتمه الگوریتم:** الگوریتم بعد از ۵۰۰ تکرار به پایان می‌رسد و بهترین جواب را گزارش می‌کند.

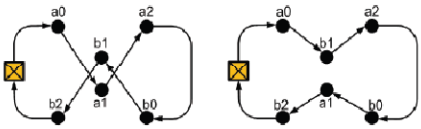
روش‌های جستجوی محلی[1] نیز در الگوریتم به‌صورت زیر است:

الف) جابه‌جایی: در این روش محل قرارگیری یکی از گره‌ها در رشته تشکیل‌دهنده مسیر تغییر می‌کند.



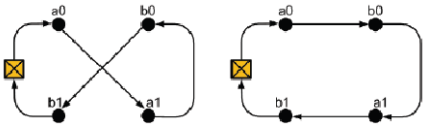
شکل(۱):جابه‌جایی

ب) تعویض: در این روش جای دو گره در رشته تشکیل‌دهنده جواب تغییر می‌کند.



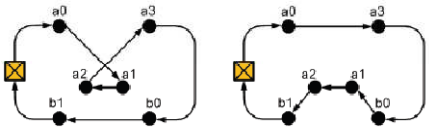
شکل (۲): تعویض

ج)2-Opt: در این روش جای یک گره ابتدایی و یک گره انتهایی دو یال مسیر عوض می‌شود.



شکل(۳): 2-Opt

د)Or-Opt: در این روش جایگاه دو گره به‌صورت هم‌زمان در رشته تشکیل‌دهنده مسیر عوض می‌شود.



شکل(۴): Or-Opt

در کلیه روش‌های فوق وقتی تغییر ایجاد شده (که غالباً به‌صورت تصادفی اعمال می‌شود) مورد پذیرش قرار می‌گیرد که هر یک از تغییرات ذکر شده باعث بهبود مسیر طی شده گردد.

۴-۳- تعیین مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم

برای به‌دست آوردن مقادیر مناسب برای پارامترهای روش حل که به‌طور دستی مشخص می‌گردند، سه طرح نمونه در نظر گرفته و به‌وسیله اطلاعات تصادفی برای هر یک از پارامترهای فوق برای مقادیر ارائه شده در جدول (۱)، ده بار مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

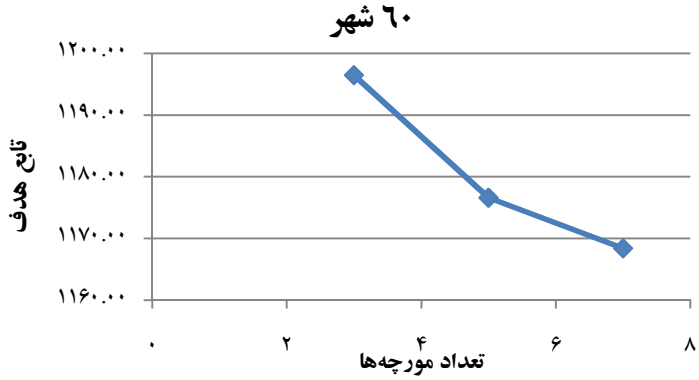
هر کدام از پارامترها به‌صورت جداگانه و با ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها در مقداری خاص مورد بررسی قرار خواهند گرفت. نتایج بررسی نیز به‌صورت نمودارهای مرتبط با تعداد مورچه‌ها، نرخ تبخیر و نسبت $\frac{A}{B}$ نشان داده شده است که برای هر پارامتر یک نمودار مرتبط با یکی از طرح های نمونه رسم شده است.

1- Local search

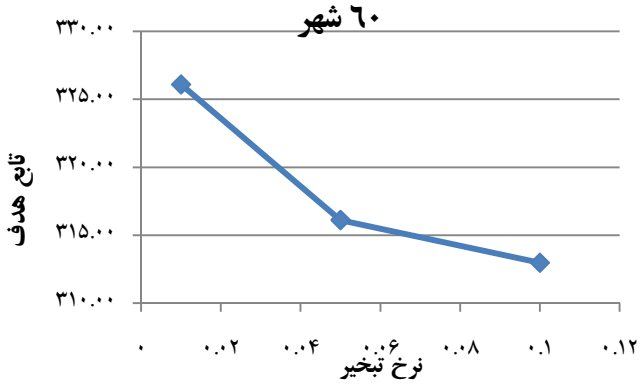
جدول (۱): پارامترهای مورد بررسی

عنوان پارامتر	انواع مقادیر		
	طرح ۱	طرح ۲	طرح ۳
تعداد مورچه‌ها	۳	۵	۷
نرخ تبخیر	۰.۰۱	۰.۰۵	۰.۱
	۴	۱	۰.۲۵

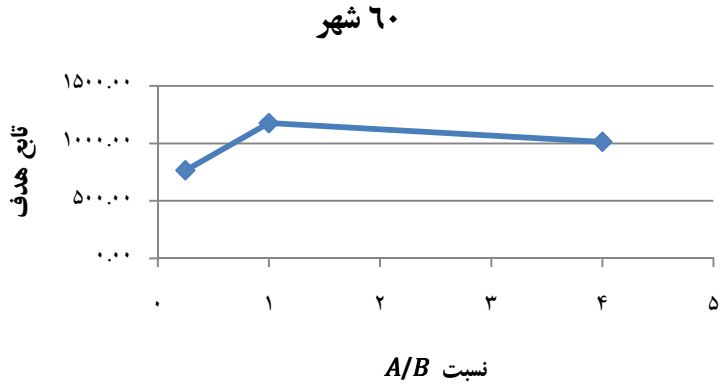
در نتیجه مقادیرمناسب برای پارامترهای حل مسئله توسط الگوریتم با توجه به نمودارهای زیر که برای یک نمونه مسئله دارای ۶۰ شهرآورده شده اند، در جدول (۲) آمده است، این مقادیر پس از انجام آزمایش‌های متعدد بر روی طرح انتخابی به‌دست آمده‌اند.



نمودار (۱): تابع هدف به‌دست آمده براساس مقادیر مختلف تعداد مورچه‌ها



نمودار (۲): تابع هدف به‌دست آمده براساس مقادیر مختلف نرخ تبخیر



نمودار (۳): تابع هدف به‌دست آمده براساس مقادیر مختلف نسبت $\frac{A}{B}$

جدول(۲): اطلاعات مربوط به پارامترهای الگوریتم

تعداد مورچه‌ها	نرخ تبخیر	
۷	۰.۱	۰.۰۲۵

۵- روند اجرای الگوریتم

روند اجرای برنامه پس از دریافت ورودی‌ها به اختصار به‌صورتی است که در ادامه می‌آید:

۱- مقداردهی اولیه پارامترهای الگوریتم
۲- ایجاد ماتریس فواصل با توجه به ورودی‌ها
۳- تا زمان ملاقات، شرط پایان تکرار کن.

۳-۱- به تعدادِ مورچه‌های تعریف شده تکرار کن

۳-۱-۱- تولید یک جواب شامل تابع هدف و ساختار جواب و تعداد شهرهایی که ملاقات نشده‌اند

۳-۱-۱-۱- انتخاب تصادفی یکی از شهرهایی که هنوز مورد ملاقات قرار نگرفته‌اند← آخرین شهر ملاقات شده
۳-۱-۱-۲- انتخاب یکی از وسایل موجود در نزدیک‌ترین جایگاه پخش فعال ← جایگاه پخش آغازین
۳-۱-۱-۳- به‌روزرسانی ساختار جواب و تابع هدف و ماتریس‌های بررسی محدودیت‌های برد، ظرفیت و زمان
۳-۱-۱-۴- تا زمانی که تعداد شهرهای ملاقات نشده بیشتر از صفر است و محدودیت‌های برد، ظرفیت و زمان قابل رعایت است، تکرار کن

۳-۱-۱-۴-۱- محاسبه احتمال سفر به هر یک از شهرهای ملاقات نشده.
۳-۱-۱-۴-۲- اگر مجموع احتمال سفر به تمام شهرهای ملاقات نشده برابر صفر است

۳-۱-۱-۴-۱-۲- نزدیک‌ترین جایگاه پخش را پیدا کن ← جایگاه پخش پایانی
۳-۱-۱-۴-۲-۲- به‌روزرسانی ساختار جواب و تابع هدف و تابع هدف و ماتریس‌های بررسی محدودیت‌های برد، ظرفیت و زمان
۳-۱-۱-۴-۲-۳- محتوی گام‌های ۳-۱-۱-۱ و ۳-۱-۱-۲ را تکرار کن.
۳-۱-۱-۴-۲-۴- به روزرسانی ساختار جواب و تابع هدف و تابع هدف و ماتریس‌های بررسی محدودیت‌های برد، ظرفیت و زمان
۳-۱-۱-۴-۲-۵- محاسبه احتمال سفر به هر یک از شهرهای ملاقات نشده.
۳-۱-۱-۴-۲-۶- اگر مجموع احتمال سفر به تمام شهرهای ملاقات نشده برابر صفر است

۳-۱-۱-۴-۲-۶-۱- بازگشت به گام ۳-۱-۱-۴-۲-۱

۳-۱-۱-۴-۳- انتخاب تصادفی (بر مبنای چرخ رولت) یکی از شهرهای ملاقات نشده← آخرین شهر ملاقات شده
۳-۱-۱-۴-۴- به‌روزرسانی ساختار جواب و تابع هدف و تابع هدف و ماتریس‌های بررسی محدودیت‌های برد، ظرفیت و زمان

۳-۱-۱-۵- اگر تعداد شهرهای ملاقات نشده در جواب به دست‌آمده بزرگ‌تر از صفر است

۳-۱-۱-۵-۱- رفع نشدنی بودن جواب تا جایی که محدودیت‌های برد، ظرفیت و زمان نقض نشوند.

۳-۱-۱-۵-۱-۱- شهرهای مسئله را منطقه‌بندی کن و مناطقی که هر وسیله نقلیه حضور دارد مشخص کن.
۳-۱-۱-۵-۱-۲- برای تمام شهرهای ملاقات نشده به ترتیب نزولی میزان تقاضا (بیشترین تقاضا اول) تکرار کن

۳-۱-۱-۵-۱-۱-۱- امتیاز تمام وسایل نقلیه برای اضافه شدن شهر ملاقات نشده به مسیر هر وسیله نقلیه و محل این امر را براساس نزدیکی نزدیک ترین منطقه طی‌شده توسط هر وسیله نقلیه به منطقه شهر ملاقات نشده، ظرفیت باقیمانده هر وسیله و تقاضای شهر ملاقات نشده و محدودیت زمانی و بردی هر وسیله نقلیه محاسبه کن.
۳-۱-۱-۵-۱-۱-۲- اگر امتیاز پرامتیازترین وسیله بزرگ‌تر از صفر بود، شهر ملاقات نشده را به مسیر آن وسیله نقلیه اضافه کن.
۳-۱-۱-۵-۱-۱-۳- به‌روزرسانی ساختار جواب و تابع هدف و تابع هدف و ماتریس‌های بررسی محدودیت‌های برد، ظرفیت و زمان.
۳-۱-۱-۵-۱-۱-۴- به‌روزرسانی منطقه‌بندی وسایل نقلیه و امتیاز وسایل نقلیه برای سایر شهرهای ملاقات نشده.

۳-۱-۱-۶: اگر کاربر مایل به بهینه‌سازی درون‌مسیری جواب به‌دست آمده است

۳-۱-۱-۶-۱: بهینه‌سازی درون مسیری را بر روی جواب به‌دست آمده انجام بده

۳-۱-۱-۶-۱: به تعداد وسایل نقلیه تکرار کن.

۳-۱-۱-۶-۱-۱: زیر مسیر مربوط به وسیله نقلیه را استخراج کن.

۳-۱-۱-۶-۱-۲: زیرمسیر را با جابه‌جایی ترتیب شهرهای زیرمسیر بهینه‌تر کن.

۳-۱-۲- مقدار تابع هدف را در تعداد شهرهایی که تقاضایشان رفع نشده‌است به علاوه یک ضرب کن ← تابع هدف

۳-۱-۳- اگر اولین مورچه مورد بررسی است یا مقدار تابع هدف کمتر از تابع هدف حلقه است،

تابع هدف←تابع هدف حلقه

ساختار جواب ←ساختار جواب حلقه

۳-۲- اگر اولین تکرار مورد بررسی است یا مقدار تابع هدف حلقه کمتر از بهترین تابع هدف است،

تابع هدف حلقه←بهترین تابع هدف

ساختار جواب حلقه ←بهترین ساختار جواب

۳-۳- به‌روزرسانی ماتریس فرومون

۶- نتایج محاسباتی

برای حل مسئله از رایانه‌ای با پردازنده 2.00 core 2Duo،GHz وحافظه RAM 2.00GB استفاده شده که توسط برنامه MATLAB ورژن۷ کدنویسی شده است. الگوریتم مورد نظر خود را ابتدا برای مثال ایجاد شده اجرا کرده و نتایج مقایسه‌ها در جدول (۲) مشاهده می‌شود.

در بررسی نتایج حاصل از اجرای الگوریتم میانگین تابع هدف و میانگین زمان اجرا برای ۱۰ بار تکرار به‌دست آمده است. در مقایسه بهترین جواب حاصل از الگوریتم با بهترین جواب و محاسبه درصد انحراف در می‌یابیم که الگوریتم مورد استفاده در این مقاله، نتایج مناسبی را در یک زمان کوتاه محاسباتی ایجاد می‌کند.

۷- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

به طور کلی باید توجه داشت که کارآیی روند توزیع کالاهای فاسد شدنی به زمان که مهم‌ترین و بحرانی‌ترین فاکتور تصمیم‌گیری است، بستگی دارد. از همین رو منجر به ایجاد یک مسئله مدیریتی سخت می‌شود. به همین دلیل در این مقاله مسئلهMDVRPTW مناسب برای کالاهای فاسد شدنی را فرموله کرده‌ایم که بر تعیین مسیر تحویل بهینه، ظرفیت بارها و زمان‌های مبدأ وسایل نقلیه با توجه به تعداد وسایل نقلیه موجود جهت تحویل کالاهای فاسد شدنی به مشتریان از چند مرکز پخش با استفاده از الگوریتم مورچگان بیشینه-کمینه تمرکز کرده است. نتایج محاسباتی بیانگر کارآیی بسیار بالای الگوریتم پیشنهادی می‌باشد.

جدول (۳): نتایج محاسباتی مثال‌های ایجاد شده

نام مثال	تعداد گره متقاضی	تعداد وسایل نقلیه	تعداد جایگاه پخش	میانگین تابع هدف	میانگین زمان اجرا(ثانیه)	بهترین جواب	بهترین جواب پیدا شده تاکنون	درصد انحراف
مثال ۱	۹۵	۱۴	۵	۲۰۳۰.۱۷	۱۶۷.۹۶	۲۰۰۸.۵۹	-	-
مثال ۲	۱۵۰	۱۶	۷	۲۶۳۶.۴۲	۱۸۸.۳۸	۲۵۸۶.۷۵	-	-
مثال ۳	۲۰۰	۱۸	۸	۳۴۱۲.۶۳	۲۲۹.۱۰	۳۴۰۳.۱۴	-	-
مثال ۴	۲۵۰	۲۰	۱۰	۴۰۵۲.۲۹	۳۹۷.۴۵	۳۹۹۶.۳۱	-	-
Pr01	۴۸	۴	۴	۱۰۹۸.۱۸	۴۶.۰۷	۱۰۸۷.۶۹	۱۰۸۳.۹۸	۰.۳۴۱
Pr02	۹۶	۴	۴	۱۸۰۱.۷۴	۸۹.۳۱	۱۷۷۲.۷۸	۱۷۶۳.۰۷	۰.۵۴۷
Pr03	۱۴۴	۸	۴	۲۴۸۸.۵۲	۱۴۳.۲۷	۲۴۲۵.۶۴	۲۴۰۸.۴۲	۰.۷۰۹
Pr05	۲۴۰	۱۲	۴	۳۲۱۳.۲۶	۳۲۶.۶۴	۳۱۵۳.۹۸	۳۱۳۴.۰۴	۰.۶۳۲
Pr08	۱۴۴	۶	۶	۲۱۸۶.۸۱	۲۰۱.۳۳	۲۱۶۸.۳۷	۲۱۵۰.۲۲	۰.۸۳۷

این مدل را می‌توان به‌راحتی برای برنامه‌ریزی و مدیریت پخش و توزیع کالاهای فاسدشدنی در نواحی شهری اعمال کرد.

در مطالعات آتی می‌توان هزینه‌های عملیاتی و یا ثابت وسایل نقلیه را به تابع هدف افزود و یا هزینه جریمه‌ای برای خارج شدن از بازه‌های زمانی سرویس‌دهی در نظر گرفت و آن را کمینه کرد و یا عدم قطعیت را برای زمان سفر (به علت وجود ترافیک و غیره) و وابستگی زمان سفر به زمان آغاز سفر را درنظرگرفت.

۸- فهرست علائم

مجموعه مشتریان	NC
مجموعه جایگاه‌های پخش	ND
مجموعه مشتریان و جایگاه‌های پخش	NT
مجموعه وسایل نقلیه	V
کالای موجود در هر جایگاه پخش	QG_{ND}
تعداد وسایل نقلیه موجود در هر جایگاه پخش	NV_{ND}
تقاضای هر مشتری	DE_{NC}
بازه زمانی مطلوب برای سرویس‌دهی به هر مشتری	$DU_{NC} \equiv (e_{NC}, l_{NC})$
آغاز زمان ممکن برای سرویس‌دهی مشتری i	$e_i, i \in NC$
ظرفیت هر وسیله نقلیه	VC_V
پایان زمان ممکن برای سرویس‌دهی مشتری i	$l_i, i \in NC$
برد مسافتی هر وسیله نقلیه	DI_V
زمان طی یال از مشتری i به مشتری j	$t_{ij}, i, j \in NT$
مسافت یال از مشتری i به مشتری j	$d_{ij}, i, j \in NT$
زمان حضور در جایگاه پخش یا محل مشتری i	$t_i, i \in NT$
مسافت طی شده توسط وسیله نقلیه حاضر درمحل مشتری i از زمان شروع سفر	$d_i, i \in NC$
مسافت طی شده توسط وسیله نقلیه حاضر در محل مشتری i از زمان شروع سفر و یا مسافت اولیه طی شده از وسیله نقلیه در جایگاه پخش i	$sd_i, i \in NT$
مسافت طی شده توسط هر وسیله نقلیه در زمان رسیدن به جایگاه پخش i	$dd_i^v, i \in ND, v \in V$
تعداد گره‌های طی‌شده تا زمان رسیدن به مشتری یا جایگاه پخش i	$u_i, i \in NT$
بیشینه گرهی که یک وسیله نقلیه ممکن است طی کند	L

۹- منابع

[1] P. Toth and D. Vigo. "***The Vehicle Routing Problem***". SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications. SIAM, Philadelphia, PA, 2002.

[2] G. B. Dantzig and J. H. Ramser. "***The Truck Dispatching Problem***". Management Science, 6:80-91, 1959.

[3] L. Tansini, M. Urquhart, O. Viera. "***Comparing Assignment Algorithms for the Multi-Depot VRP***". Computers and Operations Research,20(7), 783–791.

[4] B. Crevier, J. F. Cordeau, G. Laporte. "***The multi-depot vehicle routing problem with inter-depot routes***". Eurpean Journal of Operational Research, 176:756-773, 2007.

[5] T. Vidal, T. G. Crainic, M. Gendreau, N. Lahrichi, W. Rei. "***A Hybrid Genetic Algorithm for Multi-Depot and Periodic Vehicle Routing Problem***". Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks, Logistics and Transportation, 2011.

[6] Malandraki, C., &Daskin, M. S.,"***Time dependent vehicle routing problems: Formulations, properties and heuristic algorithms***". TransportationScience, 26(3), 185–199,1992.

[7] Tarantilis, C. D., &Kiranoudis, C. T.,"***A meta-heuristic algorithmfor the efficient distribution of perishable foods***". Journal of FoodEngineering, 50, 1–9,2001.

[8] Prindezis, N., Kiranoudis, C. T.,&Marinos-Kouris, D.,"***A business-to-business fleet management service provider for central food market enterprises***". Journal of Food Engineering, 60(2), 203–210,2003.

[9] Chaug-Ing Hsu, et al.,"***Vehicle routing problem with time-windows for perishable food delivery***". Journal of Food Engineering 80 (2007) 465-475,2007.

[10] Osvald A, Stirn L.,"***A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food***". J Food Eng 85(2):285–295,2008.

[11] Dorigo, M., "***Optimization, Learning and natural algorithms***", Ph.D. Thesis, Dip.Electtronica e Informazion, Politecnico di,1992.

[12] F. Cano Sevilla, C. Simo'n de Blas, "***vehicle routing problem with time windows and intermediate facilities***",in:S.E.I.O_.03 Edicions de la Universitat de Lleida, pp. 3088-3096, 2003.

[13] J.-F. Cordeau, G. Laporte, and A. Mercier."***Improved tabu search algorithm forthe handling of route duration constraints in vehicle routing problems with time windows***". Journal of the Operational Research, 55(5):542_546, May 2004.