

## A Mathematical Model for the Location-Routing Problem of Perishable Food Products Considering the Dependency of Fuel Consumption on the Loading Amount

Hassan Rabiee 

MSc, Department of Industrial Engineering,  
Faculty of Industrial and Mechanical Engineering,  
Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin,  
Iran

Farhad Eatebari 

Assistant Professor, Department of Industrial  
Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical  
Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad  
University, Qazvin, Iran

### Abstract

In this study, a location routing model has been considered for the distribution network of multiple perishable food products in a cold supply chain in which the vehicles can fuel at filling stations. Here, the fuel consumption is supposed to vary depending on the loading amount transported between the nodes using a fleet that uses unusual fuels. The problem has been formulated as an integer linear programming model to reduce the production of Carbon Dioxide. The model was validated using several numerical examples solved in GAMS software. Results show that in this case the fuel consumption in average decreases 14 percent. Due to the problem complexity, genetic simulated annealing algorithms were developed for solving the problems in real size and their performance has been also evaluated.


**Keywords:** Genetic Algorithm, Annealing, Logistic,, Location -Routing Problem, Fuel Consumption.

– Corresponding Author: featebari@gmail.com


**How to Cite:** Rabiee, H., Eatebari, F. (2023). A Mathematical Model for the Location. Routing Problem of Perishable Food Products Considering the Dependency of Fuel Consumption on the Loading Amount, *Journal of Industrial Management Studies*, 20(67), 159. 201.

## ارائه یک مدل ریاضی برای مسئله‌ی مکان‌یابی - مسیریابی مواد غذایی فاسدشدنی با در نظر گرفتن وابستگی مصرف سوخت به میزان بار

کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، دانشکده صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

حسن ربیعی 

استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

فرهاد اعتباری  \*

### چکیده

در این تحقیق یک مدل مکان‌یابی - مسیریابی برای شبکه توزیع محصولات غذایی فاسد شونده چند محصولی در زنجیره تأمین سرد با قابلیت سوخت‌گیری خودروها در جایگاه‌های سوخت‌گیری، مورد مطالعه قرار گرفته است. به نحوی که مسئله با تکیه بر یک مدل تعیین میزان مصارف سوخت به صورت متغیر و وابسته به میزان بار حمل‌شده بین رئوس و لحاظ فسادپذیری محصولات در پروسه توزیع با بهره‌گیری از ناوگان با سوخت‌های مصرفی نامتعارف در جهت کاهش تولید دی‌اکسید کربن، به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح فرمول‌بندی گردیده است. مدل با حل مثال‌های عددی در نرم‌افزار گمز اعتبارسنجی و نتایج نشانگر کاهش متوسط ۱۴ درصدی مصرف سوخت در کنار قابلیت سوخت‌گیری خودروها در طول تورها می‌باشد. به دلیل پیچیدگی مسئله، الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید برای حل مسائل در اندازه‌های واقعی توسعه و کارایی آن‌ها آزمایش گردیده است.

**کلیدواژه‌ها:** الگوریتم ژنتیک، تبرید، لجستیک، مسئله‌ی مکان‌یابی - مسیریابی، مصرف سوخت.

## مقدمه

تأثیرات منفی حمل‌ونقل خودروها بر روی محیط‌زیست به‌واسطه تأثیر آن بر روی زمین و مصرف منابع غیرقابل‌انکار می‌باشد. انتشار گازهای گلخانه‌ای باعث افزایش متوسط دمای جهان شده و این یک پدیده شناخته‌شده در گرم شدن جهانی است (مجمع بین‌المللی تغییرات آب و هوایی، ۲۰۰۷). بر اساس گزارش سازمان بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۰۹، ۲۳ درصد از گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته در سطح جهانی ناشی از حمل‌ونقل بوده که سهم بخش حمل‌ونقل جاده‌ای ۷۴ درصد این میزان گازهای انتشاریافته بوده است (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۱۱). یک بررسی در آمریکا به‌وسیله هربرت داویس در سال ۲۰۰۸ نشان داد که حمل‌ونقل مهم‌ترین عنصر هزینه‌های لجستیک بوده به‌طوری‌که هزینه‌های حمل‌ونقل در قاره اروپا و آمریکا به ترتیب ۴۰ و ۵۰ درصد از ترکیب هزینه‌های کل لجستیک را به خود اختصاص دادند. بر اساس مطالعات صورت گرفته در کشورهای مختلف در حال حاضر ۶ تا ۷ درصد قیمت تمام‌شده کالاها در جهان متأثر از هزینه‌های حمل‌ونقل می‌باشد. یک مطالعه دیگر در سال ۲۰۰۷ به‌وسیله انجمن نظامی و موشکی آمریکا انجام و یافته‌ها نشان دادند که برای اقتصاد تمام اروپا و آمریکای شمالی، لجستیک بین ۸ تا ۱۱ درصد تولید ناخالص داخلی برای هر کشور می‌باشد. برای کشورهای توسعه‌یافته این رنج بالاتر از ۱۲ تا ۲۱ درصد بوده به‌طور مثال برای هند ۱۷ و چین ۲۱ درصد می‌باشد (راشتون و همکاران، ۲۰۱۰). از این‌رو مدیریت کارآمد فعالیت‌های لجستیکی و بهینه‌سازی آن منجر به ارائه خدمات متمایز به مشتریان، سرویس‌دهی سریع و کاهش زمان‌های انتظار، کاهش خسارات، پشتیبانی مشتری و... شده و با توجه به نقش بسیار پررنگ حمل‌ونقل در ایجاد و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی، تأثیرات مخرب و جبران‌ناپذیر آن بر محیط‌زیست، سلامت جانداران و تخریب لایه اوزن، مدنظر قرار دادن مفهوم پایداری و لحاظ محدودیت‌های زیست‌محیطی به‌طور توأم با ضرورت‌های اقتصادی در مسائل مدل‌سازی و بهینه‌سازی شبکه‌های حمل‌ونقل و توزیع، کمک شایانی در حفظ محیط‌زیست و کاهش مخاطرات مرتبط خواهد داشت.

## ۲- مبانی نظری و مروری بر مطالعات گذشته

در این بخش ابتدا به طور مختصر مسائل مسیریابی و مکان‌یابی تشریح شده و سپس مهم‌ترین تحقیقات مرتبط با این پژوهش به طور اجمالی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. مسئله‌ی مسیریابی و مسائل نقلیه، به مجموعه‌ای از مسائل اطلاق می‌گردد که در آن ناوگانی متشکل از چندین وسیله نقلیه از یک انبار (دپو) نسبت به ارائه خدمت به مشتریان مستقر در نقاط مختلف جغرافیایی می‌پردازند. مسئله‌ی مسیریابی و مسائل نقلیه برای نخستین بار در سال ۱۹۵۹ توسط دنتزیگ و رامسر<sup>۱</sup> فرموله گردیده و سپس بر اساس روش‌های ریاضی به حل آن پرداختند. مسئله‌ی مسیریابی و مسائل نقلیه را به علت محدودیت ظرفیت بارگیری برای وسائل نقلیه، گاهاً مسئله‌ی مسیریابی و مسائل نقلیه با ظرفیت محدود<sup>۲</sup> نیز می‌نامند. مسئله‌ی مسیریابی و مسائل نقلیه بر اساس محدودیت‌ها و شرایط خاص آن به انواع مختلفی تقسیم‌بندی می‌شود. به طوری که مسئله‌ی مسیریابی و مسائل نقلیه چند انباره یکی از انواع آن می‌باشد. مسئله‌ی مسیریابی و مسائل نقلیه با انبارهای چندگانه<sup>۳</sup> یکی از انواع توسعه یافته مسئله‌ی مسیریابی و مسائل نقلیه کلاسیک بوده که در آن تعداد انبارها بیش از یکی است. در این مسئله ابتدا مشتریان با استفاده از تکنیک‌های همانند خوشه‌بندی به انبارهای موجود، تخصیص یافته و پس از تخصیص مشتریان به انبارها، مسیرهای حمل بین هر یک از انبارها با مشتریان با حفظ شرایط مسئله‌ی مسیریابی و مسائل نقلیه کلاسیک تعیین می‌گردند. از طرفی مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات نیز یکی از حوزه‌های پژوهشی تحقیق در عملیات است. در یک مدل عمومی مکان‌یابی تسهیلات، مجموعه‌ای از تسهیلات برای برآورده کردن تقاضای مشتریان در یک منطقه‌ی جغرافیایی پراکنده شده‌اند. هدف از توسعه مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات معمولاً پاسخ دادن به این سؤالات است: ۱- از چه تسهیلاتی باید استفاده گردد؟ ۲- هر مشتری از کدام تسهیل باید خدمت بگیرد؟ ۳- میزان تقاضای برآورده شده هر مشتری از هر تسهیل چقدر باشد؟ مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات در راستای پاسخ گویی به سؤالات فوق با اهداف و فرضیات متفاوتی گسترش می‌یابند که باعث به وجود

1. Dantzig and Ramser

2. Capacitated Vehicle Routing Problem

3. Multi. depot Vehicle Routing Problem (MDVRP)

آمدن انواع مختلفی از مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات شده که حوزه‌ی بسیار گسترده‌ای دارند؛ اما سؤالی که مطرح است، این است که رابطه مدل‌های مکان‌یابی با مسائل مسیریابی چیست؟ در جواب باید گفت ارتباط مسائل مکان‌یابی تسهیلات و مسیریابی در بخش طراحی شبکه‌های توزیع و لجستیک است. سؤالاتی که در سطح استراتژیک مهندسی لجستیک و مدیریت عرضه مطرح می‌شوند در رابطه با تعداد و مکان‌های ایجاد انبارهای توزیع، مشتریان تخصیص یافته به هر یک از مراکز توزیع، تعداد و مسیر حرکت خودروها برای تحویل سفارش‌های مشتریان و... می‌باشد. در نظر نگرفتن هم‌زمان هر دو مسئله مکان‌یابی و مسیریابی، سبب افزایش هزینه‌های پشتیبانی زنجیره تأمین خواهد شد. بکتاش و لیپورت<sup>۱</sup> (۲۰۱۱) در مسئله مسیریابی و وسائل نقلیه، آلودگی زیست‌محیطی را لحاظ و مدل پیشنهادی خود را ارائه نمودند. لی یو و یو<sup>۲</sup> (۲۰۱۲) مسئله مسیریابی و وسائل نقلیه چند انباره بر پایه کلونی مورچگان با الگوریتم ژنتیک را ارائه نمودند. اردوغان و هوکس<sup>۳</sup> (۲۰۱۲) یک مسئله مسیریابی و وسائل نقلیه سبز را ارائه نموده و با استفاده از روش‌های حل کلارک و رایت مبتنی بر تراکم الگوریتم خوشه‌بندی و یک روش ابتکاری بهبود یافته، آن را حل نمودند. ژائو و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۲) مدلی برای مسئله مسیریابی و وسائل نقلیه ظرفیت دار ارائه نمودند که در آن هزینه مصرف سوخت نیز علاوه بر سایر هزینه‌ها در جهت بهینه‌سازی هزینه کل و هم‌چنین کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی مدنظر قرار گرفته و مدل با استفاده از دو مثال عددی موجود در ادبیات تست شده و جواب‌های حاصله، نشان‌دهنده مصرف انرژی بسیار متفاوت مسئله مسیریابی و وسائل نقلیه کلاسیک نسبت به مصارف انرژی حالت وابسته به بار بودند. ژنی و چن<sup>۵</sup> (۲۰۱۴) یک مدل بهینه‌سازی برای مسئله مسیریابی و وسائل نقلیه چند محصولی مواد غذایی منجمد شده با زمان تحویل را ارائه و سپس با استفاده از روش فراابتکاری ژنتیک آن را حل نمودند. کوایکی و اشنایدر<sup>۶</sup> (۲۰۱۵) مسئله‌ی

- 
1. Bektas and Laporte
  2. Liu and Yu
  3. Erdogan and Hooks
  4. Xiao et al.
  5. Zhang and Chen
  6. Goeke and Schneider

مسیریابی یک ناوگان وسایل نقلیه مختلط با دو نوع خودرو از لحاظ نوع سوخت مصرفی و در نظر گرفتن میزان مصرف انرژی به صورت تابعی از سرعت، شیب جاده و وزن محموله حمل شده با قابلیت سوخت گیری مجدد فقط برای خودرو الکتریکی را مدل سازی و سپس روش حل ابتکاری جستجوی محلی را برای آن توسعه دادند. کوک و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۶) مسئله مکانیابی - مسیریابی با ناوگان حمل و نقل ناهمگون و پنجره زمانی را ابتدا به صورت یک مسئله برنامه ریزی عدد صحیح مختلط و یک خانواده ای از محدودیت های مرتبط، مدل سازی نموده و پس از آن با توسعه یک الگوریتم قدرتمند جستجوی تکاملی هایبرید نسبت به حل این مسئله اقدام نمودند. بی و مون<sup>۲</sup> (۲۰۱۶) مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند انباره با پنجره زمانی و تشریح زمان تحویل و راه اندازی را برای وسایل نقلیه ناهمگون با هدف کمینه کردن هزینه های کل ارائه نمودند. سانگ و کو<sup>۳</sup> (۲۰۱۶) مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با دو نوع وسیله نقلیه معمولی و یخچالدار را برای مواد غذایی فاسد شونده با هدف بیشینه سازی رضایت مشتریان در حفظ تازگی مواد غذایی معرفی نمودند. شانگو و منی ینگ<sup>۴</sup> (۲۰۱۵) یک مدل ریاضی برای مسئله مسیریابی در حوزه لجستیک زنجیره سرد ترکیب شده با پنجره زمانی را برای راضی کردن مشتریان متعدد و فرض احتمالی بودن تقاضای هر یک از مشتریان توسعه و سپس آن را با الگوریتم ژنتیک حل نمودند. کشین و کاتی<sup>۵</sup> (۲۰۱۶) مسئله مسیریابی وسایل نقلیه الکتریکی با پنجره زمانی را که یک توسعه حاصل از شناخت خوب مسئله کلاسیک مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی می بود، ارائه داشتند و یک الگوریتم جستجوی همسایگی بزرگ انطباقی را برای حل کارای آن توسعه و سازگار کردند. وانگ و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۶) یک مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند هدفه با پنجره زمانی برای توزیع مواد غذایی فاسد شدنی را که اهداف آن کمینه کردن هزینه های کل و ماکزیمم کردن

- 
1. Koc et al.
  2. Bae and Moon
  3. Song and Ko
  4. Xiangguo and Manying
  5. Keshin and Catay
  6. Wang et al.

سطح تازگی محصولات تحویلی به مشتریان بود را ارائه نموده و با یک الگوریتم هیوریستیک دو فازی مبتنی بر جستجوی همسایگی متغیر پارتو- الگوریتم ژنتیک با تشریح فاصله زمانی فضایی آن را حل نمودند. مونتویا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۷) به فرمول بندی مسئله مسیریابی وسیله نقلیه الکتریکی با تابع شارژ غیرخطی پرداختند. شیف فر و والتر<sup>۲</sup> (۲۰۱۷) مسئله مکان‌یابی - مسیریابی الکتریکی با پنجره زمانی و شارژ جزئی را ارائه کردند. آن‌ها یک رویکرد مکان‌یابی- مسیریابی برای تشریح توام مسیریابی خودروهای الکتریکی و تصمیم‌گیری نشست برای جایگاه‌های شارژ بمنظور پشتیبانی تصمیمات استراتژیک ناوگان عملیاتی لجستیک را پیشنهاد دادند. وو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۷) مبادرت به طراحی سیستم توزیع یکپارچه برای خدمات پذیرایی در راه آهن‌های با سرعت بالا با توجه به سه اصل مکان‌یابی، مسیریابی با پنجره زمانی سخت و موعد زمانی در جهت تحویل با کیفیت بالای محصولات غذایی فاسد شدنی در قطارها در زمان مورد نیاز که تحت تأثیر جنبه‌های مختلف برنامه ریزی راه آهن بود، نموده و آن را با یک الگوریتم آنتروپی متقاطع هایبرید حل نمودند. هسیائو و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۷) یک مسئله برنامه ریزی توزیع زنجیره غذایی سرد را با هدف تولید یک برنامه توزیع برای بدست آوردن نیازهای مشتری برای انواع مواد غذایی با سطح کیفیت از پیش تعیین شده در پایین‌ترین هزینه توزیع مدل سازی نموده و برای حل مسئله یک الگوریتم بر اساس سازگاری بهینه‌سازی مبتنی بر بیوگرافی با الگو برداری از الگوریتم ژنتیک توسعه دادند. وانگ و همکاران (۲۰۱۸) در مقاله‌ی تحت عنوان بهینه‌سازی مسئله مکان‌یابی- مسیریابی برای زنجیره لجستیک سرد با توجه به پدیده کربن، به مقوله حفاظت از محیط‌زیست از طریق حداقل کردن کربن با هدف کمینه کردن هزینه‌های کل که شامل هزینه‌های انتشار کربن نیز می‌بود، پرداخته و یک الگوریتم ژنتیک هایبرید با قوانین اکتشافی را نیز جهت حل مدل توسعه دادند. نتایج شبیه‌سازی به دست آمده از یک مثال عملی عددی نشان‌دهنده کاربردی بودن مدل برای

- 
1. Montoya et al.
  2. Schiffer and Walther
  3. Wu et al.
  4. Hsiao et al.

فراهم نمودن طرح‌های توزیع و مکان‌های دوستدار طبیعت و سبز برای شرکت‌های لجستیک زنجیره‌ی سرد می‌بود. در جدول یک مهم‌ترین ویژگی‌های تحقیقات بررسی شده در این بخش به صورت مقایسه‌ای ارائه گردیده است. مروری بر ادبیات موضوع نشان می‌دهد که تاکنون تحقیقات گسترده‌ای بر روی سری مسائل مکان‌یابی و مسیریابی صورت گرفته اما بررسی هم‌زمان حالت چند انبار، استفاده از وسائل نقلیه ناهمگون با سوخت‌های غیر متعارف و نرخ مصارف سوخت متغیر وابسته به بار با قابلیت سوخت‌گیری مجدد تمام نوع خودروها، حالت چند محصولی و فسادپذیری برای زنجیره تأمین سرد به صورت یک مسئله یکپارچه در ادبیات تحقیق وجود ندارد.

جدول ۱. مقایسه‌ی ویژگی‌های تحقیقات بررسی شده در پیشینه تحقیق

ویژگی‌ها و محدودیت‌های اصلی مسئله												نام محققین	
قابلیت سوخت‌گیری مجدد	ظرفیت باک/ باتری	نرخ مصرف سوخت		نوع سوخت مصرفی	تنوع محصول	طول تورها		پنجره زمانی	فسادپذیری		نوع ناوگان		تعداد انبارها
		متغیر	ثابت			مسافت	زمان		تبرید	زوال		همگون	
		✓		✓				✓			✓		بکتاش و لپورت (۲۰۱۱)
						✓		✓			✓		لی یو و یو (۲۰۱۲)
✓	✓		✓	✓			✓	✓			✓		اردوغان و هوکس (۲۰۱۲)
		✓		✓							✓		ژائو و همکاران (۲۰۱۲)
					✓			✓	✓	✓	✓		ژنی و چن (۲۰۱۴)



ویژگی‌ها و محدودیت‌های اصلی مسئله													نام محققین		
قابلیت سوخت‌گیری مجدد	ظرفیت باک/ باتری	نرخ مصرف سوخت		نوع سوخت مصرفی		تنوع محصول	طول تورها		پنجره زمانی	فسادپذیری		نوع ناوگان		تعداد ابزارها	
		متغیر	ثابت	احترافی	الکتریکی		مسافت	زمان		تبرید	زوال	همگون	ناهمگون	چندگانه	تک
✓	✓	✓		✓	✓				✓			✓		✓	کویکی و اشنایدر (۲۰۱۵)
									✓			✓	✓		کوک و همکاران (۲۰۱۶)
								✓	✓			✓	✓		بی و مون (۲۰۱۶)
						✓	✓			✓		✓		✓	سانگ و کو (۲۰۱۶)
								✓	✓	✓	✓			✓	شانگو و منی ینگ (۲۰۱۵)
✓	✓		✓		✓				✓			✓		✓	کشین و کاتی (۲۰۱۶)
									✓		✓	✓		✓	وانگ و همکاران (۲۰۱۶)
✓	✓		✓		✓			✓				✓		✓	مونتویا و همکاران (۲۰۱۷)
✓	✓		✓		✓				✓			✓		✓	شیف فر و والتر (۲۰۱۷)
						✓	✓	✓				✓	✓	✓	وو و همکاران

ویژگی‌ها و محدودیت‌های اصلی مسئله												نام محققین				
قابلیت سوخت‌گیری مجدد	ظرفیت باک/باتری	نرخ مصرف سوخت		نوع سوخت مصرفی		تنوع محصول	طول تورها		پنجره زمانی	فسادپذیری			نوع ناوگان		تعداد انبارها	
		متغیر	ثابت	احترافی	الکتریکی		مسافت	زمان		تبرید	زوال		همگون	ناهمگون	چندگانه	تک
																(۲۰۱۷)
						√			√			√			√	هسیانو و همکاران (۲۰۱۷)
		√		√		√		√	√	√	√			√		وانگ و همکاران (۲۰۱۸)
√	√	√		√	√	√		√	√	√		√		√		تحقیق حاضر

### ۳. تعریف مسئله و بیان مدل ریاضی آن

مسئله‌ی مکان‌یابی- مسیریابی مواد غذایی فاسدشدنی با در نظر گرفتن وابستگی مصرف سوخت به میزان بار، بر روی یک گراف کامل  $G = (V', A)$  به‌طوری‌که  $V'$  مجموعه‌ی تمام رئوس شامل مشتریان، مکان‌های بالقوه انبارها و رئوس مجازی جایگاه‌های سوخت‌گیری (هر جایگاه سوخت‌گیری دارای یک تعداد مشخص و ثابتی  $n_F$  تایی کپی‌های همسان از جایگاه سوخت اصلی با مختصات و شرایط یکسان می‌باشد) بوده و  $A = \{(i, j) | i, j \in V'; i \neq j\}$  مجموعه‌ی از یال‌ها می‌باشد که با لحاظ فرضیات، پارامترها و متغیرهای تصمیم تشریح شده در ادامه تعریف گردیده که علاوه بر ملاحظات اقتصادی و حفظ تازگی مواد غذایی، مدل تلاش می‌نماید تا عامل اثرات مخرب زیست‌محیطی را از طریق به حداقل رساندن مصارف سوخت، وابسته نمودن مصارف سوخت خودروها به مقدار بار حمل‌شده بین گره‌ها و نیز بهره‌گیری بهینه‌ای از ترکیب

ناوگان حمل و نقل برای تحویل سفارش‌های مشتریان، مد نظر قرار دهد.

### ۳-۱- مدل سازی ریاضی

در این بخش ابتدا مفروضات مدل ریاضی پیشنهادی ارائه شده و سپس مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم معرفی و در نهایت مدل ریاضی ارائه گردیده است.

#### ۳-۱-۱- مفروضات مدل

دو نوع وسیله نقلیه با نوع سوخت مصرفی احتراقی و الکتریکی وجود خواهند داشت. موقعیت مکانی مشتریان، جایگاه‌های سوخت‌گیری و مراکز توزیع (انبارها) به صورت گسسته، مشخص و معلوم می‌باشند. تقاضای هر یک از مشتریان معلوم و مشخص می‌باشد. هر یک از مشتریان دارای زمان تحویل سفارش‌های مشخص و از پیش تعیین شده می‌باشند. نرخ مصارف سوخت خودروها متغیر و وابسته به میزان بار حمل شده بین دو گره توسط خودروها می‌باشند. زمان سفر به ازاء هر گره  $i$  به گره  $j$  معلوم و مشخص خواهد بود. زمان ارائه خدمت یا سرویس به هر یک از مشتریان و هم‌چنین مدت زمان سوخت‌گیری در جایگاه‌ها برای هر نوع از وسایل نقلیه مشخص می‌باشد. تحویل سفارشات هر یک از مشتریان فقط با یک خودرو انجام گرفته اما هر خودرو می‌تواند به مشتریان مختلف خدمت‌رسانی نماید. مجموعه مکان‌های بالقوه انبارها معلوم و هر یک دارای ظرفیت و هزینه‌های ایجاد متفاوت خواهند بود. تقاضای هر مشتری در طول مسیر، از ظرفیت هر گروه از خودروها تجاوز نخواهد کرد. خودروها دارای سرعت حرکت مشخص و ثابت خواهند بود. هر خودرو صرفاً یک‌بار مجاز به سوخت‌گیری در جایگاه‌های سوخت خواهد بود. هر گروه از وسایل نقلیه دارای ظرفیت سوخت مشخص و ثابت می‌باشند. در جایگاه‌های سوخت‌گیری مدت زمان انتظار در صف، صفر خواهد بود. هر تور از یکی از انبارهای بازگشایی شده شروع و به همان انبار ختم می‌گردد.

### ۲-۱-۳- مجموعه‌ها

مجموعه‌های تعیین شده مدل به صورت جدول دو ارائه شده است.

جدول ۲. مجموعه‌های مدل

نماد	مجموعه
$I = \{1, 2, \dots, N\}$	مجموعه‌ی رئوس تمام مشتریان
$J = \{1, 2, \dots, M\}$	مجموعه‌ی تمام انبارها
$\gamma = \{1, 2, \dots, L\}$	مجموعه‌ی انواع محصولات غذایی منجمد
$H = \{1, 2, \dots, K\}$	مجموعه‌ی تمام خودروهای یخچال‌دار
$F = \{1, 2, \dots, S\}$	مجموعه‌ی مکان‌های شارژ و سوخت‌گیری خودروها
$F' = \{1, 2, \dots, S + 1, S + 2, \dots, S + S'\}$	مجموعه‌ی رئوس مجازی جایگاه‌های سوخت‌گیری $F$ با $n_F$ کپی همسان از هر جایگاه‌های سوخت که کلاً تعداد آن‌ها برابر $S'$ می‌باشد.
$V = I \cup F'$	مجموعه‌ی مشتریان و رئوس مجازی جایگاه‌های سوخت‌گیری
$V' = V \cup J = J \cup F' \cup I$	مجموعه‌ی مشتریان، رئوس مجازی جایگاه‌های سوخت‌گیری و انبارها (مجموعه‌ی تمام رأس‌ها)
$V'' = F' \cup J$	مجموعه‌ی انبارها و رئوس مجازی جایگاه‌های سوخت‌گیری

### ۳-۱-۳- پارامترها

پارامترهای مدل پیشنهادی تحقیق در جدول سه ارائه گردیده است.

جدول ۳. پارامترهای مدل پیشنهادی

نماد	شرح	نماد	شرح
$EST_i$	زودترین زمان شروع سرویس در رأس $i$	$P_\gamma$	قیمت یک واحد مواد غذایی منجمد نوع $\gamma$ بر حسب دلار
$LST_i$	دیرترین زمان شروع سرویس در رأس $i$	$H_\gamma$	نرخ آسیب مواد غذایی منجمد نوع $\gamma$ در طول زمان سرویس به مشتری
$Q^h$	ظرفیت خودرو $h$ بر حسب کیلوگرم	$\theta_\gamma$	نرخ آسیب بار مواد غذایی نوع $\gamma$ در طول پروسه حمل و نقل
$d_{ij}$	مسافت بین رئوس $i$ و $j$ بر حسب کیلو متر	$q_{\gamma i}$	مقدار سفارش مواد غذایی نوع $\gamma$ توسط مشتری (رأس $i$ )، صفر اگر $i \notin I$ باشد.

نماد	شرح	نماد	شرح
$r_h$	نرخ سوخت‌گیری خودرو $h$ ام بر حسب واحد سوخت در واحد زمان	$\beta$	فرکانس باز و بسته‌شدن درب یخچال خودروها جهت سرویس دهی به مشتری $i$ ام
$s_i$	زمان سرویس در رأس (مشتری) $i$ ام	$B^h$	ظرفیت باک سوخت/باتری خودرو $h$ ام بر حسب واحد سوخت
$t_{ij}$	زمان سفر بین رأس $i$ و $j$	$\rho_0^h$	نرخ مصرف سوخت خودرو $h$ ام در حالت بدون بار بر حسب واحد سوخت بر کیلومتر
$CF_h$	هزینه ثابت به ازاء بکارگیری هر دستگاه خودرو $h$ ام بر حسب دلار	$\rho_h^*$	نرخ مصرف سوخت خودرو $h$ ام در حالت ماکزیم ظرفیت بار، بر حسب واحد سوخت بر کیلومتر
$F_j$	هزینه ثابت ایجاد انبار $j$ ام بر حسب دلار	$\rho_{ij}^h(F_{ij})$	نرخ مصرف سوخت خودرو $h$ ام بین رئوس $i$ و $j$ وابسته به $F_{ij}$ بر حسب واحد سوخت بر کیلومتر
$Q_{wj}$	حداکثر ظرفیت انبار $j$ ام بر حسب کیلوگرم	$f\rho_{ij}^h$	میزان مصرف سوخت خودرو $h$ ام جهت طی مسافت بین رئوس $i$ و $j$ بر حسب واحد سوخت
$O_\gamma$	وزن یک واحد مواد غذایی منجمد نوع $\gamma$ بر حسب کیلوگرم	$C^h$	هزینه یک واحد سوخت خودرو نوع $h$ ام بر حسب دلار
$Q^h$	ظرفیت خودرو $h$ ام بر حسب کیلوگرم	$\omega$	ضریب استهلاک یخچال خودروها
$M$	عدد مثبت خیلی بزرگ	$\epsilon$	ضریب هدایت گرمایی (دمایی) بدنه یخچال خودروها
$\sum S_n$	مجموع سطوح خارجی یخچال خودروها بر حسب متر مربع	$\Delta T$	اختلاف دمای بین بیرون و داخل یخچال خودروها بر حسب درجه سانتیگراد
$\Gamma_\tau$	بار حرارتی مربوط به تفاوت درجه حرارت بین بیرون و داخل یخچال	$\sum S_w$	مجموع سطوح داخلی یخچال خودروها بر حسب مترمربع
		$\Gamma_\sigma$	بار حرارتی خودرو در طول زمان بارگیری و تخلیه

### ۳-۱-۴- متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم مدل به صورت جدول چهار ارائه شده است.

جدول ۴. متغیرهای تصمیم مدل پیشنهادی

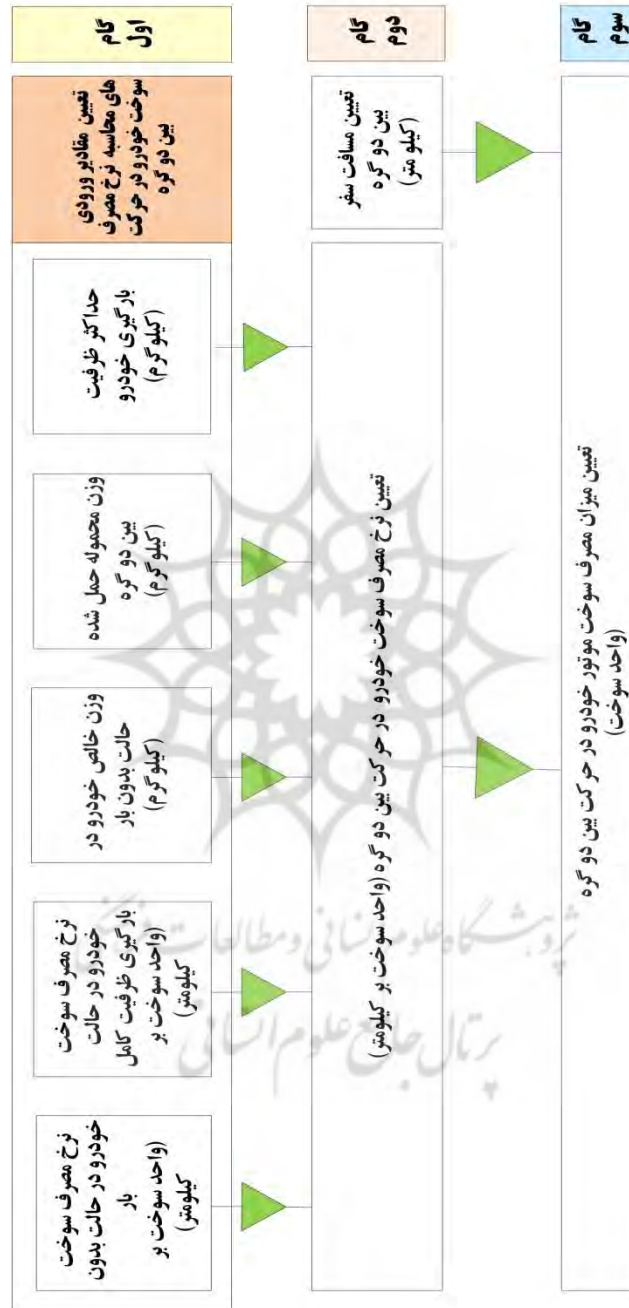
نماد	شرح
$\tau_j^h$	زمان ورود خودرو $h$ ام به رأس $j$ ام
$F_{ij}$	مقدار بار یا میزان محموله حمل شده بین دو بال $i$ و $j$ برحسب کیلوگرم
$y'_{jh}$	میزان ظرفیت باقیمانده باک سوخت/باتری خودرو $h$ ام در زمان ورود به رأس $j$ ام
$y''_{jh}$	میزان ظرفیت باقیمانده باک سوخت/باتری خودرو $h$ ام در زمان ورود به جایگاه سوخت گیری $j$ ام
$X_{ijh}$	اگر از رأس $i$ به رأس $j$ به وسیله خودرو $h$ ام جابجایی انجام گیرد، برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر خواهد بود.
$W_{ij}$	اگر مشتری $i$ ام به انبار $j$ ام تخصیص یابد، برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر خواهد بود.
$g_j$	اگر انبار $j$ ام بکار گرفته شود، برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر خواهد بود.
$X'_{ijh}$	متغیر تصمیم باینری کمکی برای خطی سازی محدودیت‌ها

### ۳-۱-۵- مدل برآورد مصرف سوخت

هزینه‌های مصرف سوخت همواره بخش زیادی از هزینه‌های حمل‌ونقل را به خود اختصاص داده و علاوه بر آن مصارف سوخت منجر به تشدید و تولید گازهای گلخانه‌ای و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی و تأثیر نامطلوب بر اکوسیستم خواهد گردید. از این رو امروزه توجه به برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی فعالیت‌های لجستیکی با استفاده از مدل‌های ریاضی به یک ضرورت تبدیل گردیده است. در ادامه نحوه محاسبات و تعیین نرخ و میزان مصارف سوخت بکار گرفته شده برای موتور خودروها جهت جابجایی بین دو گره تشریح خواهد گردید.

### ۳-۱-۵-۱- مدل محاسبه مصارف سوخت خودروها جهت جابجایی

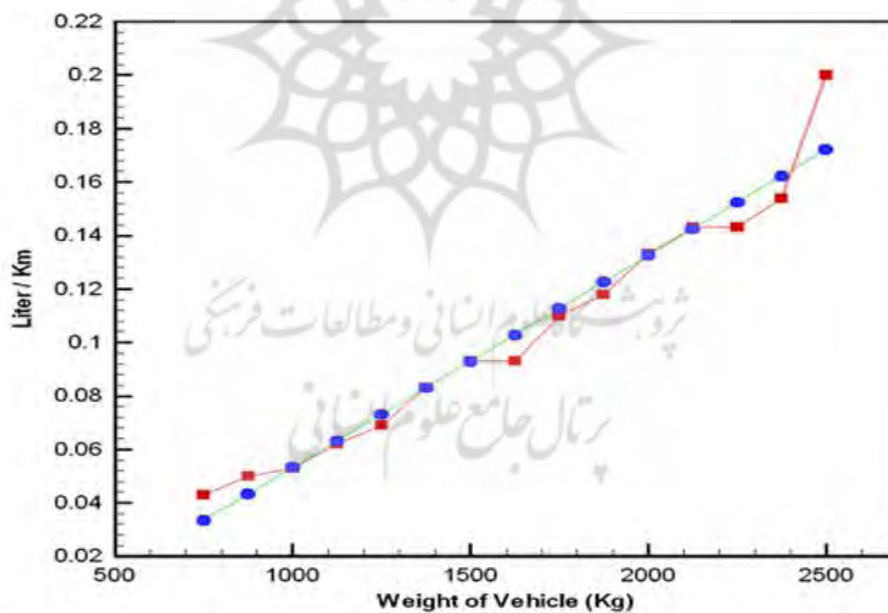
جهت محاسبه مصارف سوخت موردنیاز موتور خودرو جهت پیشروی و حرکت بین رئوس از مدل شکل یک استفاده می‌گردد.



شکل ۱. مدل محاسبه نرخ و میزان مصرف سوخت موتور خودرو

### ۳-۱-۵-۲- فرمولاسیون نرخ مصرف سوخت موتور خودرو

اگرچه میزان مصرف سوخت تا حد زیادی بر اساس مسافت پیمایش شده، تعیین می‌گردد ولی پارامترهای دیگری هم چون میزان بار حمل‌شده نیز بر روی هزینه‌های مصارف سوخت مؤثر می‌باشند. مطابق با گزارش منتشرشده توسط وزارت سازمان راه، حمل‌ونقل و توریسم ژاپن، مسافت سفر و هر واحد سوخت استفاده‌شده بر اساس شکل دو، ارتباط و همبستگی قوی با افزایش و رشد وزن خودرو دارد. به‌نحوی که در این شکل خط قرمز (با نشانگر چهارگوش) نمایانگر نرخ مصرف سوخت واقعی متناسب با افزایش وزن خودرو حاصل از داده‌های آماری و خط آبی (با نشانگر دایره) رگرسیون خطی حاصل از این داده‌ها بوده که به‌صورت  $Y = 0.0000793X - 0.026$  فرموله شده و از آنجائی که شاخص میزان تطبیق پیش‌بینی با مقادیر داده‌های واقعی<sup>۱</sup> برابر با ۰/۹۵۸ است، تابع رگرسیون با خط آبی می‌تواند مؤید ارتباط عمومی بین نرخ مصرف سوخت و افزایش وزن خودرو باشد.



شکل ۲. نرخ مصرف سوخت بر اساس وزن ناخالص خودرو



با تعمیم این موضوع و تقسیم وزن ناخالص خودرو به دو بخش شامل: وزن بدون بار ( $m_c$ ) و مقدار وزن بارگیری شده ( $m_u$ )، می‌توان فرمول نرخ مصرف سوخت را برحسب واحد سوخت بر کیلومتر به عنوان یک تابع خطی وابسته به میزان وزن محموله بارگیری شده ( $\rho(m_u)$ ) به صورت تقریبی مطابق با فرمول یک ارائه نمود.؛ کهر آن  $Y$  ضریب زوایه و  $b$  عرض از مبدا تابع رگرسیون مربوط به تعیین نرخ مصرف سوخت خودرو خواهند بود.

$$\rho(m_u) = Y(m_c - m_u) + b \quad (1)$$

حال اگر حداکثر ظرفیت تعیین شده برای خودرو (ماکزیمم وزن قابل بارگیری) به عنوان  $Q$ ، نرخ مصرف سوخت در ماکزیمم ظرفیت  $\rho^*$  و نرخ مصرف سوخت در حالت بدون بار  $\rho_0$  باشد، آنگاه بر اساس فرمول یک، مقادیر  $\rho_0$  و  $\rho^*$  مطابق روابط دو و سه به دست خواهد آمد.

$$\rho_0 = Y \cdot m_c + b \quad (2)$$

$$\rho^* = Y(m_c - Q) + b \quad (3)$$

از این رو  $Y$  مطابق رابطه چهار حاصل گردید.

$$= \frac{\rho^* - \rho_0}{Q} \quad (4)$$

هم چنین به طور مشابه برای  $\rho(m_u)$  می‌توان رابطه پنج را نوشت.

$$\rho(m_u) = \rho_0 + \frac{\rho^* - \rho_0}{Q} m_u \quad (5)$$

حال با توجه به روابط چهار و پنج، نرخ مصرف (برحسب واحد سوخت بر کیلومتر) و میزان سوخت مصرفی (برحسب واحد سوخت) برای جابجایی محموله‌ای به وزن  $F_{ij}$  در حرکت از یال  $i$  به  $j$ ، به صورت روابط شش و هفت تخمین زده می‌شود.

$$\rho_{ij}(F_{ij}) = \text{Max} \left[ \rho_0 + \frac{\rho^* - \rho_0}{Q} (F_{ij}), 0 \right] \quad (6)$$

$$fp_{ij}^h = d_{ij} * \rho_{ij}^h(F_{ij}) \quad (7)$$

### ۳-۳-۶- مدل سازی ریاضی

در این بخش با استفاده از فرضیات، مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم تعریف شده در بخش ۳-۳-۱ الی ۳-۳-۵ مدل ریاضی مسئله ارائه شده است.

### ۳-۳-۶-۱- معرفی تابع هدف (تجزیه و تحلیل هزینه‌های توزیع)

در این مدل تابع هدف مجموع هزینه‌های عمده خرابی در پروسه توزیع که خود شامل دو بخش A- هزینه خرابی ناشی از انباشته شدن مواد غذایی بر روی هم در طول زمان حمل و B- هزینه آسیب ناشی از توقف خودرو در زمان تحویل سفارش‌های مشتریان، هزینه‌های ایجاد انبارها، هزینه‌های ثابت به کارگیری خودروها، هزینه‌های حمل و نقل و هزینه‌های تبرید یخچال خودروها را کمینه می‌کند. هزینه‌های تبرید برای نگهداری مواد غذایی در یخچال جهت جلوگیری از فساد، عمدتاً وابسته به دو جنبه ۱- انتقال حرارت داخل و خارج یخچال و فریزر ناشی از تفاوت دمایی در طول زمان حمل و نقل و ۲- تبادل گرما به دلیل همرفت هوا در طول مدت زمان بارگیری و تخلیه می‌باشد. هزینه‌های سیستم سرمایش خودروها را می‌توان با محاسبه مصرف انرژی برای تبرید به دست آورد.

۱- بار حرارتی با توجه به تفاوت در درجه حرارت بین بیرون و داخل یخچال، می‌تواند با استفاده از رابطه هشت حاصل شود.

$$\Gamma_{\tau} = (1 + \alpha) * \varepsilon * \sqrt{\sum S_w \sum S_n * \Delta T} \quad (8)$$

۲- بار حرارتی خودرو در طول زمان بارگیری/تخلیه می‌تواند با استفاده از رابطه نه حاصل شود.

$$\Gamma_{\sigma} = (0.54L_v + 3.22) * \Delta T * \beta \quad (9)$$

که در آن  $\beta$  وابسته به فرکانس باز شدن درب یخچال بوده و ارزش آن از طریق جدول پنج حاصل خواهد شد (ژنی و چن، ۲۰۱۴).

جدول ۵. مرجع ارتباط بین  $\beta$  و فرکانس باز شدن درب یخچال

درجه / رتبه	فرکانس باز شدن درب یخچال	$\beta$
A	بسته شده	۰/۲۵
B	نصف C	۰/۵
C	۲ تا ۳ بار در هر ساعت	۱
D	بیش از ۵۰٪ C	۱/۵
E	دو برابر C	۲

بنابراین تابع هدف مسئله مطابق رابطه ۱۰ تعریف خواهد شد.

$$\begin{aligned}
 \text{Min}Z = & \sum_{i \in V'} \sum_{j \in V'} \sum_{h \in H} \sum_{\gamma} \theta_{\gamma} * t_{ij} * q_{\gamma i} * P_{\gamma} * X_{ijh} \quad (10) \\
 & + \sum_{i \in V'} \sum_{j \in I} \sum_{h \in H} \sum_{\gamma} \mu_{\gamma} * S(j) * q_{\gamma j} * P_{\gamma} * X_{ijh} \\
 & + \sum_{j \in J} F_j * g_j + \sum_{h \in H} \sum_{i \in I} \sum_{j \in V} CF_h * X_{ijh} \\
 & + \sum_{i \in V'} \sum_{j \in V'} \sum_{h \in H} C^h \\
 & * \left( \rho_0^h * X_{ijh} + \frac{\rho_h^* - \rho_0^h}{Q^h} (F_{ij}) \right) * d_{ij} \\
 & + \sum_{i \in V'} \sum_{j \in V'} \sum_{h \in H} (1 + \omega) * \varepsilon * \sqrt{\sum S_w \sum S_n} * \Delta T \\
 & * t_{ij} * CR^h * X_{ijh} \\
 & + \sum_{i \in V'} \sum_{j \in I} \sum_{h \in H} (0.54L_v + 3.22) * \Delta T * \beta * s_j \\
 & * CR^h * X_{ijh}
 \end{aligned}$$

۳-۳-۶-۲- معرفی محدودیت‌های مسئله

$$\sum_{h \in H} \sum_{j \in V'} X_{ijh} = 1 \quad \forall i \in I \quad (11)$$

$$\sum_{h \in H} \sum_{j \in V'} X_{ijh} \leq 1 \quad \forall i \in F' \quad (12)$$

$$\sum_{j \in V'} F_{ji} - \sum_{j \in V'} F_{ij} = \sum_{\gamma} q_{i\gamma} * O_{\gamma} \quad \forall i \in V \quad (13)$$

$$\sum_{j \in V'} X_{ijh} = \sum_{j \in V'} X_{jih} \quad \forall i \in V', h \in H \quad (14)$$

$$F_{ij} \leq \sum_{h \in H} Q^h * X_{ijh} \quad \forall i \in J, j \in V' \quad (15)$$

$$\sum_{j \in V} F_{kj} = \sum_{j \in V} \sum_{\gamma} W_{jk} * q_{j\gamma} * O_{\gamma} \quad \forall k \in J \quad (16)$$

$$\sum_{j \in V} F_{jk} = 0 \quad \forall k \in J \quad (17)$$

$$F_{ij} \leq \sum_{h \in H} (Q^h - \sum_{\gamma} q_{i\gamma} * O_{\gamma}) * X_{ijh} \quad \forall i \in V, j \in V' \quad (18)$$

$$F_{ij} \geq \sum_{\gamma} q_{j\gamma} * O_{\gamma} * \sum_{h \in H} X_{ijh} \quad \forall i \in V', j \in V \quad (19)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{\gamma} q_{i\gamma} * O_{\gamma} * W_{ik} \leq Q_{wk} * g_k \quad \forall k \in J \quad (20)$$

$$\sum_{k \in J} W_{ik} = 1 \quad \forall i \in I \quad (21)$$

$$\sum_{k \in J} \sum_{i \in I} X_{kih} = 1 \quad \forall h \in H \quad (22)$$

$$\sum_{h \in H} X_{ikh} \leq W_{ik} \quad \forall k \in J, i \in I \quad (23)$$

$$\sum_{h \in H} X_{kih} \leq W_{ik} \quad \forall k \in J, i \in I \quad (24)$$

$$\sum_{h \in H} X_{ijh} + W_{ik} + \sum_{m \in J, m \neq k} W_{jm} \leq 2 \quad \forall k \in J, (i, j) \in I, i \neq j \quad (25)$$

$$\left( \rho_0^h * X_{ijh} + \frac{\rho_h^* - \rho_0^h}{Q^h} (F_{ij}) \right) * d_{ij} - (1 - X_{ijh}) B^h \quad (26)$$

$$\leq y'_{ih} - y'_{jh}$$

$$\leq \left( \rho_0^h * X_{ijh} + \frac{\rho_h^* - \rho_0^h}{Q^h} (F_{ij}) \right) * d_{ij}$$

$$+ (1 - X_{ijh}) B^h$$

$$\forall i \in V', h \in H, j \in I$$

$$\begin{aligned} & \left( \rho_0^h * X_{ijh} + \frac{\rho_h^* - \rho_0^h}{Q^h} (F_{ij}) \right) * d_{ij} - (1 - X_{ijh})B^h & (27) \\ & \leq y'_{ih} - y''_{jh} \\ & \leq \left( \rho_0^h * X_{ijh} + \frac{\rho_h^* - \rho_0^h}{Q^h} (F_{ij}) \right) * d_{ij} \\ & \quad + (1 - X_{ijh})B^h \end{aligned}$$

$$\forall i \in V', h \in H, j \in F'$$

$$y'_{ih} \geq \left( \rho_0^h * X_{ijh} + \frac{\rho_h^* - \rho_0^h}{Q^h} (F_{ij}) \right) * d_{ij} \quad \forall i \in V, h \in H, j \in J \quad (28)$$

$$y'_{ih} = B^h \quad \forall h \in H, i \in V'' \quad (29)$$

$$B^h - \left( \rho_0^h * X_{ijh} + \frac{\rho_h^* - \rho_0^h}{Q^h} (F_{ij}) \right) * d_{ij} \geq y'_{jh} \quad \forall i \in V'', h \quad (30)$$

$$i \in H, j \in V'$$

$$EST_i \leq \tau^h_i + s_i \leq LST_i \quad \forall i \in I, h \in H \quad (31)$$

$$\tau^h_i + (s_i + t_{ij}) * X_{ijh} - \tau^h_j \leq M(1 - X_{ijh}) \quad \forall i \in I, j \in V', h \in H \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \tau^h_j & \geq \tau^h_i + t_{ij} * X_{ijh} + r_h (B^h - y''_{ih}) X_{ijh} & (33) \\ & \quad - (M + r_h * B^h)(1 - X_{ijh}) \end{aligned}$$

$$\forall i \in F', \forall j \in V', h \in H$$

$$\sum_{i \in V'} \sum_{j \in F'} X_{ijh} \leq 1 \quad \forall h \in H \quad (34)$$

$$X_{ijh} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V', h \in H, i \neq j \quad (35)$$

$$w_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V', i \neq j \quad (36)$$

$$X'_{ijh} \in \{0,1\} \quad \forall i \in F', \forall j \in V', h \in H, i \neq j \quad (37)$$

$$g_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (38)$$

$$\tau^h_j > 0 \quad \forall h \in H, j \in V' \quad (39)$$

$$y'_{jh} > 0 \quad \forall h \in H, j \in V' \quad (40)$$

$$y''_{jh} > 0 \quad \forall h \in H, j \in V' \quad (41)$$

در این مدل محدودیت (۱۱) نشان می‌دهد که هر مشتری دقیقاً به یک مسیر تعلق داشته و صرفاً یک‌بار ملاقات می‌شود. محدودیت (۱۲) تضمین می‌کند که ملاقات هر محل سوخت‌گیری استفاده‌شده، صرفاً یک‌بار انجام گرفته است. محدودیت (۱۳) نشانگر این است که تقاضای هر مشتری برآورده می‌گردد. محدودیت (۱۴) نشان می‌دهد که تعداد

ورود به هر رأس، برابر تعداد خروج از آن رأس می‌باشد. محدودیت (۱۵) بدین معناست که کل کالای بارگیری شده در هر یالی، نباید بیشتر از ظرفیت خودروی باشد که در آن یال حرکت می‌کند. محدودیت (۱۶) نشانگر ظرفیت هر یک از انبارهاست و اطمینان می‌دهد که بار دپو شده در هر انبار، برابر کل تقاضای مشتریان تخصیص یافته به آن انبار می‌باشد. محدودیت (۱۷) میزان بار باقی مانده در خودرو در هنگام برگشت به انبار، مساوی صفر می‌باشد. محدودیت (۱۸) و (۱۹) ظرفیت خودروهاست. محدودیت (۲۰) تضمین می‌کند که کل تقاضای تأمین شده توسط انبارها، از ظرفیت هر انبار تجاوز نمی‌کند. محدودیت (۲۱) و (۲۲) اطمینان می‌دهد که هر مشتری تنها به یک انبار و یک وسیله نقلیه تخصیص داده شوند. محدودیت‌های (۲۳)، (۲۴) و (۲۵) مربوط به حذف زیر تورهاست. محدودیت (۲۶)، (۲۷) و (۲۸) نشانگر شروطی برای پیدا کردن مبنای برای سطح سوخت و سائل نقلیه در رئوس پی‌درپی می‌باشد. محدودیت (۲۹) محدود کردن سطح شارژ باتری (باک سوخت) درست به اندازه ماکزیمم ظرفیت آن در جایگاه‌های سوخت‌گیری و انبارها می‌باشد. محدودیت (۳۰) مجموعه سطح باتری (باک سوخت) برابر است با ماکزیمم ظرفیت باتری (باک سوخت) کاهش یافته به واسطه نیازمندی انرژی در یال مربوطه. محدودیت (۳۱)، (۳۲) و (۳۳) تضمین می‌کنند که پنجره زمانی مشتریان نقض نگردد. محدودیت (۳۴) مربوط به ملاقات جایگاه‌های سوخت توسط خودورهاست به طوری که هر خودرو صرفاً مجاز به یک بار سوخت‌گیری است. محدودیت (۳۵)، (۳۶)، (۳۷)، (۳۸)، (۳۹)، (۴۰) و (۴۱) محدودیت‌های متغیرهای تصمیم بوده و نوع متغیرهای تصمیم را تعیین می‌کنند.

### ۳-۳-۶-۵- خطی سازی مدل ریاضی مسئله

مدل ریاضی عدد صحیح مختلط ارائه شده برای این پژوهش در قالب روابط (۱۰) الی (۴۱) معتبر می‌باشد؛ اما با کمی تأمل در محدودیت (۳۳)، در خواهیم یافت این محدودیت به لحاظ ضرب دو متغیر تصمیم  $X_{ijh}$  و  $Y''_{ih}$  در هم، از نوع غیرخطی بوده و مدل را غیرخطی

نموده است. به منظور خطی سازی مدل، محدودیت (۳۳) تبدیل به چند محدودیت جدید (محدودیت‌های (۴۲)، (۴۳)، (۴۴) و (۴۵)) گشته و کافی است این محدودیت‌ها، با محدودیت (۳۳) در مدل قبلی جایگزین گردند.

$$y''_{ih} - X'_{ijh} \leq M - M * X_{ijh} \quad \forall i \in F', \forall j \in V', h \in H \quad (42)$$

$$X'_{ijh} \leq y''_{ih} \quad \forall i \in F', \forall j \in V', h \in H \quad (43)$$

$$X'_{ijh} \leq M * X_{ijh} \quad \forall i \in F', \forall j \in V', h \in H \quad (44)$$

$$\tau^h_j \geq \tau^h_i + t_{ij} * X_{ijh} + r_h * B^h * X_{ijh} - r_h X'_{ijh} - (M + r_h * B^h) \quad \forall i \in F', \forall j \in V', h \in H \quad (45)$$

#### ۴- رویکردهای حل پیشنهادی

در ادبیات مسئله مکان‌یابی - مسیریابی کلاسیک، جزء مسائل سخت به شمار می‌آید و یافتن جواب بهینه در این حوزه حتی در ابعاد نسبتاً کوچک نیز دشوار و برای مسائل بزرگ با استفاده از روش‌های دقیق سخت و تقریباً ناممکن است (گری و جانسون<sup>۱</sup>، ۱۹۷۹). به همین دلیل در بیشتر تحقیقات انجام گرفته برای حل این نوع مسائل به توسعه روش‌های ابتکاری و فراابتکاری پرداخته شده است. در ادامه ابتدا الگوریتم‌های فراابتکاری مورد استفاده در این تحقیق یعنی الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید به‌طور مختصر تشریح شده و سپس کارایی این الگوریتم‌ها برای حل مدل ریاضی معرفی شده مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت.

#### ۴-۱- الگوریتم ژنتیک<sup>۲</sup>

الگوریتم ژنتیک یک تکنیک جستجو در علم رایانه برای یافتن راه‌حل بهینه برای مسائل بهینه‌سازی پیچیده است. این الگوریتم یکی از انواع الگوریتم‌های تکاملی است که از علم زیست‌شناسی مانند وراثت، جهش<sup>۳</sup>، انتخاب ناگهانی، انتخاب طبیعی و ترکیب الهام گرفته است. الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل گسسته و غیرخطی بسیار کارا تر می‌باشد (زندیه و

---

1. Garey and Johnson  
2. Genetic Algorithm(GA)  
3. Mutation

عالم تبریز، ۲۰۰۸).

#### ۴-۱-۱- نمایش جواب

#### ۴-۱-۱-۱- کدگذاری کروموزومها و روش نمایش جواب

نمایش جواب این مدل از پنج بخش تشکیل شده است که به ترتیب در ادامه همگی بخش‌های آن بیان می‌شوند.

#### ۴-۱-۱-۱-۱- انبارها

بخش اول نمایش جواب به صورت ماتریسی به ابعاد  $1 * J$  بوده که درایه‌های آن اعداد صفر و یک می‌باشند. عدد یک نشان‌دهنده‌ی این است که انبار احداث می‌شود و عدد ۰ نشان‌دهنده‌ی این است که انبار احداث نمی‌شود. به طور مثال فرض کنید  $J=3$  باشد، لذا این ماتریس به صورت تصادفی به صورت شکل سه تولید شده و در کروموزوم فوق انبارهای ۲ و ۳ احداث شده است.

شکل ۳. کروموزوم با تعداد ژن‌ها که تعیین‌کننده تعداد انبارهاست.

انبار	$J_1$	$J_2$	$J_3$
X1	۰	۱	۱

#### ۴-۱-۱-۱-۲- تخصیص مشتری‌ها به انبارها

بخش دوم نمایش جواب، تخصیص مشتری‌ها به هر یک از انبارها را نشان می‌دهد. این کروموزوم یک ماتریس  $1 * N$  می‌باشد و درایه‌های آن با اعداد صحیح پر می‌شود و نشان‌دهنده‌ی این است که هر مشتری به کدام انبار تخصیص داده می‌شود. به طور مثال فرض کنید تعداد مشتری‌ها برابر با ۶ بوده و انبارهای ۲ و ۳ نیز احداث شده باشند. آنگاه نمایش جواب تخصیص مشتری‌ها به انبارها به صورت شکل چهار خواهد بود.



مشتری	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
X2	۲	۳	۳	۲	۲	۳

شکل ۴. کروموزوم با تعداد ژن‌ها که تعیین‌کننده نحوه تخصیص مشتری‌ها به انبارهاست. ۴-۱-

### ۱-۱-۳- تورها (توالی ملاقات مشتریان)

بخش سوم نمایش جواب نشان‌دهنده توالی ملاقات مشتریان می‌باشد. این ماتریس دارای ابعاد  $1*N$  می‌باشد و درایه‌های آن با توالی نامرتب اعداد بین ۱ و  $N$  پر شده است. به‌عنوان مثال این ماتریس مطابق شکل پنج تولید می‌شود.

<b>X3</b>	۱	۳	۲	۶	۵	۴
-----------	---	---	---	---	---	---

شکل ۵. کروموزوم با تعداد ژن‌ها که تعیین‌کننده توالی ملاقات مشتریان با خودروهاست.

بر اساس این بخش از نمایش جواب تعیین می‌شود که ترتیب ملاقات مشتری‌هایی که به یک انبار تخصیص پیدا کرده‌اند، به چه صورت می‌باشد. به‌عنوان مثال، در بالا و بر اساس ماتریس X2 (شکل ۴) تعیین شد که مشتری‌های ۱ و ۴ و ۵ به انبار ۲ تخصیص پیدا کرده‌اند. لذا بر اساس ماتریس X3 تعیین می‌شود که ترتیب ملاقات این مشتری‌ها توسط وسیله نقلیه به صورت ۱-۵-۴ می‌باشد.

### ۴-۱-۱-۱-۱-۴- وسائل نقلیه

بخش چهارم نمایش جواب ترتیب تخصیص وسائل نقلیه به انبارها را نشان می‌دهد. این ماتریس یک ماتریس با ابعاد  $1*H$  می‌باشد که کروموزوم آن مطابق شکل شش خواهد بود. فرض کنید  $H$  برابر با ۲ باشد، این ماتریس به صورت زیر تولید می‌شود. بر اساس ماتریس بالا، هنگام مسیریابی ابتدا مشتری‌ها به وسیله نقلیه ۲ تخصیص پیدا می‌کنند. سپس با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی مانند محدودیت اینکه هر وسیله نقلیه به یک انبار تخصیص پیدا کند یا محدودیت ظرفیت وسائل نقلیه، مشتری‌ها به وسیله نقلیه ۱

تخصیص پیدا می کنند.

X4	۲	۱
----	---	---

شکل ۶. کروموزوم با تعداد ژن‌ها که تعیین کننده تخصیص خودروهاست.

#### ۴-۱-۱-۵- جایگاه‌های سوخت

بخش پنجم نمایش جواب، نشان‌دهنده‌ی توالی جایگاه‌های سوخت بوده که یک ماتریس  $F^*$  می‌باشد و نشان‌دهنده‌ی این است که به ترتیب کدام یک از جایگاه‌های سوخت به وسائل نقلیه تخصیص پیدا می‌کنند؛ که کروموزوم آن مطابق شکل هفت خواهد بود. فرض کنید  $F$  برابر با ۴ باشد، لذا این ماتریس به صورت تصادفی به صورت زیر تولید می‌شود.

X5	۳	۴	۱	۲
----	---	---	---	---

شکل ۷. کروموزوم با تعداد ژن‌ها که تعیین کننده تخصیص جایگاه‌های سوخت به خودروهاست.

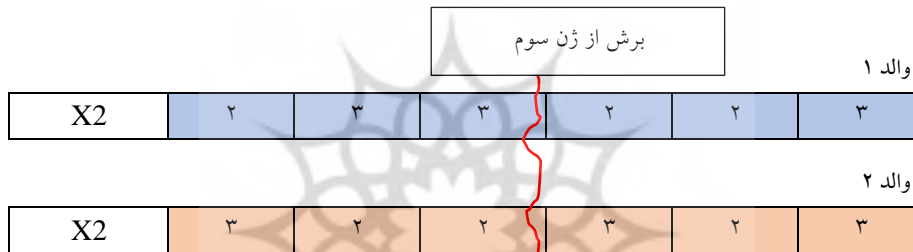
#### ۴-۱-۲- تولید جمعیت اولیه

در الگوریتم ارائه شده تولید جمعیت اولیه به صورت تصادفی غربالی می‌باشد. به طوری که برای تولید هر یک از اعضای جمعیت، ابتدا انبارها به صورت تصادفی ایجاد شده و فاصله مکانی هر یک از مشتریان با انبارهای ایجاد شده سنجیده می‌شود. سپس با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت انبارهای ایجاد شده، مشتریان دارای نزدیک‌ترین فاصله به این انبارها با ملاحظات ظرفیت انبارها تخصیص می‌یابند. بعد از تخصیص مشتریان به انبارها، به ازای هر یک از انبارها یکی از وسائل نقلیه به صورت تصادفی انتخاب شده و مشتری دارای نزدیک‌ترین فاصله با انبار مزبور به شرط رعایت محدودیت پنجره زمانی و کفایت سوخت برای پیمایش مسافت بین انبار تا مشتری و بالعکس و یا مراجعه در بین مسیر به نزدیک‌ترین جایگاه سوخت، به عنوان اولین مشتری جهت سرویس دهی انتخاب گشته، سپس آن مشتری که دارای نزدیک‌ترین فاصله با مشتری اول می‌باشد، انتخاب می‌گردد. این فرآیند تا جایی ادامه می‌یابد که تمام مشتریان تخصیص یافته به انبارهای ایجاد شده خدمت‌دهی گردند. جهت اطمینان از موجه بودن جواب‌ها، در الگوریتم ابتدا کلیه جواب‌های تصادفی تولیدی از طریق شبه کد تعریف شده در محدودیت‌های مسئله تست شده و سپس جواب‌های قابل

قبول پذیرفته و جواب‌های غیر موجه از مجموعه جواب‌ها، حذف می‌گردند. این عمل تا زمان تکمیل تعداد اعضای جمعیت اولیه ادامه می‌یابد.

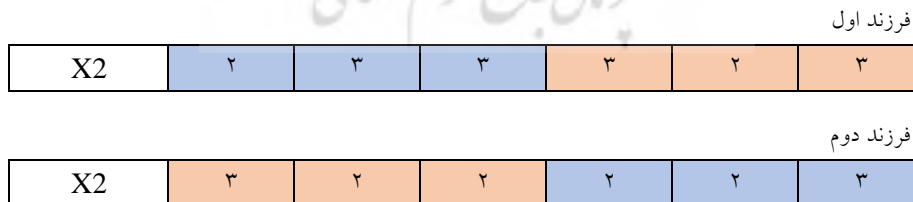
#### ۴-۱-۳- تقاطع<sup>۱</sup>

در این الگوریتم از تقاطع یک نقطه‌ای استفاده می‌شود. عمل تقاطع برای تولید نسل جدید به صورت تصادفی برای روی دو والد انتخابی یکی از قسمت‌های پنج‌گانه نمایش جواب اعمال می‌گردد. به طور مثال عمل تقاطع یک نقطه‌ای در شکل هشت برای دو کروموزوم والد مربوط به تخصیص مشتریان به انبارها به عبارتی بخش دوم نمایش جواب جهت تولید فرزندان نشان داده می‌شود.



شکل ۸. عمل تقاطع یک نقطه‌ای بر روی کروموزوم در ژن سوم

در هر نوبت از فرآیند تقاطع یک ژن از دو کروموزوم مربوط به یکی از بخش‌های نمایش جواب، به صورت تصادفی انتخاب شده و عمل تقاطع بر روی آن صورت می‌گیرد. به طور مثال با فرض نقطه‌ی ۳ به عنوان نقطه‌ی تقاطع در بخش دوم نمایش جواب، کروموزوم‌های تولیدشده در شکل نه که نشان‌دهنده تخصیص مشتریان به انبارها بوده، نشان داده شده است.



شکل ۹. کروموزوم‌های تولید شده با تقاطع یک نقطه‌ای

1 . Crossover

#### ۴-۱-۴- جهش

عملگر جهش باعث بالا رفتن پراکندگی جواب‌ها شده و فضای جستجو بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرد. در الگوریتم ارائه‌شده از هر سه نوع عملگر جهش جابجایی<sup>۱</sup>، وارونه‌سازی<sup>۲</sup> و وارد کردن<sup>۳</sup> استفاده شده است. به طوری که در هر تکرار الگوریتم بر روی هر یک از بخش‌های نمایش جواب، به صورت تصادفی یکی از این عملگرها اعمال می‌شود.

#### ۴-۱-۵- شرط توقف

شرط توقف در الگوریتم‌های ارائه‌شده رسیدن به تعداد تکرار مشخصی خواهد بود.

#### ۴-۲- الگوریتم شبیه‌سازی تبرید<sup>۴</sup>

الگوریتم شبیه‌سازی تبرید یک الگوریتم بهینه‌سازی فراابتکاری ساده و اثربخش در حل مسائل بهینه‌سازی است. کریک پاتریک و همکارانش<sup>۵</sup> در سال ۱۹۸۳ و کرنی<sup>۶</sup> ۱۹۸۵ از ایده الگوریتم شبیه‌سازی تبرید در سایر مسائل بهینه‌سازی بهره‌جستن. مزیت اصلی الگوریتم شبیه‌سازی تبرید توانایی آن برای رفع گرفتاری در نقطه بهینه محلی در حرکت به سمت نقطه بهینه می‌باشد (کریک پاتریک و همکاران، ۱۹۸۳؛ کرنی، ۱۹۸۵).

#### ۴-۲-۱- ساختار همسایگی

برای ایجاد همسایگی در این الگوریتم از سه اپراتور کارایی: ۱- جابجایی ۲- وارونه‌سازی و ۳- وارد کردن بر روی هر یک از قسمت‌های پنج‌گانه نمایش جواب اشاره‌شده در بخش ۴-۱-۱ بهره‌گرفته می‌شود. بدین منظور ابتدا یک عدد تصادفی مانند  $P$  بین ۰ و ۱ تولید شده و سپس بر اساس آن تغییرات بر روی یکی از قسمت‌های نمایش جواب با استفاده از اپراتورهای مزبور، مطابق با جدول شش‌اعمال می‌گردد. بدیهی است نحوه انتخاب اپراتورها برای ایجاد تغییر و همسایگی جدید در هر تکرار بر روی هر یک از

1. Swap
2. Inversion
3. Insertion
4. Simulated Annealing(SA)
5. Kirkpatrick et al.
6. Cerny

اجزای نمایش جواب، کاملاً تصادفی خواهد بود.

جدول ۶. نحوه اعمال اپراتورهای ایجاد همسایگی بر روی اجزای نمایش جواب

تغییر اعمال شده در زیر بخش نمایش جواب	عدد تصادفی تولید شده (P)
تخصیص انبارها و مشتریان	$0 < P \leq 0.25$
توالی ملاقات مشتریان	$0.25 < P \leq 0.50$
تخصیص خودروها	$0.50 < P \leq 0.75$
ملاقات جایگاه‌های سوخت	$0.75 < P \leq 1$

با ایجاد همسایگی‌های جدید، شرایط ایجاد بهبودهای درون و بین توری فراهم گشته و الگوریتم فرصت جستجویی بیشتری در فضای جواب پیدا خواهد نمود. به طور مثال اگر عدد تصادفی تولید شده در شروع فرآیند ایجاد همسایگی برای یک تکرار خاص الگوریتم  $P=0.35$  بوده و ماتریس شکل یک نمایانگر توالی ملاقات مشتریان یک جواب اولیه یا جواب پذیرفته تکرار قبل الگوریتم برای مسئله باشد، آنگاه ساختار همسایگی ایجاد شده با اعمال هر یک از اپراتورها به صورت یکی از شکل‌های ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ خواهد بود.

$X_3$	۱	۳	۲	۶	۶	۴
-------	---	---	---	---	---	---

شکل ۱۰. نمایش جواب اولیه مربوط به توالی ملاقات مشتریان و دو عضو انتخاب شده برای اعمال

اپراتورهای ایجاد همسایگی

$X_3$	۴	۳	۲	۶	۵	۱
-------	---	---	---	---	---	---

شکل ۱۱. همسایگی ایجاد شده برای جزء نمایش جواب مربوط به توالی ملاقات مشتریان با اپراتور

جابجایی

$X_3$	۱	۵	۶	۲	۳	۴
-------	---	---	---	---	---	---

شکل ۱۲. همسایگی ایجاد شده برای جزء نمایش جواب مربوط به توالی ملاقات مشتریان با اپراتور

وارونه‌سازی

$X_3$	۱	۴	۳	۲	۶	۵
-------	---	---	---	---	---	---

شکل ۱۳. همسایگی ایجاد شده برای جزء نمایش جواب مربوط به توالی ملاقات مشتریان با اپراتور

درج کردن

استراتژی برخورد با جواب‌های حاصل از اعمال عملگرهای الگوریتم‌های بکار گرفته شده برای حل مسئله، از نوع جریمه‌ای می‌باشد. به طوری که جواب‌های جدید ایجاد شده، ابتدا در محدودیت‌های مسئله تست و صحت‌گذاری گشته و در صورت عدم صدق در هر یک از محدودیت‌ها، مقداری را به عنوان جریمه، به تابع هدف اضافه می‌کنیم.

#### ۴-۳- اعتبارسنجی مدل ریاضی و حل آن با الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی

##### تبرید

در این بخش ابتدا از طریق حل یک مثال عددی سایز کوچک با استفاده از نرم‌افزار گمز و تحلیل نتایج حاصله، مدل ریاضی پیشنهادی اعتبارسنجی گردیده و در ادامه با حل مثال‌های عددی بیشتر به مقایسه و بررسی کارایی الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید برای مدل مزبور پرداخته می‌شود. در این مقاله تعداد ۱۶ مثال عددی در سه طبقه کوچک، متوسط و بزرگ تولید می‌شوند. برای تولید مثال‌ها سعی گردیده تا از داده‌های مقالات موجود در ادبیات بهره گرفته شود. تنوع محصولات تحویلی به مشتریان دو نوع بوده و ویژگی‌های هر یک از محصولات در جدول هفت ارائه شده است.

جدول ۷. اطلاعات مرتبط با هر نوع از مواد غذایی منجمد

پارامتر	نوع محصول		مرجع
	$\gamma_1$	$\gamma_2$	
$P_\gamma$	\$۷۵	\$۲۰	ژنی و چن (۲۰۱۴)
$\mu_\gamma$	%۰/۲	%۰/۰۷۰	ژنی و چن (۲۰۱۴)
$\theta_\gamma$	%۰/۸	%۰/۰۴	ژنی و چن (۲۰۱۴)
$O_\gamma$	kg۱۰	kg۱۰	وانگ و همکاران (۲۰۱۸)

جهت تعیین موقعیت جغرافیایی و تقاضای مشتریان و همچنین مختصات مراکز بالقوه توزیع، از داده‌های مقاله وانگ و همکاران (۲۰۱۸) که مربوط به کمپانی لجستیک ام پی اف کشور چین و فعال در حوزه‌ی انبارداری و توزیع غذاهای سرد همانند لبنیات و گوشت یخزده بوده، استفاده می‌گردد. این مرکز دارای ۶۰ مشتری و ۵ مرکز بالقوه توزیع در یک

منطقه اصلی با ظرفیت مجموعاً ۲۰۰ تن می‌باشد. تعداد ۱۰ جایگاه سوخت‌گیری، به صورت تصادفی در سطحی به ابعاد ۱۰۰\*۱۰۰ ایجاد می‌گردد. برای مشتریان در ابتدا عددی به صورت تصادفی و با توزیع یکنواخت در فاصله [۱, ۱۵] به عنوان زودترین زمان سرویس و سپس عددی به طور تصادفی در بازه [۴, ۴۰] به عنوان دیرترین زمان انجام سرویس تولید می‌شوند. مدت زمان سرویس‌دهی به مشتریان نیز به صورت عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در فاصله [۰/۰۱, ۰/۶۵] تولید می‌شوند. سرعت حرکت برای تمام انواع خودروها ثابت و برابر ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت، تعداد از هر نوع ۶ دستگاه و سایر مشخصات آن‌ها مطابق با جدول هشت خواهد بود و هزینه احداث هر یک از دپوها نیز در هر یک از مثال‌ها متغیر و به صورت تصادفی با توزیع یکنواخت در فاصله [۸۰۰, ۱۷۰۰] بوده و سایر داده‌های مسائل نیز برای تمام مثال‌ها ثابت و بر اساس جدول نه فرض می‌شود.

جدول ۸. اطلاعات مرتبط با هر یک از وسائل نقلیه

پارامتر	الکترونیکی		احتراقی	
	مقدار	مراجع	مقدار	مراجع
$r_h$	۰/۰۴ Jules/hour	لین و همکاران (۲۰۱۵)	۰/۰۰۸۳lit/hour	کوایکی و اشنایدر (۲۰۱۵)
$\rho_0^h$	۱Jules /km	ژائو و همکاران (۲۰۱۲)	۰/۱۶۵lit/km	وانگ و همکاران (۲۰۱۸)
$\rho_h^*$	۲Jules /km	ژائو و همکاران (۲۰۱۲)	lit/km ۰/۳۷۷	وانگ و همکاران (۲۰۱۸)
$C^h$	۰/۱۱۰۶ \$/Jules	کوایکی و اشنایدر (۲۰۱۵)	۴\$/lit	لین و همکاران (۲۰۱۵)
$CF_h$	۲۰۰ \$	شانگو و منی ینگ (۲۰۱۵)	۲۰۰ \$	شانگو و منی ینگ (۲۰۱۵)
$CR^h$	۰/۰۵ \$	ژنی و چن (۲۰۱۴)	\$ ۰/۰۵	ژنی و چن (۲۰۱۴)
$Q^h$	۳۵۶۰ kg	کوایکی و اشنایدر (۲۰۱۵)	kg ۹۰۷۳	لین و همکاران (۲۰۱۵)
$B^h$	۲۵kJules	لین و همکاران (۲۰۱۵)	lit ۶۰	اردغان و هوکس (۲۰۱۲)

جدول ۹. داده‌های مرتبط با سیستم تبرید و سایر پارامترهای مسئله

پارامتر	مقدار	مرجع
$\beta$	۱	ژنی و چن (۲۰۱۴)
$\varepsilon$	۰/۰۸	ژنی و چن (۲۰۱۴)
$\Delta T$	۲۵°C	شانگو و منی ینگ (۲۰۱۵)
ابعاد خارجی یخچال	۴۹۶*۱۷۲*۲۴۶cm	وانگ و همکاران (۲۰۱۸)
ابعاد داخلی یخچال	۲۸۰*۱۵۵*۱۵۴ cm	وانگ و همکاران (۲۰۱۸)
$\varepsilon$	kcal۲/۴۹	ژنی و چن (۲۰۱۴)
$L_V$	۰/۰۸	ژنی و چن (۲۰۱۴)

#### ۴-۳-۱- اعتبارسنجی مدل ریاضی و حل مثال عددی کوچک

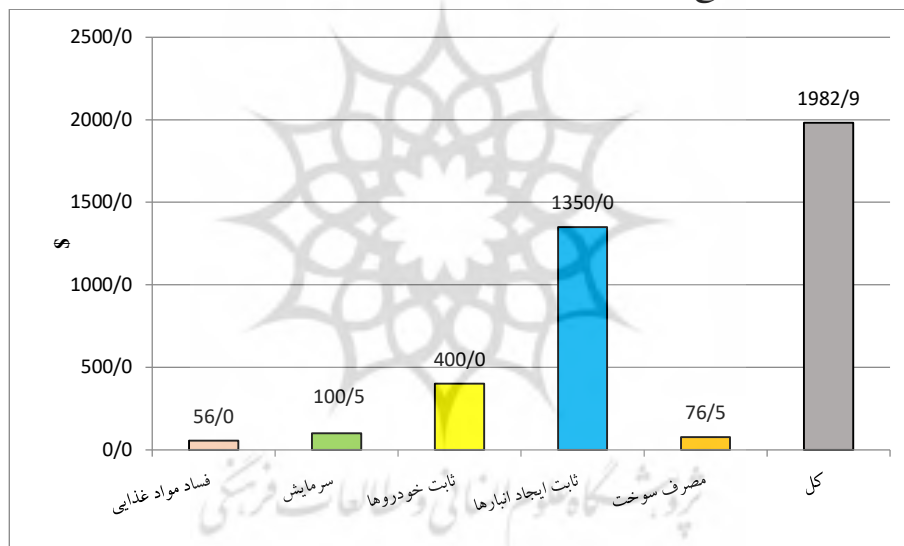
بدین منظور ابتدا یک مثال عددی ساین کوچک شامل ۷ مشتری، ۳ مرکز بالقوه توزیع، چهار جایگاه سوخت و دو خودرو و با مدنظر قرار دادن ملاحظات تعریف شده در بخش ۳-۴ تولید شده و سپس به منظور اعتبارسنجی و نشان دادن قابلیت مدل ابتدا، مسئله طی دو سناریوی الف: لحاظ ظرفیت مخازن سوخت خودروها مطابق با مقادیر عنوان شده در جدول هشت و ب: کاهش ظرفیت مخازن سوخت خودرو الکتریکی و احتراقی به ترتیب به ۳۰ و ۴۰ واحد سوخت، در نرم افزار گمز کد نویسی و حل گردیده که نتایج حاصل از حل دقیق هر یک از سناریوها مطابق جدول ۱۰، قابل تجزیه و تحلیل خواهد بود. در ادامه میزان مصرف سوخت هر یک از سناریوها نسبت به میزان مصرف سوخت با نرخ ثابت و برابر با متوسط نرخ مصرف سوخت حالت بدون بار و ظرفیت کامل خودرو، مورد نقد و بررسی قرار خواهد گرفت.

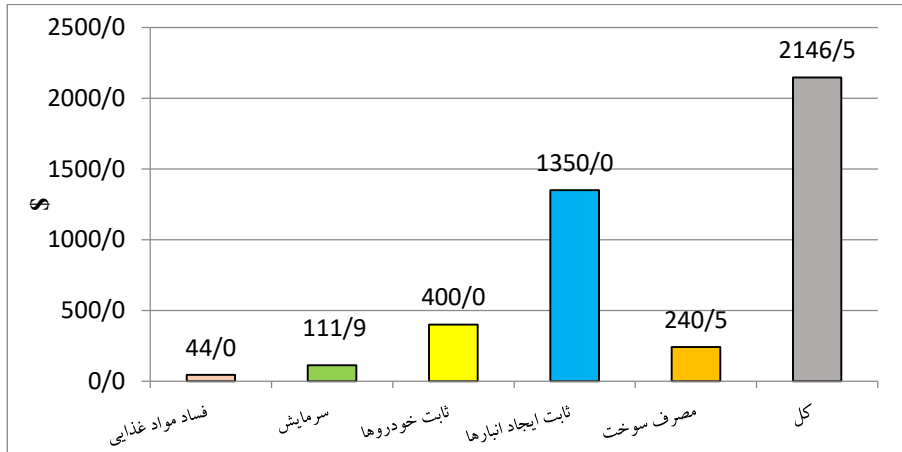


جدول ۱۰. نتایج حاصل از حل دقیق مثال عددی سائز کوچک در گمز

مقدار تابع هدف	لحظه ورود به گروه $j$	سطح سوخت باقی مانده باک/باتری در لحظه ورود به گروه $j$	میزان سوخت مصرف شده بین دو گروه (واحد سوخت)	نرخ مصرف سوخت بین دو گروه $i$ و $j$ ( $km$ /واحد سوخت)			میزان بار حمل شده بین دو گروه ( $kg$ )	فاصله بین دو گروه ( $km$ )	توالی تور		ظرفیت حمل بار خودرو ( $kg$ )	ظرفیت باک/باتری خودرو (واحد سوخت)	شماره خودرو	سناریو
				ثابت	متغیر	جمع			گروه $j$	گروه $i$				
۱۹۸۲/۹۴۷	۲/۵۶	۲۴۹۴۳/۷	۵۶/۳	۱/۸۰۳	۰/۸۰۳	۱	۲۸۶۰	۳۱/۲	C4	d2	۳۵۶۰	۲۵۰۰۰	Veh1	ا
	۳/۳۵	۲۴۹۰۸/۶	۳۵/۱	۱/۶۳۲	۰/۶۳۲		۲۲۵۰	۲۱/۵	C1	C4				
	۷/۹۱	۲۴۸۵۷/۳	۵۱/۳	۱/۴۸۳	۰/۴۸۳		۱۷۲۰	۳۴/۶	C8	C1				
	۸/۶	۲۴۸۱۱	۴۶/۲	۱/۳۰۶	۰/۳۰۶		۱۰۹۰	۳۵/۴	C6	C8				
	۱۱/۷۵	۲۴۷۶۷/۴	۴۳/۶	۱/۱۸۸	۰/۱۸۸		۶۷۰	۳۶/۷	C7	C6				
	۱۲/۴۹	۲۴۷۱۸/۲	۴۹/۲	۱	۰		۰	۴۹/۲	d2	C7				
	۳/۶۱	۵۶/۸	۳/۲	۰/۲۱۴	۰/۰۴۹		۲۱۱۰	۱۴/۷	C3	d2				
	۴/۴۳	۵۲/۵	۴/۳	۰/۲۰۰	۰/۰۳۵		۱۵۱۰	۲۱/۶	C2	C3				
	۹/۳۷	۴۹/۸	۲/۷	۰/۱۸۳	۰/۰۱۸		۷۵۰	۱۴/۹	C5	C2				
	۱۰/۰۷	۴۸/۷	۱/۱	۰/۱۶۵	۰		۰	۶/۸	d2	C5				
۲۱۴۶/۴۷	۹/۳۷	۲۱/۷۶	۸/۲۴	۱/۲۱۱	۰/۲۱۱	۱	۷۵۰	۶/۸	C5	d2	۳۵۶۰	۳۰	Veh1	ب
	۱۰/۰۷	۱۴/۹۶	۶/۸۰	۱	۰		۰	۶/۸	d2	C5				
	۰/۷۷	۳۴/۲۹	۵/۷۱	۰/۲۶۴	۰/۰۹۹		۴۲۲۰	۲۱/۷	C2	d2				
	۱/۵۶	۲۸/۹۷	۵/۳۲	۰/۲۴۶	۰/۰۸۱		۳۴۶۰	۲۱/۶	C3	C2				
	۲/۵۶	۱۹/۷۲	۹/۲۵	۰/۲۳۲	۰/۰۶۷		۲۸۶۰	۳۹/۹	C4	C3				
	۳/۳۵	۱۵/۰۴	۴/۶۸	۰/۲۱۸	۰/۰۵۳		۲۲۵۰	۲۱/۵	C1	C4				
	۵/۶۶	۷/۹۵	۷/۱	۰/۲۰۵	۰/۰۴۰		۱۷۲۰	۳۴/۶	C8	C1				
	۶/۳۲	۱/۹۱	۶/۰۴	۰/۱۹۰	۰/۰۲۵		۱۰۹۰	۳۱/۷	F3	C8				
	۷/۹۸	۲۷/۱۶	۱۲/۸۴	۰/۱۹۰	۰/۰۲۵		۱۰۹۰	۶۷/۴	C7	F3				
	۸/۶	۲۰/۷۵	۶/۴۱	۰/۱۷۵	۰/۰۱۰		۴۲۰	۳۶/۷	C6	C7				
۹/۱۴	۱۸/۳۹	۲/۳۷	۰/۱۶۵	۰	۰	۱۴/۳	d2	C6						

در سناریو الف علی‌رغم اعمال محدودیت‌های مرتبط با مصرف و سطح سوخت موجود در مخازن خودروها، به‌علت کفایت سطح سوخت موجود در مخازن در پروسه خدمت‌دهی به مشتریان، نیاز به مراجعه به جایگاه‌های سوخت و سوخت‌گیری مجدد هیچ‌یک از خودروها نبوده اما با کاهش ظرفیت مخازن سوخت خودروها در سناریو ب لاجرم خودرو شماره‌ی دو ( $veh_2$ ) جهت طی و ادامه مسیر تور اقدام به مراجعه به جایگاه سوخت‌گیری شماره‌ی سه ( $f_3$ ) نموده و پس از شارژ و رساندن سطح سوخت مخزن به سطح ماکزیمم ظرفیت، به مسیر خود ادامه می‌دهد. این در حالی است که در صورت عدم وجود قابلیت سوخت‌گیری مجدد خودروها در سناریو ب، عملاً مسئله فاقد جواب بهینه می‌بود. ترکیب هزینه‌های پروسه توزیع هر یک از سناریوها نیز مطابق شکل‌های ۱۴ و ۱۵ خواهد بود.





شکل ۱۴. ترکیب هزینه‌های پروسه توزیع سناریو ۱۴. شکل ۱۵. ترکیب هزینه‌های پروسه توزیع سناریو ۱۵

در ادامه میزان مصرف سوخت هر یک از سناریوها نیز نسبت به میزان مصرف سوخت با نرخ ثابت و برابر با متوسط نرخ مصرف سوخت حالت بدون بار و ظرفیت کامل خودرو مطابق با جدول ۱۱ مورد نقد و بررسی گرفته و نتایج مؤید ایجاد صرفه‌جویی متوسط ۱۳/۹ درصدی در مصارف سوخت، نسبت به مدل‌های معمول موجود با نرخ ثابت می‌باشد.

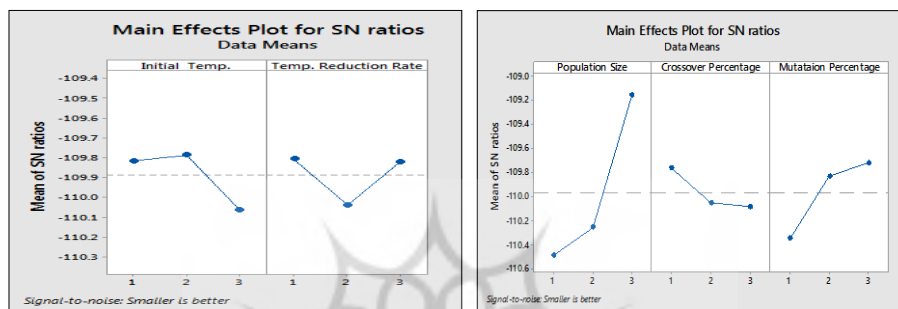
جدول ۱۱. مقایسه میزان مصارف سوخت مدل پیشنهادی نسبت به مدل معمول با نرخ مصرف

سخت ثابت

سناریو	شماره خودرو	واحد مصرف سوخت	نرخ مصرف سوخت ثابت	مسافت کل تور (km)	میزان سوخت مصرفی		میزان افزایش/کاهش مصرف سوخت مدل پیشنهادی نسبت به مدل‌های معمول (%)
					مدل معمول با نرخ مصرف سوخت ثابت	مدل پیشنهادی	
الف	Veh1	Jules /km	۱/۵	۲۰۸/۶	۲۸۱/۷	۳۱۲/۹	۱۰٪ -
	Veh2	lit /km	۰/۲۷۱	۵۸	۱۱/۳۷	۱۵/۷۲	۲۷/۷٪ -
ب	Veh1	Jules /km	۱/۵	۱۳/۶	۱۵/۰۴	۲۰/۴	۲۶/۳٪ -
	Veh2	lit /km	۰/۲۷۱	۲۸۹/۴	۵۹/۷۲	۷۸/۴۳	۲۳/۹٪ -
		جمع کل			۳۶۷/۸۳	۴۲۷/۴۵	۱۳/۹٪ -

### ۴-۳-۲- تنظیم پارامترهای الگوریتم‌های فراابتکاری

جهت تنظیم پارامترهای الگوریتم‌های حل پیشنهادی در این تحقیق از روش آزمایش تاگوچی بهره گرفته شده و نتایج مربوط به این آزمایش به صورت میانگین تأثیرات با استفاده از نرم‌افزار مینی تب برای هر یک از الگوریتم‌ها به صورت شکل‌های ۱۶ و ۱۷ گزارش گردید.



شکل ۱۶. نمودار میانگین اثرات الگوریتم ژنتیک شکل ۱۷. نمودار میانگین اثرات الگوریتم

شبیه‌سازی تبرید

و نهایتاً سطوح بهینه هر یک از پارامترهای الگوریتم‌ها به صورت جدول ۱۲ تعیین و تنظیم گردیده است.

جدول ۱۲. جدول پارامترهای تنظیم شده الگوریتم‌های فراابتکاری

مقادیر تأیید شده پارامترها در آزمایش تاگوچی	حدود مقادیر آزمایش شده پارامترها			نام پارامتر	نوع الگوریتم
	بالا	وسط	پایین		
۱۰۰	۱۰۰	۸۰	۶۰	تعداد جمعیت اولیه	ژنتیک
%۶۵	%۸۵	%۷۵	%۶۵	نرخ تقاطع	
%۴۰	%۴۰	%۳۰	%۲۰	نرخ جهش	
۱۰۰	۱۲۰	۱۰۰	۸۰	دمای اولیه	شبیه‌سازی
%۶۵	%۹۹	%۸۰	%۶۵	نرخ کاهش دما	تبرید

#### ۴-۳-۳-حل مدل با الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید و تحلیل نتایج

##### محاسباتی

به منظور اعتبارسنجی الگوریتم‌های پیشنهادی، جواب حاصل از این الگوریتم‌ها در مسائل ساینز کوچک با جواب بهینه به دست آمده توسط نرم‌افزار گمز مورد مقایسه قرار خواهد گرفت. در مثال‌های عددی گزارش شده از حل مسائل با زمان پردازش بالای ۳ ساعت در نرم‌افزار گمز صرف نظر شده و تعداد تکرار حلقه‌های الگوریتم‌ها پس از اجراهای متعدد و به صورت تجربی نسبت به همگرایی حاصله، برای حصول به جواب نسبتاً مناسب در زمان حل معقول، ۲۰۰ تکرار در نظر گرفته شده است. به طوری که هر مسئله، ۵ مرتبه با هر یک از الگوریتم‌ها بر روی یک کامپیوتر شخصی با مشخصات *RAM 2GB, Intel 2.21 GHz* *Core2* حل شده و بهترین جواب، به عنوان نتایج محاسباتی حاصله در جدول ۱۳ نشان داده شده است. در مثال‌های عددی ابعاد کوچک حل شده، حداکثر انحراف الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و ژنتیک نسبت به جواب حاصل از حل دقیق، به ترتیب  $3/4$  و  $3/6$  درصد می‌باشد که با توجه به ناچیز بودن میزان انحرافات، عملکرد هر دو الگوریتم برای حل مدل پیشنهادی قابل قبول می‌باشد؛ اما با مقایسه جواب‌های حاصل از هر یک از الگوریتم‌ها در خواهیم یافت که الگوریتم ژنتیک جواب‌های بهتری را نسبت به الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ارائه می‌نماید. در جهت بالا بردن اعتبار الگوریتم‌های پیشنهادی علاوه بر مقایسه جواب‌ها و زمان‌های حل حاصل، از آزمون آماری تی زوجی استفاده می‌گردد. ابتدا فرض بهبود عملکرد الگوریتم ژنتیک را در مقابل الگوریتم شبیه‌سازی تبرید از نظر جواب و سپس از نظر زمان حل، آزمون می‌کنیم. بدین منظور دو آزمون فرض ۱- فرض صفر: جواب الگوریتم شبیه‌سازی تبرید با الگوریتم ژنتیک برابر است. فرض مقابل: جواب الگوریتم شبیه‌سازی تبرید بزرگ‌تر از الگوریتم ژنتیک است و ۲- فرض صفر: زمان حل الگوریتم ژنتیک با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برابر است. فرض مقابل: زمان حل الگوریتم ژنتیک بزرگ‌تر از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید است را در نظر می‌گیریم.

جدول ۱۳. نتایج مقایسه‌ای حاصل از حل مثال‌های عددی مدل با الگوریتم‌های فراابتکاری

طبقه مسئله	شماره مسئله	تعداد مراکز با تقوه دیو	تعداد مشتریان	تعداد خودرو		تعداد جایگاه‌های سوخت	نتایج هر یک از روش‌های حل						میزان گپ الگوریتم‌ها (%)		
				احترافی	الکتریکی		دقیق (گمز)		شبیه‌سازی تیرید		ژنتیک		شبیه‌سازی تیرید به دقیق	ژنتیک به دقیق	ژنتیک به شبیه‌سازی تیرید
							جواب بهینه	زمان حل (ثانیه)	جواب بهینه	زمان حل (ثانیه)	جواب بهینه	زمان حل (ثانیه)			
کوچک	۱	۳	۶	۱	۱	۲	۱۹۰۴/۲	۲	۱۹۱۴/۲	۶	۱۸۶۳/۴	۵۴	%+۰/۵	%-۲/۱	%-۲/۷
	۲	۳	۸	۱	۱	۴	۱۹۷۴/۹	۱۰	۲۰۳۴/۵	۷	۲۰۰۷/۸	۸۷	%+۳	%+۱/۷	%-۱/۳
	۳	۴	۱۰	۱	۲	۴	۲۱۷۴/۶	۱۹۵	۲۱۱۴/۱	۹	۲۰۹۶/۰	۱۰۸	%-۲/۸	%-۳/۶	%-۰/۹
	۴	۴	۱۳	۱	۲	۴	۲۲۴۴/۸	۱۹۸۳	۲۳۲۳/۳	۱۹	۲۱۷۴/۴	۱۹۱	%+۳/۴	%-۳/۱	%-۶/۴
	۵	۳	۱۳	۱	۲	۴	۲۲۴۴/۸	۱۴۵۱	۲۲۷۱/۹	۱۷	۲۲۱۲/۵	۲۰۶	%+۱/۲	%-۱/۴	%-۲/۶
متوسط	۶	۴	۱۵	۱	۲	۴	۲۳۴۷/۹	۱۷۱۵۵	۲۳۲۱/۹	۲۲	۲۳۱۲/۰	۲۶۰	%-۱/۱	%-۱/۵	%-۰/۴
	۷	۴	۱۵	۲	۲	۴	۲۵۱۹/۰	۳۹۲۹	۲۴۹۵/۵	۲۵	۲۴۵۷/۲	۲۵۹	%-۰/۹	%-۲/۴	%-۱/۵
	۸	۴	۲۰	۱	۳	۴	-	-	۲۸۵۳/۵	۳۱	۲۷۰۸/۳	۳۵۷	-	-	%-۵/۱
	۹	۴	۲۰	۲	۲	۴	-	-	۳۲۳۳/۱	۳۷	۲۷۹۹/۱	۳۷۲	-	-	%-۱۳/۴
	۱۰	۴	۳۵	۴	۴	۶	-	-	۱۰۵۰۷/۷	۸۰	۸۹۲۶/۷	۸۰۷	-	-	%-۱۵
بزرگ	۱۱	۵	۴۵	۴	۶	۸	-	-	۱۱۲۹۰/۵	۱۷۰	۱۰۷۱۱/۸	۱۸۵۸	-	-	%-۵/۱
	۱۲	۵	۵۰	۵	۶	۱۰	-	-	۱۳۳۲۰/۶	۲۲۲	۱۱۷۳۷/۶	۲۸۷۴	-	-	%-۱۱/۹
	۱۳	۵	۵۵	۶	۵	۱۰	-	-	۱۶۴۰۰/۲	۳۳۴	۱۵۵۵۵/۵	۴۸۶۲	-	-	%-۵/۲
	۱۴	۵	۶۰	۶	۵	۱۰	-	-	۱۶۵۰۳/۶	۳۳۹	۱۴۶۷۹/۰	۵۱۵۰	-	-	%-۱۱/۱
	۱۵	۵	۶۰	۶	۶	۱۰	-	-	۱۵۶۵۵/۳	۲۳۳	۱۵۳۴۵/۱	۵۱۵۶	-	-	%-۲

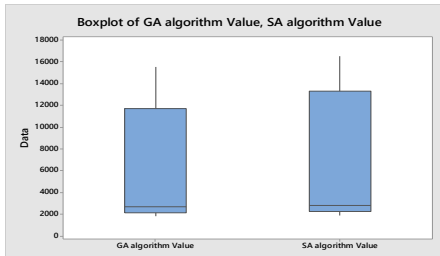
نتایج حاصل از تحلیل آماری تی زوجی در سطح معنادار ۵٪ برای جواب‌های حاصل از الگوریتم‌ها در شکل ۱۸ و برای زمان‌های حل در شکل ۱۹ گزارش گردید.

Paired T for SA algorithm Value - GA algorithm Value

	N	Mean	StDev	SE Mean
SA algorithm Value	15	7016	6074	1568
GA algorithm Value	15	6506	5595	1445
Difference	15	510	645	166

95% lower bound for mean difference: 217

T-Test of mean difference = 0 (vs > 0): T-Value = 3.07 P-Value = 0.004



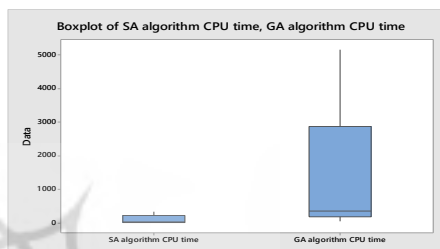
شکل ۱۸. باکس پلات و نتایج آزمون تی زوجی برای جواب الگوریتم‌ها در نرم افزار مینی تب

Paired T for GA algorithm CPU time - SA algorithm CPU time

	N	Mean	StDev	SE Mean
GA algorithm CPU time	15	1506	1992	514
SA algorithm CPU time	15	103	122	32
Difference	15	1403	1874	484

95% lower bound for mean difference: 551

T-Test of mean difference = 0 (vs > 0): T-Value = 2.90 P-Value = 0.006



شکل ۱۹. باکس پلات نتایج آزمون زوجی برای زمان حل الگوریتم‌ها در نرم افزار مینی تب

بر اساس نتایج، فرض صفر در هر دو آزمون رد شده و فرض مقابل پذیرفته می‌شود. به عبارتی مقادیر جواب الگوریتم شبیه‌سازی تبرید بزرگ‌تر از الگوریتم ژنتیک بوده و این موضوع در نمودار پلات باکس نیز دیده می‌شود و بالعکس زمان حل الگوریتم ژنتیک بزرگ‌تر از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید می‌باشد.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در تحقیق انجام شده برای نزدیک سازی بیشتر مسئله به شرایط دنیای واقعی و در جهت کاربردی‌تر کردن آن، از ناوگان ناهمگون با سوخت‌های غیرمتعارف و وابسته نمودن میزان مصارف سوخت به میزان بار حل شده بین رئوس، باهدف حداقل نمودن مخاطرات زیست‌محیطی در کنار ملاحظات اقتصادی در فرآیند لجستیک بهره گرفته می‌شود. این مسئله ابتدا با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و فرضیاتی مدل‌سازی شده و سپس با توجه به پیچیدگی زمانی نمایی حل مسئله در ابعاد متوسط و بزرگ، الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید برای حل مسئله‌ی پیشنهادی توسعه یافته است. به‌منظور اعتبارسنجی مدل



ریاضی ارائه شده، ابتدا یک مثال عددی کوچک در نرم افزار گمز به صورت دقیق حل گردید، به طوری که مدل مؤید ایجاد صرفه جویی متوسط ۱۴ درصدی در میزان مصرف سوخت می باشد. در بخش بعدی تعداد ۱۵ مثال عددی در سه دسته کوچک، متوسط و بزرگ، تولید و عملکرد الگوریتم ها برای حل مدل ارائه شده مورد ارزیابی و آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصله، کیفیت بالای الگوریتم ژنتیک را در یافتن جوابی مناسب برای مدل نسبت به الگوریتم شبیه سازی تبرید در مواقعی که زمان حل مسئله از مطلوبیت کمتری برخوردار بوده، نمایان می باشد. با توجه به لزوم حفظ تازگی مواد غذایی در زنجیره توزیع سرد و رو به گسترش بودن خریدهای آنلاین همراه با پیشرفت فناوری اطلاعات و ارتباطات، به کارگیری تابع میزان رضایت به صورت یک تابع کاهشی وابسته به مدت زمان تورها و تعداد دفعات باز و بسته شدن درب یخچال خودروها و حل مسئله به صورت دو هدفه با اهداف متضاد هم، به عنوان یکی از زمینه های آتی توسعه تحقیق حاضر پیشنهاد می گردد. هم چنین با توجه به ضرورت مصرف سوخت برای ایجاد تبرید در شرایط دنیای واقعی خودروهای یخچال دار، وارد ردن میزان مصارف سوخت این بخش از خودروهای یخچالدار در کنار سوخت مورد نیاز برای طی مسافت بین گره ها نیز می تواند یکی از زمینه های پیشنهادی برای تحقیقات آتی باشد.

### تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافع ندارند.

### ORCID

Hassan Rabiee  
Farhad Eatebary

 <http://orcid.org/0000-0003-2755-5287>  
 <http://orcid.org/0000-0002-7204-282X>



## منابع

عالم تبریز، اکبر، زندیه، مصطفی و رحیمی، محمد. (۱۳۸۷). *الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی ترکیبی*، چاپ سوم، تهران، انتشارات صفار.

## References

- Bae, H., & Moo, I. (2016). Multi-depot vehicle routing problem with time windows considering delivery and installation vehicles. *Applied Mathematical Modelling*, NO. 56, pp. 1-14.
- Bektas, T., & Laporte, G. (2011). The pollution-routing problem. *Transportation Research Part B*, NO. 45, pp. 1232-1250.
- Cerny, V. (1985). A thermodynamical approach to the traveling salesman problem: an efficient simulation algorithm. *Journal of Optimization Theory and Applications*, NO. 45, pp. 41-51.
- Erdogan, S., & Hooks, E.M. (2012). A green vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation*, NO. 48, pp. 100-114.
- Garey, M.R., & Johnson, D.S. (1979). *Computers and intractability, a guide to the theory of np-completeness*. San Fransisco, Freeman Publisher.
- Goeke, D., & Schneider, M. (2015). Routing a mixed fleet of electric and conventional vehicles. *European Journal of Operational Research*, NO. 245, pp. 1-19.
- Hsiao, Y.H., Chen, M.C., & Chin, C.L. (2017). Distribution planning for perishable foods in cold chains with quality concerns: formulation and solution procedure. *Trends in Food Science & Technology*, NO. 61, pp. 80-93.
- International Energy Agency (2011). *Edition CO2 emission from fuel combustion*. highlight, www.IEA.org / co2highlights.pdf
- IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis report. core writing team, In Pachauri, R. K., & Reisinger, A. (Eds.), IPCC (p. 104). Geneva: Switzerland
- Keskin, M., & Catay, B. (2016). Partial recharge strategies for the electric vehicle routing problem with time windows. *Transportation Research Part C*, NO.65, pp. 111-127.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M.P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, NO.220, pp. 671-680.
- Koc, C., Bekta, T., Jabali, O., & Laporte, G. (2016). The fleet size and mix location-routing problem with time windows: formulations and a heuristic algorithm. *European Journal of Operational Research*, NO.

248, pp. 33- 51.

Lin, J., Zhou, W., & Wolfson, O. (2016). Electric vehicle routing problem. *Transportation Research Procedia*, NO.12, pp. 508-521.

Liu, C. Y., & Yu J. J. (2012). Multiple depots vehicle routing based on the ant colony with the genetic algorithm. *Journal of Industrial Engineering and Management*, NO. 6, pp. 1013-1026.

Montoya, J.A., Gueret, C., Mendoza, J.E., & Villegas, J.G. (2017). The electric vehicle routing problem with non-linear charging functions. *Transportation Research part B*, [https:// doi.org/10.1016/j.trb.2017.02.004](https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.02.004).

Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2010). *The handbook of and logistics distribution management* (4<sup>th</sup> ed.). London., Kogan Page Publishing, 608p.

Schiffer, M., & Walther, G. (2017). The electric location routing problem with time windows and partial recharging. *European Journal of Operational Research*, NO. 0, pp. 1- 19.

Song, D.B., & Ko, D.Y. (2016). A vehicle routing problem of both refrigerated- and general-type vehicles for perishable food products delivery. *Journal of Food Engineering*, NO. 169, pp. 61-71.

Wang, X., Wang, M., Ruan, J., & Zhan, H. (2016). The multi-objective optimization for perishable food distribution route considering temporal-spatial distance. *Procedia Computer Science*, NO. 96, pp.1211 – 1220.

Wang, S., Tao, F., & Shi,Y. (2018). Optimization of location–routing problem for cold chain logistics considering carbon footprint. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, NO.15, pp. 1-17.

Wu, X., Nie, L., & Xu, M. (2017). Designing an integrated distribution system for catering services for high-speed railways: A three-echelon location routing model with tight time windows and time deadlines. *Transportation Research Part C*, NO.74, pp. 212- 244.

Xiangguo, M., & Manying, W. (2015). Optimization model of the vehicle routing of cold chain logistics based on stochastic demands. *Journal of Applied and Engineering Innovation*, NO. 2, pp. 356-362.

Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I., & Xu, Y. (2012). Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, NO. 39, pp. 1419– 1431.

Zheng, Y., & Chen, X.D. (2014). An optimization model for the vehicle routing problem in multi-product frozen food delivery. *Journal of*

**References [In Persian]**

- .Alemtabriz, A., zandieh, M., & Rahimi, M. (2008). *Meta-heuristic algorithms in hybrid optimization* (3<sup>th</sup> ed.). Tehran, Saffar Publisher.  
[In Persian]



**استناد به این مقاله:** ربیعی، حسن، اعتباری، فرهاد. (۱۴۰۱). ارائه یک مدل ریاضی برای مسئله‌ی مکان‌یابی. مسیریابی مواد غذایی فاسدشدنی با در نظر گرفتن وابستگی مصرف سوخت به میزان بار، فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی، ۲۰(۶۷)، ۱۵۹. ۲۰۱.

DOI: 10.22054/jims.2020.29472.1983



Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution. NonCommercial 4.0 International License.