



## **A Model for Dynamic Vehicle Fleet Scheduling to Improvement in the Dial-a-Ride System's Performance (Case Study)**

**Reza Ghanbari & Mehdi Mahmoodi \***

*Reza Ghanbari, Associate Professor of Applied Mathematics, Faculty of Mathematic Science, Ferdowsi University of Mashhad*

*Mehdi Mahmoodi, Master of Science in Industrial Engineering, National Iranian oil products Distribution Company (NIOPDC)*

### **Keywords**

**Dynamic Dial-a-Ride System;  
Scheduling;  
Mathematical Modeling  
Solution Approach**

### **ABSTRACT**

*The Vehicle Scheduling Problem has attracted the attention of researchers domestic and abroad, because of the real-world applications and great economy value. This paper presents a mathematical optimization model, which has adapted to the case study's real conditions, in order to increase customers' satisfaction and to optimize the operator's performance when all requests are dynamic and each request will be added when the customers will require, and then the planning had been started before all requests are known. To demonstrate the efficiency of the proposed model and the associated solution approach or scheduling method, we compare the behavior of the proposed method with the existing method that used in the case study.*

**© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 4, All Rights Reserved**



## مدلی برای زمانبندی پویای وسایل نقلیه جهت بهبود عملکرد سیستم نقلیه تلفنی (مطالعه موردی)

رضا قنبری\* و مهدی محمودی

### چکیده:

مساله زمانبندی وسایل نقلیه به دلیل کاربرد وسیع و ارزش اقتصادی فراوان، توجه پژوهشگران زیادی را به خود جلب کرده است. این مقاله یک مدل ریاضی، منطبق با شرایط واقعی مساله مورد مطالعه، جهت بالا بردن رضایت مشتری و بهینه کردن عملکرد ارائه دهنده خدمات (اپراتور)، ارائه می دهد. افزون بر این، یک روش حل نیز ارائه شده است به گونه ای که زمانبندی وسایل نقلیه به صورت پویا انجام شود، به این صورت که درخواستها برای وسایل نقلیه به تدریج و در افق زمانی تعیین شده وارد سیستم می شود و برنامه ریزی قبل از اینکه تمام درخواستها مشخص شوند شروع می شود. در پایان با بررسی یک نمونه عملی، برتری مدل و روش پیشنهادی را با روش برنامه ریزی فعلی نشان داده می شود.

### کلمات کلیدی

زمانبندی پویا وسایل نقلیه  
تلفنی،  
مدلسازی ریاضی.

### ۱. مقدمه

مساله زمانبندی وسایل نقلیه به دلیل کاربرد وسیع و ارزش اقتصادی فراوان، توجه محققین زیادی را به خود جلب نموده است [۱]. مسائل زمانبندی وسایل نقلیه به دو گروه عمده ایستا و پویا دسته بندی می شوند. در حالت ایستا، تمام درخواستها از پیش مشخص هستند و لذا اجازه داریم که زمانبندی خودروها را از قبل برنامه ریزی نماییم. در حالت پویا، تعداد درخواستها به تدریج با تماس مشتریان افزایش یافته و برنامه ریزی پیش از اینکه همه درخواستها مشخص شوند، شروع می شود. بسیاری از سیستم های دنیای واقعی، پویا هستند و مشتری ممکن است در فاصله کوتاهی بعد از تماس، درخواست سرویس داشته باشد.

اخیرا بیشتر پژوهشها در رابطه با مساله زمانبندی پویای وسایل، بر اساس مدل مساله وسیله نقلیه تلفنی (DARP) بنا نهاده شده است [۱]. طراحی و پیاده سازی برنامه های عملکردی دانش محور که بتوانند در پرتو محدودیت های متعدد حاکم بر محیط اجرایی پروژه، مسایل گوناگونی را که در چرخه عمر پروژه روی می دهند به صورت بهینه حل و فصل کنند، ضرورتی اجتناب ناپذیر است.

تاریخ وصول: ۹۵/۱/۱۷

تاریخ تصویب: ۹۶/۹/۱

مهدی محمودی، کارشناس ارشد مهندسی صنایع، شرکت ملی پخش فرآورده های نفتی ایران [mahmoodi\\_82@yahoo.co.uk](mailto:mahmoodi_82@yahoo.co.uk)

\*نویسنده مسئول مقاله: رضا قنبری، دانشیار تحقیق در عملیات، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد، [rghanbari@um.ac.ir](mailto:rghanbari@um.ac.ir)

از جمله مهمترین در عمل، انواع زیاد و متفاوتی از مساله DAR وجود دارد و لذا مدل های ریاضی مختلفی جهت توضیح و شرح مساله برنامه ریزی این انواع مختلف مساله نیز وجود دارد [۲]. همچنین، دو نوع هدف و محدودیت در مسائل جابه جایی مسافر وجود دارد که عبارتند از کم کردن هزینه ارائه خدمات و افزایش رضایت مشتری. در یک کاربرد تجاری مساله DAR، هدف برنامه ریزی می تواند از دو جنبه در نظر گرفته شود. یک، از دیدگاه اپراتور، که هدف اغلب کمینه سازی مجموع تعداد خودروهای مورد نیاز و یا کاهش مجموع زمان سفرهای وسایل نقلیه است و دوم از دیدگاه مشتری که هدف اغلب کاهش زمان سوار شدن یا انحراف زمان سرویس دهی است [۳].

### ۲. پیشینه تحقیق

مساله بارگیری و تحویل (PDP) به طور مفهومی می تواند به صورت زیر تعریف شود: پیدا کردن راه بهینه تخصیص یک مجموعه از درخواست های حمل و نقل به یک ناوگان از وسایل (که در ابتدا در تعدادی ایستگاه قرار دارند) از طریق کمینه سازی یک تابع هدف خاص و با شرط محدودیت های متنوع. تابع هدف ممکن است شامل اجزای از قبیل هزینه عملیاتی، تعداد وسایل، سطح مشتری در سرویس و ... باشد. در ادبیات موضوع، مساله سوار کردن و پیاده کردن مسافر که نیاز به مسیریابی و زمانبندی داشته باشد یا به

درخواست، مکان بارگیری، مکان تحویل، زودترین زمان بارگیری و دیرترین زمان تحویل بار مشخص می‌شود. عایدی هر درخواست متناسب با فاصله مکانی بین بارگیری و تحویل درخواست است. تحویل بعد از دیرترین زمان، مجاز است ولی متناسب با تاخیر در تحویل، به آن جریمه تعلق می‌گیرد. همچنین هزینه عدم پذیرش یک درخواست معادل عایدی پذیرش آن است و هزینه انجام یک سفر خالی با فاصله سفر برای پاسخگویی به درخواست، متناسب است. آتانسیو و همکاران [۷]، ضمن اشاره به محدودیت‌های مدل سنتی در خدمات پیک و استفاده آن‌ها از ناظران انسانی جهت تخصیص پیک به درخواست‌ها، متدولوژی پیش‌بینی و بهینه‌سازی را شرح می‌دهند. سیستم پیشنهادی آن‌ها، دو زیرسیستم پیش‌بینی و تخصیص را شامل می‌شود. زیرسیستم پیش‌بینی، تقاضای مشتریان را با کمک برون‌یابی سری زمانی و زمان سفر را با کمک شبکه عصبی پیش‌بینی می‌کند. در مرحله تخصیص نیز درخواست مشتریان به پیک‌های موجود اختصاص داده و پیک‌های بیکار را از مناطق با درخواست کم به مناطق با درخواست بالا، تغییر موقعیت می‌دهد. دو هدف که در زیرسیستم تخصیص به آن‌ها توجه شده است، عبارتند از: افزایش سطح رضایت مشتری از طریق کاهش زمان درخواست و ارائه خدمت و دیگری افزایش تعداد سرویس‌های ارائه شده توسط پیک‌ها در طول روز. برای زمان شروع سفر، یک پنجره زمانی وجود دارد. همچنین، جهت اولویت‌دهی در ارائه سرویس، مشتریان دسته‌بندی و کلاس‌بندی می‌شوند و برای هر کلاس یک پنجره زمانی در نظر گرفته می‌شود. افزون بر این، به دو مفهوم صف‌بندی و ترکیب درخواست‌ها نیز توجه شده است. صف‌بندی به این معنی است که یک خودرو می‌تواند قبل از تحویل اولین درخواست پذیرفته شده خود، درخواست‌های دیگری را نیز تحویل دهد. ترکیب نیز به این معنی است که یک خودرو در مسیر حرکت به سمت محل بارگیری و یا تحویل بار، می‌تواند درخواست دیگری را بارگیری و به مقصد برنامه‌ریزی شده درخواست ابتدایی خود، تحویل دهد. پیاده‌سازی سیستم آن‌ها در شرکت مورد مطالعه، نیاز به ناظران انسانی برای مدیریت درخواست‌ها را کاهش داد و با بهبود ارائه خدمات، کارایی پیک افزایش یافت. همچنین آن‌ها نشان دادند که افزایش تعداد پیک‌ها به منظور پذیرش درخواست‌های بیشتر، برخلاف روش سنتی مدیریت درخواست‌ها، هزینه شرکت را به‌صورت نامی کاهش می‌دهد. کارتر و همکاران [۸]، روشی را برای بهبود انعطاف‌پذیری مساله DAR ارائه نمودند بدین صورت که مسافران اجازه دارند بین وسایل نقلیه جابه‌جا گردند. پاراگ و همکاران [۹]، مدل‌ها و الگوریتم‌هایی برای حل مساله DAR ایستا و ناهمگن با قیود مربوط به راننده ارائه نمودند. در بررسی آن‌ها اطلاعاتی در رابطه با مبدا، مقصد، تعداد مسافران، زمان سوار شدن و یا پیاده شدن مسافران برای هر درخواست وجود دارد. محدودیت تعداد

عبارتی PDP مسافر، به عنوان DAR شناخته می‌شود. در تحقیقات مختلف، مدل‌های متنوعی با توجه به محدودیت‌های موردنظر آن‌ها، تهیه و حل شده‌اند. فان [۱۱]، یک الگوریتم زمانبندی وسیله نقلیه پویا را با پنجره زمانی متغیر ارائه می‌دهد. این الگوریتم، هم تقاضاهای از قبل مشخص شده و هم درخواست‌های از قبل نامشخص را بررسی می‌کند. در این مدل، مشتری با شرکت تماس گرفته و درخواست سرویس با پنجره زمانی موردنظر را می‌کند. اگر شرکت نتواند درخواست سرویس مشتری را برآورده کند، پنجره‌های زمانی شدنی را به او پیشنهاد می‌نماید تا مشتری قدرت انتخاب داشته باشد. به منظور پیشنهاد زمان مناسب دیگر (در صورت عدم برآورده کردن زمان اولیه اعلامی از طرف مشتری)، افق زمانی به بازه‌های کوچکتر تقسیم شده است. نتایج شبیه‌سازی گزارش شده توسط آن‌ها، نشان داد که پنجره زمانی متغیر در مقایسه با قید پنجره زمانی سخت، می‌تواند تعداد درخواست‌های رد شده را به اندازه بسیار زیادی کاهش دهد. هال و همکاران [۳]، یک سیستم مدل‌سازی برای شبیه‌سازی مساله وسیله نقلیه تلفنی پویا را ارائه دادند. سیستم، برنامه سفر خودروها را بر اساس درخواست مشتریان و هزینه عملیاتی تولید می‌کند. در این مدل وقفه‌ها و خرابی‌ها و سایر حوادث تصادفی مربوط به خودرو بررسی نمی‌شوند. گام‌هایی برای جاده‌ی یک درخواست جدید در زمانبندی فعلی ارائه شده است. بعد از جایابی درخواست جدید، رویه بازبهینه‌سازی اجرا می‌شود. هدف از بهینه‌سازی مجدد، جستجو برای بهبود زمانبندی فعلی است. پتوین و همکاران [۴]، از یک سیستم خیره برای اعزام وسیله استفاده کردند. آن‌ها در ابتدا تعدادی معیار برای انتخاب یک خودرو مناسب برای ارائه سرویس تعریف کردند و سپس هر معیار را وزن‌دهی کردند. در نهایت، با توجه به ویژگی‌های هر درخواست و هر خودرو در زمان دریافت درخواست، خودرو مناسب را تعیین می‌کنند. آن‌ها برتری عملکرد شبکه عصبی در مقایسه با مدل برنامه‌ریزی خطی را برای مساله خود، نشان دادند. یانگ و همکاران [۵]، رویکردی برای تخصیص بلادرنگ بار به کامیون‌ها را در یک سیستم ناوبری ارائه دادند. در این بررسی، هر کامیون فقط به یک درخواست در هر زمان پاسخ می‌دهد و تا تحویل بار خود نمی‌تواند درخواست دیگری را پاسخ دهد. همچنین هر درخواست یک پنجره زمانی برای بارگیری دارد. بعد از ورود هر درخواست یک تخصیص جدید صورت گرفته و مساله یکبار دیگر از ابتدا حل می‌شود. در پژوهشی دیگر، یانگ و همکاران [۶]، حالتی را بررسی کرده‌اند که در آن درخواست‌های حمل بار نامشخص بوده ولی مناطق درخواست‌کننده از قبل تعریف شده‌اند. هر کامیون فقط یک درخواست را در هر زمان اجرا می‌کند. هدف در مدل ارائه شده، ماکزیمم‌سازی عایدی کل شبکه است. پذیرش یا رد هر درخواست در زمان دریافت آن درخواست بوده و همزمان تخصیص کامیون به هر درخواست صورت می‌گیرد. در زمان ثبت هر

همزمان، تخصیص خودرو به هر درخواست صورت می‌گیرد. دو هدف که در تخصیص خودرو یا خودروها به هر درخواست به آن‌ها توجه شده است، عبارتند از: افزایش سطح رضایت مشتری از طریق کاهش فاصله بین زمان درخواستی و زمان ارائه خدمت و دیگری بهینه کردن عملکرد ارائه دهنده خدمات (اپراتور) با توجه به ویژگی‌هایی که در بخش بیان مساله به آن پرداخته شده است و از طریق وضع جریمه‌ها و پاداش‌های مناسب. برای زمان شروع سفر، یک پنجره زمانی ثابت وجود دارد که در این مقاله، از آن به عنوان بازه فرصت یاد شده است. مساله مورد مطالعه به گونه‌ای است که در مدل ارائه شده، نیازی به لحاظ کردن دو مفهوم صفبندی و ترکیب درخواست‌ها نیست. از ویژگی‌های دیگر این مدل، در نظر گرفتن مسافران همگن و وسایل نقلیه ناهمگن (وسایل با ظرفیت‌های متفاوت) است. افزون بر این، در مدل سیاست حق تقدم FCFS لحاظ می‌شود یعنی خدمت‌رسانی زودتر، به درخواست زودتر خواهد بود.

### ۳. بیان مساله

در این مقاله فرض می‌کنیم که تعدادی ایستگاه وجود دارد که خودروها در آن‌ها مستقر بوده و درخواست‌هایی نیز برای جابه‌جایی بین این ایستگاه‌ها در زمان‌های مختلف وارد سیستم می‌شود. دو وضعیت فعلی و پیشنهادی در ادامه توضیح داده می‌شوند.

#### ۱-۳. وضعیت فعلی

در وضعیت فعلی، درخواست‌ها حداکثر ۱۵ دقیقه قبل از اعزام به واحد نقلیه اعلام و اپراتور در صورت امکان خودرویی را به درخواست اختصاص می‌دهد. به عبارت دیگر، رزرو خودرو برای چند ساعت آینده امکان‌پذیر نیست. ایستگاه‌ها مستقل از یکدیگر مدیریت می‌شوند، به عبارت دیگر، اپراتور هر ایستگاه از برنامه اعزام خودروهای ایستگاه دیگر اطلاع نداشته و هر ایستگاه فقط به درخواست‌های ایستگاه خود پاسخ می‌دهد. همچنین هر خودرو پس از انجام ماموریت خود به ایستگاه اولیه خود برمی‌گردد. بعلاوه اپراتور در تخصیص و اعزام خودرو، به درخواست‌های نزدیک به هم توجه نمی‌نماید و برای هر درخواست، خودرو و یا خودروهای مجزایی را در نظر می‌گیرد.

#### ۲-۳. وضعیت پیشنهادی

در این مساله، به منظور بهبود عملکرد سیستم نقلیه تلفنی، باید از مدیریت یکپارچه برای تمام ایستگاه‌ها استفاده کنیم و به ویژگی‌های زیر نیز توجه نماییم:

- ۱- درخواست‌ها به صورت تنها رفت و یا رفت و برگشت (یک طرفه و یا دوطرفه) هستند.
- ۲- ترجیح داده می‌شود که خودروها در هر روز یک سقف برای ارائه سرویس داشته باشند. مثلاً حداکثر ۱۰ سرویس در روز (یک طرفه یا دوطرفه)

راننده جهت ارائه خدمت بوسیله خودرو نیز لحاظ شده است. افزون بر این، محدودیتی مربوط به وقفه ظهر (استراحت و نهار) برای راننده‌ها و ارائه خدمت نیز در نظر گرفته شده است. براکز و همکاران [۱۰]، مساله وسیله نقلیه تلفنی ناهمگن با چند ایستگاه را بررسی کردند. آن‌ها مدل را به صورت ایستا در نظر گرفتند یعنی درخواست‌ها قبل از برنامه‌ریزی مشخص هستند. از ویژگی‌های دیگر مدل آن‌ها، در نظر گرفتن کاربران و مسافران ناهمگن (سالم و معلول) و وسایل نقلیه ناهمگن (وسایل با ظرفیت‌های متفاوت) است. آن‌ها با تاکید بر منطقی بودن زمان حل مساله، برتری الگوریتم فوق ابتکاری خود را در رابطه با مسائل با اندازه بزرگ، در مقایسه با الگوریتم شاخه و برش نشان دادند. مالف و همکاران [۱۱]، رویکرد منطق فازی پویا را برای تخصیص خودرو به درخواست جدید و همچنین تعیین زمان سوار شدن مشتری ارائه دادند. آن‌ها به هزینه‌های حمل و نقل و همچنین راحتی و آسایش مشتری توجه نمودند. در این مدل، زمان رسیدن به مقصد را مشتری مشخص می‌کند. در این مدل همچنین همه خودروها در یک ایستگاه قرار دارند و همه آن‌ها دارای ظرفیت یکسان و هم نوع هستند. شاخص آسایش مشتری، مدت زمان حضور مشتری در خودرو بوده که می‌بایست مینیمم گردد. متدولوژی آن‌ها شامل دو بخش است. در قسمت اول، یک الگوریتم بهترین زمان سوار کردن و پیاده کردن را بر اساس ظرفیت، ماکزیمم زمان سفر و زمان پیاده شدن اعلامی از طرف مشتری، برای هر وسیله در ناوگان تعیین می‌کند. سپس در قسمت دوم، یک الگوریتم بهینه‌سازی بر پایه منطق فازی، بهترین وسیله را برای برآورده کردن رضایت مشتری انتخاب می‌کند. ناصری و منصور [۱۲]، یک الگوریتم دو مرحله‌ای برای حل مساله وسیله نقلیه تلفنی در حالت پویا ارائه نمودند. در مرحله اول تصمیم به پذیرش یا رد درخواست جدید گرفته می‌شود و خروجی مرحله دوم شامل مسیرهای بهبودیافته وسایل نقلیه است. در مدل آن‌ها سیاست حق تقدم FCFS لحاظ می‌شود یعنی خدمت‌رسانی زودتر، به درخواست زودتر خواهد بود. مدل آن‌ها از طریق کمینه‌کردن زمان انتظار، میزان حضور آن‌ها در وسیله نقلیه و میزان دیر رسیدن آن‌ها به مقصد، نارضایتی مسافران درخواست‌های رزرو شده را کمینه می‌کند. آن‌ها با مقایسه درصد پذیرش درخواست‌های جدید، نشان دادند که الگوریتم پیشنهادی آن‌ها نسبت به حال واقعی جواب بهتری به دست می‌دهد.

با توجه به مطالب ارائه شده در فوق در قالب پیشینه تحقیق، در این پژوهش، به مساله زمانبندی پویای وسیله نقلیه تلفنی پرداخته شده است، بدین معنی که در آن درخواست‌ها از قبل مشخص نیستند. هر خودرو می‌تواند به چند درخواست در هر زمان پاسخ دهد و تا رسیدن به ایستگاه بعدی نمی‌تواند درخواست دیگری را پاسخ دهد. همچنین مناطق درخواست‌کننده از قبل تعریف شده‌اند. پذیرش یا رد هر درخواست در زمان دریافت آن درخواست بوده و

- ۳- خودروها می‌توانند دارای ظرفیت‌های متفاوت باشند (سواری و یا مینی‌بوس)
- ۴- سرویس در هر ۵ دقیقه ( $\Delta=5$ ) قابل ارائه است. مثلا ساعت ۸:۰۰، ۸:۰۵، ۸:۱۰، ۸:۱۵ و ... برای این منظور افق زمانی ارائه سرویس در یک روز (مثلا ۱۲ ساعت) را به بازه های  $\Delta$  دقیقه‌ای تقسیم می‌کنیم.
- ۵- امکان ارائه یک سرویس (تخصیص یک خودرو) به چند درخواست وجود دارد.
- ۶- برای درخواست‌های جدید، ارائه سرویس می‌تواند تا یک زمان مشخص (بعنوان زمان فرصت)، جابه‌جا شود (زودتر و یا دیرتر). مثلا اگر در یک ایستگاه، خودرویی ساعت ۸ قصد حرکت به ایستگاه دیگری را دارد و درخواست جدیدی نیز برای ساعت ۸:۰۵ و یا ۷:۵۵ وجود دارد، این درخواست در صورت امکان برای ساعت ۸ می‌تواند برنامه‌ریزی شوند.
- ۷- تعداد خودروهایی که در یک زمان به درخواست‌های دو طرفه تخصیص می‌یابند، باید در حداقل ممکن باشند. به عبارت دیگر، در یک زمان مشخص برای یک درخواست دوطرفه، چنان‌چه هم بتوان یک خودرو برنامه‌ریزی نشده و هم بتوان دو خودرو برنامه‌ریزی شده را تخصیص داد، در مدل ترجیح داده می‌شود که بجای مشغول کردن دو خودرو برای آن مدت، یک خودرو مشغول گردد. لازم به ذکر است در این مدل، تعویض خودرو در طول سفر مجاز نمی‌باشد.
- ۸- خودروها بعد از پایان ماموریت خود، در ایستگاه مقصد باقی مانده و منتظر ماموریت بعدی خود خواهند بود.
- ۹- اولویت برنامه‌ریزی برای خودروها و در یک زمان مشخص و در یک ایستگاه مشخص، به ترتیب به صورت زیر است:
- ۹،۱- خودرویی که قصد اعزام به مقصد را دارد (برنامه‌ریزی شده است).
- ۹،۲- خودرویی که قصد اعزام به مقصد در بازه فرصت را دارد (برنامه‌ریزی شده است).
- ۹،۳- خودرویی که در مبدا است و سقف سرویس‌های خود را نرفته است.
- ۹،۴- خودرویی که در مبدا است و در بازه فرصت و سقف سرویس‌های خود را نرفته است.
- ۹،۵- خودرویی که در ایستگاه دیگری است و سقف سرویس‌های خود را نرفته است.
- ۹،۶- خودرویی که در ایستگاه دیگری است و در بازه فرصت و سقف سرویس‌های خود را نرفته است.
- ۹،۷- خودرویی که در مبدا است و سقف سرویس‌های خود را نرفته است.
- ۹،۸- خودرویی که در مبدا است و در بازه فرصت و سقف سرویس‌های خود را نرفته است.
- ۹،۹- خودرویی که در ایستگاه دیگری است و سقف سرویس‌های خود را نرفته است.
- ۹،۱۰- خودرویی که در ایستگاه دیگری است و در بازه فرصت و سقف سرویس‌های خود را نرفته است.
- ۱-۰- ترجیح داده می‌شود که خودروها از لحاظ تعداد سفرهای برنامه‌ریزی شده، یکسان باشند و بیشتر سفرها توسط یک خودرو یا تعداد خاصی از خودروها انجام نشود.
- ۱-۱- با توجه به ویژگی‌های ذکر شده در بندهای ۲، ۶، ۷ و ۹، هزینه‌هایی تعریف شده است که تابع هدف بر اساس آن‌ها تبیین گردیده است. این هزینه‌ها در بخش ۴،۲ به تفصیل شرح داده می‌شوند.

#### ۴. مدل سازی مساله

در این بخش متغیرهای استفاده شده در مدل معرفی و بعد قیود و تابع هدف تبیین می‌شوند. سپس چارچوب کار سیستم نمایش داده خواهد شد و در پایان به بررسی چند مثال و مورد مطالعه و وضعیت بهبود سیستم بر اثر اجرا نمودن مدل پیشنهادی پرداخته می‌شود.

#### ۴-۱. تعریف پارامترها و متغیرهای مدل

پارامترهای استفاده شده در مدل، در جدول ۱ معرفی شده‌اند:

جدول ۱. تعریف پارامترهای مدل

نام پارامتر	مفهوم
$I$	مجموعه تمام خودروها.
$i$	شمارنده خودروها.
$J$	مجموعه تمام ایستگاه‌ها.
$j$	شمارنده ایستگاه‌ها.

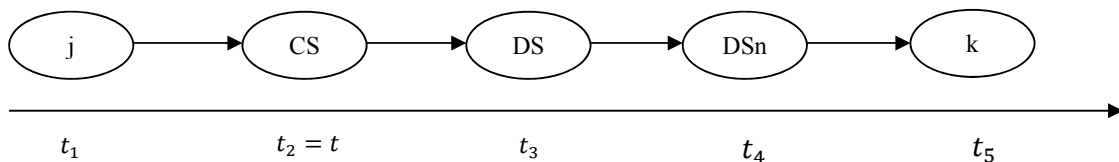
$\Delta$	فاصله زمانی بین دو سرویس‌دهی متوالی.
$T$	زمان درخواستی (زمان شروع ماموریت).
$PT$	باله بازه فرصت در زمان $t$ ( $[t - PT, t + PT]$ ).
$R$	تعداد مسافری در درخواست ارائه شده.
$ST12$	نوع سرویس درخواستی { ۱: یک طرفه - ۲: دوطرفه }
$CS$	ایستگاه مبدا در درخواست ارائه شده.
$DS$	ایستگاه مقصد در درخواست ارائه شده.
$DSn$	ایستگاه مقصد دوم در سفر دوطرفه.
$dt$	زمان انجام ماموریت در سفر دو طرفه.
$MS_i$	سقف تعداد سرویس‌های روزانه خودروی $i$ .
$NMS_i$	تعداد سرویس‌هایی که تا کنون برای خودرو $i$ برنامه‌ریزی شده است.
$S_{j,t}$	مجموعه خودروهایی که در زمان $t$ در ایستگاه $j$ هستند.
$\mathcal{V}_{i,t}$	ظرفیت خودرو $i$ در زمان $t$ .
$D_{i,t}$	مقصد خودرو $i$ در زمان $t$ ( $j$ : مقصد، ایستگاه $j$ بوده و می‌تواند درخواست دیگری را به این ایستگاه بپذیرد؛ $-j$ : مقصد، ایستگاه $j$ بوده ولی نمی‌تواند درخواست دیگری را بپذیرد؛ قبل از برنامه‌ریزی صفر است).
$ST_{i,t}$	نوع سفر خودرو $i$ در زمان $t$ { ۱: یک طرفه - ۲: دو طرفه - قبل از برنامه‌ریزی صفر است }
$DT_{k,j}$	متوسط فاصله زمانی بین ایستگاه $k$ و ایستگاه $j$ .
$\lambda > 0$	جریمه استفاده بیش از یک مرتبه از یک خودرو.
$\beta > 0$	جریمه استفاده از یک خودرو بیش از سقف مجاز.
$\delta > 0$	جریمه استفاده از خودرو در زمان فرصت.
$c_{k,j} > 0$	هزینه استفاده از خودرو ایستگاه $k$ در ایستگاه $j$ .
$c_0 < 0$	هزینه (پاداش) استفاده از خودرویی که برنامه‌ریزی شده است.
$cST$	هزینه استفاده از چند خودرو در مسافرت‌های دوطرفه.

طول انجامیدن ماموریت (مدت زمانی که در سفرهای دوطرفه، در ایستگاه  $DS$  توقف خواهند داشت) و همچنین ایستگاه مقصد نهایی  $DSn$  همراه باشد. سیستم ابتدا خودروهایی را که می‌توانند برای انجام این ماموریت انتخاب شوند تعیین می‌کند. شکل ۱، یک حالت کلی از وضعیت خودرو  $i$  در زمان‌های  $t_1, t_2 = t, t_3, t_4, t_5$  و  $t_5$  برای تخصیص به درخواست فوق را نشان می‌دهد که در آن  $t \in [T - \Delta PT, T + \Delta PT]$

متغیر تصمیم نیز در مدل،  $X_{i,t}$  می‌باشد که وضعیت انتخاب خودرو  $i$  در زمان  $t$  را نشان می‌دهد (۱: انتخاب - ۰: عدم انتخاب).

#### ۴-۲. شرح مجموعه‌ها، قیود و رابطه‌ها و تابع هدف

فرض می‌کنیم که برای زمان  $T$  درخواستی برای اعزام  $R$  نفر از ایستگاه  $CS$  به ایستگاه  $DS$  به صورت  $ST12$  در سیستم ثبت شده است. این درخواست می‌تواند با اعلام  $dt$  به عنوان مدت زمان به



شکل ۱. حالت کلی از وضعیت یک خودرو

است. تا قبل از تخصیص خودرو  $i$  به این درخواست، این خودرو در زمان  $t_1$  در ایستگاه  $j$  و در زمان  $t_5$  در ایستگاه  $k$  است. حال شرایط لازم برای انتخاب این خودرو و تخصیص آن به درخواست مذکور در زمان  $t$ ،  $t_2 = t$ ، در ادامه تبیین می‌شوند.

برای کلیه بازه‌های زمانی تعریف شده در افق زمانی، از جمله زمان‌های اعلام شده در شکل ۱، مجموعه اطلاعات مربوط به ظرفیت خالی، ایستگاهی که خودرو در آن قرار دارد، مقصد خودرو و نوع سفر آن، برای کلیه خودروها از جمله خودرو  $i$ ، در اختیار

- هر کدام از شرایط زیر که برقرار باشد، خودرو نمی تواند برای آغاز ماموریت در زمان  $t \in [T - \Delta PT, T + \Delta PT]$  انتخاب شود:
- خودرو  $i$  در زمان  $t$  در مبداء بوده (یعنی  $i \in S_{CS,t}$ ) و برنامه ریزی نشده باشد، به عبارت دیگر:  $D_{i,t} = 0$
  - خودرو  $i$  در زمان  $t$  در مبداء بوده (یعنی  $i \in S_{CS,t}$ ) و خودرو  $i$  در زمان  $t$  در مبداء بوده (یعنی  $i \in S_{CS,t}$ ) برای ایستگاه مقصد برنامه ریزی شده باشد، به عبارت دیگر:  $D_{i,t} = DS$
- بنابراین مجموعه  $SD1_t$  را به عنوان مجموعه تمام خودروهای  $i \in S_{CS,t}$  برای آغاز ماموریت در زمان  $t$  معرفی می کنیم که شرایط لازم ذکر شده در فوق را دارا باشند. به عبارت دیگر:

$$SD1_t = \{(i, CS) \mid i \in S_{CS,t}, D_{i,t}(DS - D_{i,t}) = 0\} \quad (۱)$$

همچنین برای خودروهایی که در زمان  $t$  در ایستگاههایی غیر از مبداء هستند نیز باید:

- خودرو  $i$  در زمان  $t$  در ایستگاهی غیر از مبداء بوده (یعنی  $i \in S_{j,t}$  و  $j \neq CS$ )، در زمان  $t$  و  $t - DT_{CS,j}$  برنامه ریزی نشده باشد (یعنی  $D_{i,t} = 0$  و  $D_{i,t-DT_{CS,j}} = 0$ )، به عبارت دیگر:

$$|D_{i,t-DT_{CS,j}}| + |D_{i,t}| = 0 \quad (۲)$$

- خودرو  $i$  در زمان  $t$  در ایستگاهی غیر از مبداء بوده (یعنی  $i \in S_{j,t}$  و  $j \neq CS$ )، در زمان  $t - DT_{CS,j}$  برای مبداء برنامه ریزی شده باشد (یعنی  $D_{i,t-DT_{CS,j}} = CS$ ) و در زمان  $t$  برنامه ریزی نشده باشد (یعنی  $D_{i,t} = 0$ )، به عبارت دیگر:

$$|CS - D_{i,t-DT_{CS,j}}| + |D_{i,t}| = 0 \quad (۳)$$

- خودرو  $i$  در زمان  $t$  در ایستگاهی غیر از مبداء بوده (یعنی  $i \in S_{j,t}$  و  $j \neq CS$ )، در زمان  $t - DT_{CS,j}$  برای مبداء برنامه ریزی شده باشد (یعنی  $D_{i,t-DT_{CS,j}} = CS$ ) و در زمان  $t$  نیز برای مقصد  $DS$  برنامه ریزی شده باشد (یعنی  $D_{i,t} = DS$ )، به عبارت دیگر:

$$|CS - D_{i,t-DT_{CS,j}}| + |DS - D_{i,t}| = 0 \quad (۴)$$

- بنابراین مجموعه  $SD2_t$  را مجموعه تمام خودروهای  $i \in S_{j,t}$  که  $j \neq CS$  برای آغاز ماموریت در زمان  $t$  معرفی می کنیم که شرایط لازم ذکر شده در فوق را دارا باشند. یعنی:

$$SD2_t = \left\{ (i, j) \mid \left( |D_{i,t-DT_{CS,j}}| + |D_{i,t}| \right) \left( |CS - D_{i,t-DT_{CS,j}}| + |D_{i,t}| \right) \left( |CS - D_{i,t-DT_{CS,j}}| + |DS - D_{i,t}| \right) = 0 \right\} \quad (۵)$$

- مجموعه  $SD_t$  را اجتماع دو مجموعه  $SD1_t$  معرفی شده در (۱) و مجموعه  $SD2_t$  معرفی شده در (۲) در نظر می گیریم، یعنی:

$$SD_t = SD1_t \cup SD2_t$$

- اگر نوع سفر درخواستی دوطرفه باشد ( $ST12 = 2$ ) و  $ST_{i,t-DT_{CS,j}} = 2$  خودرو  $i$  در زمان  $t - DT_{CS,j}$  انتخاب نخواهد شد یعنی  $SD_{i,t-DT_{CS,j}} = 0$
- اگر نوع سفر درخواستی یکطرفه باشد ( $ST12 = 1$ ) و  $ST_{i,t-DT_{CS,j}}$  هر چه باشد، خودرو  $i$  در زمان  $t - DT_{CS,j}$  می تواند انتخاب شود.

- بنابراین مجموعه  $ST_t$  را مجموعه تمام خودروهایی مانند  $i$  ( $(i, j) \in SD_t$ ) برای آغاز ماموریت در زمان  $t$  معرفی می کنیم که شرایط ذکر شده در فوق در خصوص تناسب نوع سفر را دارا باشند. به عبارت دیگر:

$$ST_t = \{(i, j) \mid (i, j) \in SD_t, ST_{i,t-DT_{CS,j}} + ST12 \leq 3\} \quad (۶)$$

- حال به بررسی رو به جلو امکان ارائه سفر می پردازیم. در صورتی که در زمان  $t$  خودرو  $i$  از ایستگاه مبداء انتخاب شود ( $i \in S_{CS,t}$ ) آن گاه باید از زمان حرکت آن تا رسیدن به مقصد یکی از دو حالت زیر رخ دهد:

- یا خودرو برنامه ریزی نشده باشد یعنی

$$\forall t' = 1, \dots, DT_{CS,DS} - 1: D_{i,t+t'} = 0 \quad (7)$$

- یا برای ایستگاه مقصد ( $DS$ ) برنامه‌ریزی شده باشد یعنی  $\forall t' = 1, \dots, DT_{CS,DS} - 1: D_{i,t+t'} + DS = 0$   
در صورتی که در زمان  $t$  خودرو  $i$  از ایستگاهی غیر از مبدا انتخاب شود (یعنی  $CS \neq j$  و  $i \in S_{j,t}$ )، آن‌گاه افزون بر شرایط بالا (از زمان حرکت از مبدا به مقصد) باید از زمان حرکت از ایستگاه خود تا رسیدن به مبدا یکی از دو حالت زیر رخ دهد:  
- یا خودرو برنامه‌ریزی نشده باشد یعنی

$$\forall t' = 1, \dots, DT_{CS,j} - 1: D_{i,t-DT_{CS,j}+t'} = 0 \quad (8)$$

- یا برای ایستگاه مبدا ( $CS$ ) برنامه‌ریزی شده باشد یعنی

$$\forall t' = 1, \dots, DT_{CS,j} - 1: D_{i,t-DT_{CS,j}+t'} + CS = 0 \quad (9)$$

بنابراین مجموعه  $SF1_t$  را مجموعه تمام خودروهایی مانند  $i \in SD_t$  (( $i, j$ )) برای آغاز ماموریت در زمان  $t$  معرفی می‌کنیم که شرایط ذکر شده در فوق در خصوص امکان ارائه سفر با بررسی رو به جلو را دارا باشند. لذا:

$$SF1_t = \left\{ (i, j) \mid \left( \sum_{t'=1}^{DT_{CS,j}-1} D_{i,t-DT_{CS,j}+t'} (D_{i,t-DT_{CS,j}+t'} + CS) \right) + \left( \sum_{t'=1}^{DT_{CS,DS}-1} D_{i,t+t'} (D_{i,t+t'} + DS) \right) = 0 \right\} \quad (10)$$

پایان سفر درخواست شده فعلی، ( $t_n$ ) کوچکتر باشد. بنابراین مجموعه  $SF2_t$  را مجموعه تمام خودروهایی مانند  $i \in SD_t$  (( $i, j$ )) برای آغاز ماموریت در زمان  $t$  معرفی می‌کنیم که شرط ذکر شده در فوق در خصوص تداخل این سفر خودرو  $i$  با سفر بعدی آن را دارا باشند. بنابراین:

در ادامه به بررسی تداخل این سفر خودرو  $i \in SD_t$  (( $i, j$ )) با سفر بعدی آن می‌پردازیم. چنانچه مقرر گردد خودرو  $i \in SD_t$  (( $i, j$ )) در زمان  $t$  به درخواست جاری اختصاص یابد، برای این خودرو، باید زمان پایان ماموریت آن (یعنی  $t + DT_{CS,j} + DT_{CS,DS} + dt$ ) از نزدیکترین زمان برنامه‌ریزی شده این خودرو، پس از

$$SF2_t = \left\{ (i, j) \mid \left( t_n - t - DT_{CS,DS} - dt - DT_{DS,DSn} - DT_{D_{i,t_n}, D_{S_n}} \right) > 0, \right. \\ \left. t_n = \min\{t' \mid D_{i,t'} > 0, t' > t + DT_{CS,DS} + dt + DT_{DS,DSn}\} \right\} \quad (11)$$

مجموعه خودروهایی که بر روی انتخاب آن‌ها تصمیم‌گیری می‌شود، زیرمجموعه‌ای از  $SD_t$  هستند که شرایط ذکر شده در مجموعه‌های  $ST_t$  معرفی شده در (۶)،  $SF1_t$  معرفی شده در (۱۰) و  $SF2_t$  معرفی شده در (۱۱) را نیز داشته باشند. بنابراین مجموعه  $SI_t$  را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$SI_t = ST_t \cap SF1_t \cap SF2_t \quad (12)$$

همچنین مجموعه  $SZ_t$  را خودروهایی از مجموعه  $SI_t$  تعریف می‌کنیم که تعداد سفرهای برنامه‌ریزی شده برای آن‌ها از سقف مجاز از قبل تعیین شده عبور کرده است و برای زمان  $t$  نیز برنامه‌ریزی نشده باشند. بنابراین داریم:

$$SZ_t = \{(i, j) \mid (i, j) \in SI_t, NMS_i > MS_i, D_{i,t} = 0\} \quad (13)$$

بمنظور پوشش دادن تقاضا  $R$ ، برای  $t \in [T - \Delta P T, T + \Delta P T]$ ، از میان خودروهای مجموعه  $SI_t$ ، خودرو یا خودروها باید بگونه‌ای انتخاب شوند که حداقل به اندازه  $R$  نفر ظرفیت خالی در میان آن‌ها وجود داشته باشد. این قید به صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود:

$$\sum_{t=T-\Delta P T}^{T+\Delta P T} \sum_{(i,j) \in SI_t} y_{i,t-DT_{CS,j}} x_{i,t-DT_{CS,j}} \geq R \quad (14)$$

علاوه بر این، به دلیل اینکه اگر خودرویی در زمانی متعلق به بازه فرصت انتخاب شود دیگر امکان انتخاب آن در زمان دیگری از بازه فرصت وجود ندارد، پس به منظور عدم انتخاب مجدد یک خودرو در بازه فرصت قید زیر را تعریف می‌کنیم:

$$\sum_{t=T-\Delta P T}^{T+\Delta P T} x_{i,t-DT_{CS,j}} \leq 1 \quad \forall (i, j) \in \bigcup_{t=T-\Delta P T}^{T+\Delta P T} SI_t \quad (15)$$



در ادامه اجزاء تابع هدف مساله بیان می‌شوند. طراحی تابع هدف ارائه شده در این جا به گونه‌ای است که باید مجموع هزینه‌هایی را که در ادامه به آن‌ها خواهیم پرداخت، کمینه کند. هزینه‌ها عبارتند از:

۱- هزینه استفاده بیش از سقف تعیین شده برای یک خودرو در روز:

$$\sum_{t=T-\Delta PT}^{T+\Delta PT} \sum_{(i,j) \in SZ_t} x_{i,t-DT_{CS,j}} (NMS_i - MS_i + 1) \beta \quad (16)$$

بنابراین، برای  $t \in [T - \Delta PT, T + \Delta PT]$  و برای هر خودرو مانند  $i \in SI_t$ ، که در زمان  $t - DT_{CS,j}$  برنامه‌ریزی نشده است (یعنی  $D_{i,t-DT_{CS,j}} = 0$ )، هزینه‌ای متناسب با تعداد سفرهای برنامه‌ریزی شده برای آن خودرو لحاظ می‌شود، یعنی:

$$\sum_{t=T-\Delta PT}^{T+\Delta PT} \sum_{\substack{(i,j) \in SI_t \\ D_{i,t-DT_{CS,j}}=0}} \lambda x_{i,t-DT_{CS,j}} NMS_i \quad (17)$$

برنامه‌ریزی نشده باشد (یعنی  $D_{i,t-DT_{CS,j}} = 0$ )، هزینه تخصیص خودرو در بازه فرصت و همچنین از ایستگاهی غیر از مبدا  $CS$  به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$\sum_{t=T-\Delta PT}^{T+\Delta PT} \sum_{\substack{(i,j) \in SI_t \\ D_{i,t-DT_{CS,j}}=0}} \left( c_{j,CS} + \left| \frac{t-T}{PT} \right| \delta \right) x_{i,t-DT_{CS,j}} \quad (18)$$

با اولویت‌های اعلام شده (بند ۹ بخش ۳)، ترجیح می‌دهیم این گونه خودروها به درخواست‌ها تخصیص داده شوند، لذا پاداشی (جریمه منفی) برای آن تخصیص در نظر گرفته شده است. البته با توجه به موقعیت زمانی آن در بازه فرصت، جریمه‌ای متناسب با فاصله تا زمان درخواستی  $T$ ، برای آن لحاظ می‌شود. لذا در مجموع داریم:

$$\sum_{t=T-\Delta PT}^{T+\Delta PT} \sum_{\substack{(i,j) \in SI_t \\ D_{i,t-DT_{CS,j}} > 0}} \left( c_0 + \left| \frac{t-T}{PT} \right| \delta \right) x_{i,t-DT_{CS,j}} \quad (19)$$

با اولویت‌های اعلام شده (بند ۹ بخش ۳)، ترجیح می‌دهیم این گونه خودروها به درخواست‌ها تخصیص داده شوند، لذا پاداشی (جریمه منفی) برای آن تخصیص در نظر گرفته شده است. البته با توجه به موقعیت زمانی آن در بازه فرصت، جریمه‌ای متناسب با فاصله تا زمان درخواستی  $T$ ، برای آن لحاظ می‌شود. لذا در مجموع داریم:

۴- هزینه استفاده از خودرویی که قصد اعزام دارد (برنامه‌ریزی شده است):

برای  $t \in [T - \Delta PT, T + \Delta PT]$  و در صورت انتخاب هر خودرو مانند  $i \in SI_t$ ، که برنامه‌ریزی شده باشد و بتواند درخواست دیگری را بپذیرد (یعنی  $D_{i,t-DT_{CS,j}} > 0$ )، چون مطابق

هزینه استفاده از چند خودرو در مسافرت‌های دو طرفه:

با توجه به ویژگی بیان شده در بخش بیان مساله برای سیستم موردنظر (بند ۷ بخش ۳)، به منظور قابل استفاده و قابل برنامه‌ریزی بودن بیشتر خودروها در افق زمانی موردنظر، برای

(۲۰)

$$\sum_{t=T-\Delta PT}^{T+\Delta PT} \sum_{\substack{(i,j) \in SI_t \\ D_{i,t-DT_{CS,j}} \geq 0}} cST(ST12 - 1) x_{i,t-DT_{CS,j}}$$

### ۳-۴. مدل ریاضی نهایی

با توجه به مطالب ذکر شده در بالا، مدل ریاضی نهایی مساله مورد بحث در این مقاله به صورت زیر خواهد بود:

$$\min \sum_{t=T-\Delta PT}^{T+\Delta PT} \sum_{(i,j) \in SZ_t} x_{i,t-DT_{CS,j}} (NMS_i - MS_i + 1) \beta$$

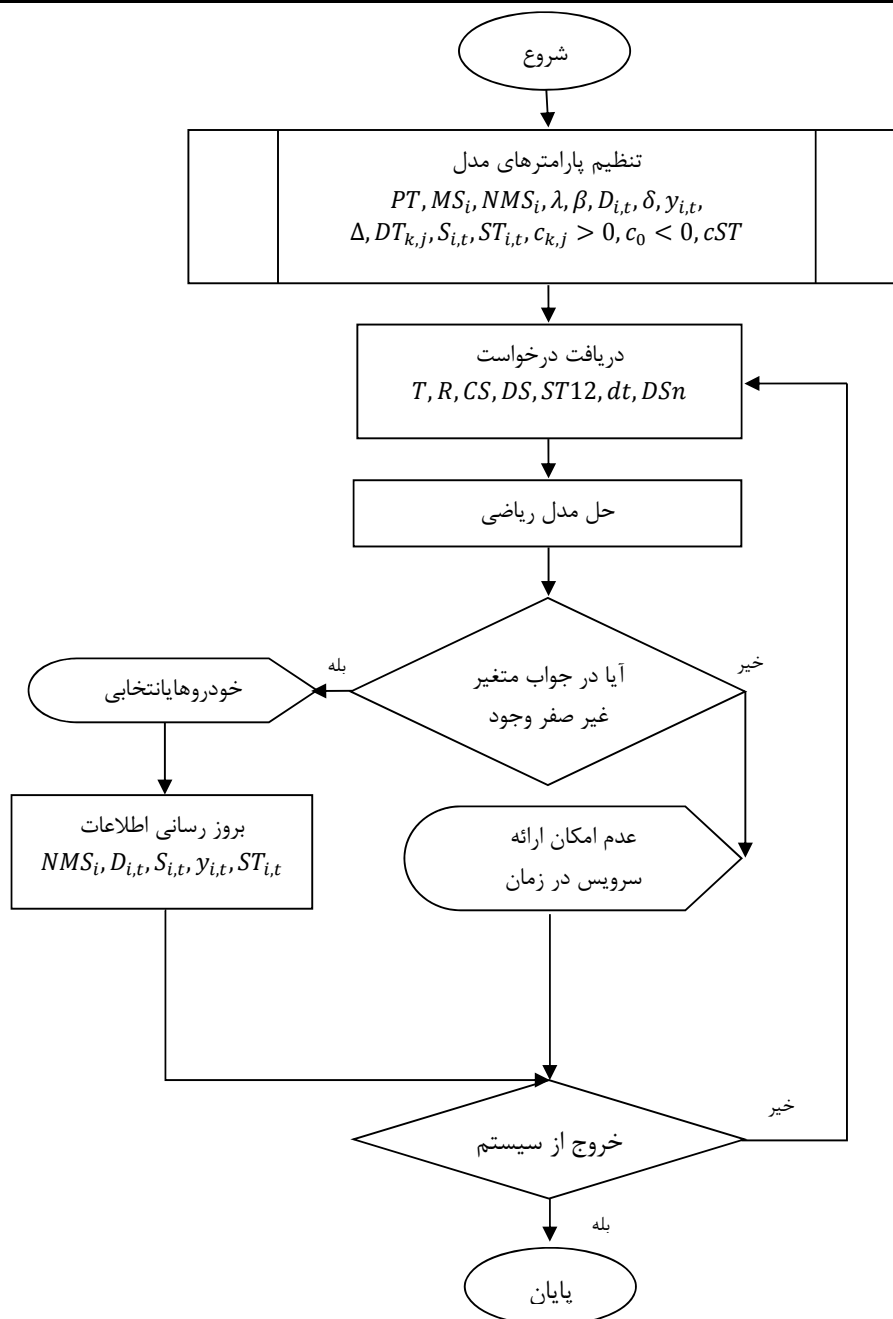
$$\begin{aligned}
& + \sum_{t=T-\Delta PT}^{T+\Delta PT} \sum_{\substack{(i,j) \in SI_t \\ D_{i,t-DT_{CS,j}}=0}} \lambda x_{i,t-DT_{CS,j}} NMS_i \\
& + \sum_{t=T-\Delta PT}^{T+\Delta PT} \sum_{\substack{(i,j) \in SI_t \\ D_{i,t-DT_{CS,j}}=0}} \left( c_{j,CS} + \left| \frac{t-T}{PT} \right| \delta \right) x_{i,t-DT_{CS,j}} \\
& + \sum_{t=T-\Delta PT}^{T+\Delta PT} \sum_{\substack{(i,j) \in SI_t \\ D_{i,t-DT_{CS,j}} > 0}} \left( c_0 + \left| \frac{t-T}{PT} \right| \delta \right) x_{i,t-DT_{CS,j}} \\
& + \sum_{t=T-\Delta PT}^{T+\Delta PT} \sum_{\substack{(i,j) \in SI_t \\ D_{i,t-DT_{CS,j}} \geq 0}} cST(ST12 - 1) x_{i,t-DT_{CS,j}} \\
& \text{s. t.} \tag{21}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{t=T-\Delta PT}^{T+\Delta PT} \sum_{(i,j) \in SI_t} y_{i,t-DT_{CS,j}} x_{i,t-DT_{CS,j}} \geq R \\
& \sum_{t=T-\Delta PT}^{T+\Delta PT} x_{i,t-DT_{CS,j}} \leq 1 \quad \forall (i,j) \in \bigcup_{t=T-\Delta PT}^{T+\Delta PT} SI_t \\
& x_{i,t-DT_{CS,j}+\Delta p} \text{ bin} \quad \forall j \in J, \quad \forall i \in I, \quad \forall p = -PT, \dots, PT
\end{aligned}$$

مجددا یادآوری می‌شود که قید اول مربوط به محدودیت ظرفیت بوده و قید دوم مربوط به محدودیت انتخاب یکبار خودرو در بازه فرصت می‌باشد.

#### ۴-۴. چارچوب حل مساله

در شکل ۲، نحوه کار سیستم نقلیه پیشنهادی نمایش داده شده است:



شکل ۲. نحوه کار سیستم نقلیه پیشنهادی

۴-۵. بررسی مدل و حل مثال عددی

در این بخش با ارائه مثال‌هایی، عملکرد بخش‌های مختلف مدل بررسی می‌گردد و در انتها نیز نتایج حاصل از اجرای مدل در مطالعه موردی تحلیل می‌شود. با توجه به اولویت‌های تبیین شده

در بخش بیان مساله و همچنین ویژگی‌های مدل (بخش ۳ را نگاه کنید)، در تمامی مثال‌های این بخش مقادیر زیر برای پارامترهای مدل در نظر گرفته شده است:

$$\lambda = 3, \beta = 40, \delta = 2, c_0 = -5, c_{ST} = 1000, PT = 2, \forall i : y_i = 4 \tag{22}$$

حالی را در نظر می‌گیریم که ۳ ایستگاه و ۶ خودرو وجود دارند. فاصله زمانی تقریبی بین ایستگاه‌ها و نحوه توزیع اولیه خودروها در ایستگاه‌ها در جدول ۲ آمده است:

جدول ۲. فاصله زمانی تقریبی بین ایستگاه‌ها و نحوه توزیع اولیه خودروها در ایستگاه‌ها

ایستگاه	۱	۲	۳
۱	۰	۳	۲
۲	۳	۰	۴
۳	۲	۴	۰

**مثال ۱:** سیستم را در حال آغازین (یعنی تا کنون درخواستی وارد سیستم نشده است) در نظر می‌گیریم. درخواستی با مشخصات  $(10, 2, 1, 2, 2, 5, 1)$  وارد سیستم شده و خودرو ۱ برای آن انتخاب می‌گردد. درخواست بعدی با مشخصات  $(40, 2, 1, 3, 1, 0, 0)$  در سیستم ثبت می‌شود. دو خودرو ۱ و ۲ با توجه به درخواست ثبت شده قبلی، در زمان ۴۰ در ایستگاه ۱ می‌باشند. دلیل اینکه برای خودرو ۱ تا کنون یک سفر برنامه‌ریزی شده است (درخواست قبلی) و می‌خواهیم سفرها به صورت متوازن بین خودروها توزیع گردند لذا خودرو ۲ به این درخواست اختصاص می‌یابد.

**مثال ۲:** سیستم را در حال آغازین (یعنی تا کنون درخواستی وارد سیستم نشده است) در نظر می‌گیریم. درخواستی با مشخصات  $(20, 1, 1, 3, 1, 0, 0)$  وارد سیستم می‌شود و خودرو ۱ برای ماموریت در زمان ۲۰ انتخاب می‌شود. درخواست دیگری با مشخصات  $(19, 2, 1, 3, 2, 3, 1)$  وارد سیستم می‌شود. با توجه به این که ۱۹ بازه فرصت زمان ۲۰ قرار دارد (یعنی  $20 - PT, 20 + PT$ ) در  $[PT]$ ، و خودروی ۱ قصد اعزام به ایستگاه ۳ از ایستگاه ۱ را دارد، پس مجدداً خودروی ۱ برای این ماموریت انتخاب می‌شود. درخواست دیگری با مشخصات  $(22, 1, 1, 3, 2, 3, 2)$  وارد سیستم می‌گردد. این درخواست نیز در بازه فرصت زمان ۲۰ قرار دارد، ولی دلیل اینکه نوع سفر خودرو ۱ دوطرفه بوده و نوع سفر درخواست فعلی نیز دوطرفه است نمی‌تواند این درخواست به این خودرو تخصیص یابد و بنابراین خودرو ۲ را که در آن زمان در ایستگاه ۱ مستقر است، انتخاب می‌شود.

در ادامه درخواستی با مشخصات  $(19, 3, 2, 3, 2, 2, 1)$  وارد سیستم شده که خودرو ۳ برای آن انتخاب می‌شود. درخواست بعدی با مشخصات  $(25, 3, 3, 1, 2, 3, 3)$  را در نظر می‌گیریم. در زمان ۲۵ دو خودرو ۱ و ۳ با ظرفیتهای خالی ۲ و ۱ نفر به صورت یک طرفه قصد حرکت از ایستگاه ۳ به سوی ایستگاه ۱ را دارند که می‌توان ۳ نفر درخواست فعلی را به آن‌ها اختصاص داد. اما بدلیل اینکه درخواست فعلی ۲ طرفه است و استفاده بیش از ۱ خودرو به صورت دو طرفه، هزینه زیادی را به مدل تحمیل می‌کند لذا خودرو ۶ به این درخواست تخصیص داده می‌شود. اما در ادامه درخواست  $(25, 3, 3, 1, 1, 0, 0)$  وارد سیستم می‌شود که به دو خودرو ۱ و ۳ تخصیص می‌یابد.

افزون بر این، هزینه استفاده از خودروهای یک ایستگاه در ایستگاه دیگر، یکسان و برابر با ۳۰ واحد در نظر گرفته شده است. افق زمانی ۸ ساعت نیز به بازه‌های  $\Delta = 5$  دقیقه‌ای تقسیم شده است که بدون ایجاد نقص در حل مساله، ما زمان را به صورت ۱ تا ۹۶  $(= (60 \div 5) \times 8)$  در مدل لحاظ می‌کنیم و با این تغییر، در مدل  $\Delta = 1$  خواهد شد. همچنین سقف تعداد سفرهای روزانه را برای تمامی خودروها، ۵ تعریف می‌کنیم. هر درخواست در قالب ۷ تایی  $(T, R, CS, DS, ST12, dt, DSn)$  وارد سیستم می‌شود که بیان می‌کند که در زمان  $T$ ،  $R$  نفر قصد اعزام از ایستگاه  $CS$  به ایستگاه  $DS$  داشته و نوع سفر آن‌ها  $ST12$  است. آن‌ها به مدت  $dt$  در  $DS$  بوده و سپس به  $DSn$  خواهند رفت.

بعد از برنامه‌ریزی هر درخواست، اطلاعات موجود در سیستم بروزرسانی می‌گردد. بدین گونه که خودرو (های) انتخابی در مدت زمان حرکت از یک ایستگاه به ایستگاه دیگر به هیچ ایستگاهی تعلق ندارند. افزون بر این، از زمان شروع ماموریت تا زمان پایان آن، ظرفیت خالی آن‌ها به اندازه  $R$  کاهش می‌یابد. همچنین  $D_{i,t}$  برای خودرو(های) انتخابی، در زمان حرکت از ایستگاه  $Z$  به سوی ایستگاه  $k$ ، برابر با  $k$  و در مدت زمان حرکت به سمت ایستگاه  $k$  برابر  $k -$  خواهد بود. برای سفرهای دوطرفه نیز در مدت زمانی که در ایستگاه  $DS$  هستند مقدار  $D_{i,t}$  برابر با  $DS -$  است. لازم به ذکر است هر جابه‌جایی بین دو ایستگاه، یک واحد به تعداد سفرهای برنامه‌ریزی شده خودرو می‌افزاید. در خصوص نوع سفر خودرو (های) انتخابی نیز، چنانچه خودرو (ها) از ایستگاهی غیر از مبدا باشند، فارغ از نوع درخواست، در مدت زمان حرکت از ایستگاه خود تا رسیدن به ایستگاه مبدا، نوع سفر آن‌ها (یعنی  $ST_{i,t}$ ) برابر ۲ خواهد بود. همچنین در سفرهای دوطرفه برای درخواست فعلی، از زمان حرکت از ایستگاه  $DS$  به سوی ایستگاه  $DSn$  نوع سفر خودرو (های) انتخابی برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود. بدیهی است که اگر برای خودرویی بیش از یک درخواست برنامه‌ریزی شود و یکی از آن درخواست‌ها دو طرفه باشد، آنگاه نوع سفر خودرو به صورت دو طرفه لحاظ می‌گردد.

مثال ۳ (مطالعه موردی): در مطالعه موردی، شرکتی در نظر گرفته شده است که ۵ منطقه کاری بعنوان ۵ ایستگاه داشته و فاصله زمانی تقریبی بین هر ایستگاه و همچنین نحوه استقرار ۳۵ خودرو در ابتدای هر روز در ایستگاهها در جدول ۳ آمده است:

جدول ۳. فاصله زمانی تقریبی بین ایستگاهها و نحوه توزیع اولیه خودروها در ایستگاهها (مطالعه موردی)

	ایستگاه	۱	۲	۳	۴	۵
خودروهای مستقر در ایستگاه	خودرو ۱ تا ۴	۱	۰	۳	۴	۲
	خودرو ۵ تا ۱۲	۲	۳	۰	۲	۴
	خودرو ۱۳ تا ۱۷	۳	۴	۲	۰	۳
	خودرو ۱۸ تا ۳۰	۴	۲	۴	۳	۰
	خودرو ۳۱ تا ۳۵	۵	۵	۳	۴	۳

مدل  $\Delta = 1$  خواهد شد. همچنین سقف تعداد سفرهای روزانه را برای تمامی خودروها، ۱۰ تعریف شده است. برای مساله فوق، دو روش برنامه‌ریزی (فعلی و پیشنهادی) برای مدت ۳۰ روز کاری و به طور متوسط ۳۵۲ درخواست در روز، اجرا شد. جدول ۴ شاخص‌هایی که برای مقایسه دو روش استفاده شده‌اند و مقدار هر یک در هر دو روش را نشان می‌دهد:

افزون بر این، هزینه استفاده از خودروهای یک ایستگاه در ایستگاه دیگر، یکسان و برابر با ۳۰ واحد در نظر گرفته شده است. افق زمانی ۱۲ ساعت کاری نیز به بازه‌های  $\Delta = 5$  دقیقه‌ای تقسیم شده است که بدون ایجاد نقص در حل مساله، زمان به صورت ۱ تا  $144 (= 12 \times (5 \div 65))$  در مدل لحاظ می‌شود و با این تغییر، در

جدول ۴. وضعیت شاخص‌های استفاده شده برای مقایسه دو روش

شاخص	روش فعلی	روش پیشنهادی
متوسط تعداد درخواست‌های قبول شده	۱۸۵	۳۱۵
متوسط تعداد درخواست‌های رد شده	۱۶۷	۳۷
متوسط تاخیر برای درخواست‌های قبول شده (دقیقه)	۴	۱۶۵
متوسط کاهش زمان استفاده از خودروها در روز (دقیقه)	۲۴۵	۶۸۵
متوسط درصد مسافت کم شده در روز برای درخواست‌های قبول شده	٪۷	٪۱۰

درخواست تقریباً ۴ ثانیه است. همچنین مساله برنامه‌ریزی صفر و یک تبیین شده، با کمک الگوریتم شاخه و کران حل شده است. این الگوریتم برای این مدل و این حجم از درخواست‌ها، با زمان کاملاً منطقی برنامه‌ریزی و عمل تخصیص خودرو را انجام می‌دهد.

### ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی، سعی شده است تا مدلی کاربردی‌پذیر برای شرایط واقعی ارائه گردد. در مدل پیشنهادی، خودروها و درخواست‌ها به صورت یکپارچه مدیریت می‌شوند. هر خودرو در پایان هر ماموریت خود، در ایستگاه مقصد منتظر ماموریت بعدی خواهد ماند. بمنظور تخصیص خودرو به هر درخواست اولویت‌هایی تبیین شده است که اثر آن‌ها از طریق هزینه (پاداش) اعمال شده در تابع هدف، در مدل لحاظ می‌گردد. نتایج بدست آمده از اجرای مدل برنامه‌ریزی پیشنهادی، نشان می‌دهد که بهبود موثری در عملکرد سیستم نقلیه ایجاد شده و هزینه حمل و نقل در شرکت بسیار کاهش می‌یابد. عبارت دیگر

لازم به ذکر است که تقاضاها بر اساس داده‌های واقعی موجود در مطالعه موردی در طول روز بصورت تصادفی تولید شده‌اند. مثلاً در ساعاتی از روز تقاضا زیاد و در ساعاتی نیز کم است. البته در مطالعه موردی روزانه بین ۹۰ تا ۱۱۰ درخواست وجود دارد که در این تحقیق بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ درخواست در روز در نظر گرفته شده است.

جدول ۴ برتری روش پیشنهادی نسبت به روش برنامه‌ریزی فعلی را کاملاً نشان می‌دهد. در روش پیشنهادی ۹۰ درصد درخواست‌ها مورد قبول واقع شده‌اند در حالی که درخواست‌های قبول شده در روش برنامه‌ریزی فعلی ۵۳ درصد است. به عبارت دیگر، روش پیشنهادی در مقایسه با روش برنامه‌ریزی فعلی، رشد ۳۷ درصدی در قبول درخواست‌ها را برای مطالعه موردی به دنبال داشته است.

لازم به ذکر است که مدل تحقیق در محیط *MATLAB* کدنویسی شده است و حداکثر زمان لازم برای تعیین پذیرش و یا رد

- [5] Yang J., Jaillet P. & Mahmassani H., On-Line Algorithms for Truck Fleet Assignment and Scheduling under Real-Time Information, *Transportation Research Record*, No. 1667, PP. 107-113, 1999.
- [6] Yang J., Jaillet P. & Mahmassani H., Real-Time Multi-Vehicle Truckload Pick-Up and Delivery Problems, *Transportation Science*, Vol. 38, No. 2, PP. 135-148, 2004.
- [7] Attanasio A., Bregman J., Ghiani G. & Manni E., Real-Time Fleet Management At Ecourier Ltd, *Dynamic Fleet Management, Operations Research/Computer Science Interfaces Series*, Vol. 38, PP. 219-238, 2007.
- [8] Cortés C. E., Matamala M. & Contardo C., The pickup and delivery problem with transfers: Formulation and a branch-and-cut solution method, *European Journal of Operational Research*, Vol. 200, PP. 711–724, 2010.
- [9] Parragh S. N., Cordeau J. F., Doerner K. F. & Hartl R. F., Models and algorithms for the heterogeneous dial-a-ride problem with driver-related constraints, *OR Spectrum*, Vol. 34, PP. 593–633, 2012.
- [10] Braekers K., Caris A. & Janssens G. K., Exact and meta-heuristic approach for a general heterogeneous dial-a-ride problem with multiple depots, *Transportation Research Part B* Vol. 67, PP. 166–186, 2014.
- [11] Maalouf M., MacKenzie C. A. & Radakrishnan S., A new fuzzy logic approach to capacitated dynamic Dial-a-Ride problem, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 255, No. 16, PP. 30–40, 2014.
- [۱۲] [امین ناصری، محمد رضا، منصور، احسان، الگوریتم دو مرحله ای برای مساله تاکسی تلفنی در حالت پویا، پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره دوم، صفحه ۱۳۷-۱۵۲، ۱۳۹۱.]
- استراتژی‌های بکار گرفته شده در برنامه‌ریزی درخواستها و تخصیص خودرو، سبب کارایی بسیار بیشتر روش پیشنهادی نسبت به روش فعلی شده است. در پایان پیشنهاداتی برای مطالعات آینده به شرح زیر ارائه می‌گردد:
۱. با ایجاد تغییراتی ساده در مدل می‌توان موارد زیر را لحاظ نمود:
    - در زمان فرصت، بین ارائه سرویس قبل و بعد از زمان درخواست می‌توان اولویت قرار داد. ما در روش برنامه‌ریزی ارائه شده، تفاوتی بین ارائه سرویس بعد و قبل از زمان درخواست قرار نداده‌ایم. (البته علاوه بر اولویت بین قبل و بعد از زمان درخواستی، می‌توان سرویس‌های قابل ارائه در زمان فرصت را بعنوان پیشنهاد ارائه کرد و متقاضی خود از میان آن‌ها انتخاب نماید.)
    - ایستگاه‌های مقصد بر اساس ایستگاه‌های مبدأ گروه‌بندی شوند یعنی در هر مبدأ کدام ایستگاه‌های مقصد را می‌توان در یک سفر جا داد.
    - به جای استفاده از تعداد سفرهای برنامه‌ریزی شده هر خودرو، از مسافت برنامه‌ریزی شده آن‌ها برای ملاک تخصیص سفر جدید استفاده نمود.
  ۲. در صورت عدم امکان ارائه سرویس در زمان درخواستی و بازه زمانی فرصت مربوطه، نزدیک‌ترین زمان ارائه سرویس در قبل و یا بعد از زمان درخواست، به متقاضی نشان داده شود.

### مراجع

- [1] Fan J., Dynamic Vehicle Scheduling Problem with Changeable Time Window, *Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, Vol. 4, Nos. 14-16, PP. 276 – 280, 2009.
- [2] Coslovicha L., Pesentib R. & Ukovich W., A two-phase insertion technique of unexpected customers for a dynamic dial-a-ride problem, *European Journal of Operational Research*, Vol. 175, PP. 1605–1615, 2006.
- [3] Häll C.H., Högberg M. & Lundgren J. T., A Modeling System for Simulation of Dial-a-Ride Services, *Public transport*, Vol. 4, No. 1, PP. 17-37, 2012.
- [4] Potvin J. Y., Shen Y., Dufour G. & Rousseau J. M., Learning Techniques for an Expert Vehicle Dispatching System, *Expert Systems With Applications*, Vol. 8, No. 1, PP. 101-109, 1995.