



Paper Type: Original-Application Article



## Service Pattern Modification by Considering Social Distancing under Uncertainty Conditions

Malihe Niksirat\* 

Department of Computer Science, Birjand University of Technology, Birjand, Iran; niksirat@birjandut.ac.ir.

**Citation:**



Niksirat, M. (2023). Service pattern modification by considering social distancing under uncertainty conditions. *Journal of decisions and operations research*, 8(1), 224-235.

Received: 06/01/2022

Reviewed: 09/02/2022

Revised: 11/03/2022

Accepted: 21/05/2022

### Abstract

**Purpose:** During the Corona virus epidemic and in order to comply with the rules of social distancing, public transport operators have to operate with less capacity. Because demand may be overcapacity in different areas at different times of the day, drivers are forced to refrain from serving passengers at certain stations to avoid overcrowding.

**Methodology:** The purpose of this paper is to develop decision support tools to prevent congestion of vehicles. Also, in order to consider the real conditions, two types of fuzzy and scenario-based uncertainty are considered. A dynamic nonlinear integer programming model is introduced to obtain the optimal service pattern for vehicles that are ready to be dispatched. To overcome the combined uncertainty of the problem, possibility theory has been proposed as a new fuzzy stochastic programming approach that has significant advantages.

**Findings:** The model is clearly strikes a balance between observing social distancing by reducing the capacity of vehicles and reducing the waiting time of passengers who lose services. Numerical examples are provided to illustrate the proposed concepts and model and to compare the results.

**Originality/Value:** The proposed decision support model can suggest service patterns for different lines service and can assess public transport operators to evaluate the advantages and disadvantages of implementing epidemic-based service patterns due to operational advances and demand level of travelers.

**Keywords:** Service pattern modification, Public transportation, Nonlinear dynamic integer programming, Social spacing, Epidemic.

Corresponding Author: niksirat@birjandut.ac.ir

 <http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1402.8.5.12.2>



Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



نوع مقاله: پژوهشی-کاربردی

## اصلاح الگوی سرویس‌دهی وسایل حمل‌ونقل عمومی با در نظر گرفتن فاصله‌گیری اجتماعی تحت شرایط همه‌گیری کرونا ویروس و عدم قطعیت

ملیحه نیک سیرت\*

گروه علوم کامپیوتر، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران.

### چکیده

**هدف:** در دوران همه‌گیری ویروس کرونا و در راستای رعایت قوانین فاصله‌گیری اجتماعی، اپراتورهای حمل‌ونقل عمومی می‌بایست با ظرفیت‌های کم‌تری فعالیت کنند. از آن‌جا که ممکن است تقاضا در مناطق مختلف و در ساعات مختلف روز بیش از ظرفیت باشد، رانندگان مجبورند از خدمت‌رسانی به مسافران در ایستگاه‌های خاص خودداری کنند تا از ازدحام جمعیت جلوگیری شود.

**روش‌شناسی پژوهش:** هدف این مقاله توسعه ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری جهت جلوگیری از ازدحام وسایل نقلیه تحت شرایط محدودیت‌های ناشی از شیوع بیماری و هم‌چنین عدم قطعیت حاکم بر مساله می‌باشد. در این مقاله دو نوع عدم قطعیت فازی و سناریومحور در نظر گرفته شده است. بر این اساس یک مدل غیرقطعی برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی پویا برای به‌دست آوردن الگوی سرویس‌دهی مطلوب برای وسایل نقلیه‌ای که آماده اعزام هستند، معرفی شده است. برای غلبه بر عدم قطعیت ترکیبی، تئوری امکان‌به‌عنوان یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی فازی جدید پیشنهاد شده است که مزایای قابل‌توجهی دارد.

**یافته‌ها:** مدل ارائه شده به‌طور مشخص یک تعادل بین رعایت فاصله‌گیری اجتماعی با کاهش ظرفیت وسایل نقلیه و کاهش زمان انتظار مسافرانی که سرویس را از دست می‌دهند تحت شرایط عدم قطعیت برقرار می‌کند. نمونه‌های عددی برای تشریح مفاهیم و مدل پیشنهادی و مقایسه نتایج ارائه شده است.

**اصالت/ارزش افزوده علمی:** مدل پشتیبان تصمیم پیشنهاد شده می‌تواند الگوهای خدماتی را برای سرویس‌دهی خطوط مختلف پیشنهاد کند و می‌تواند به اپراتورهای حمل‌ونقل عمومی کمک کند تا مزایا و معایب اجرای الگوهای سرویس‌دهی مبتنی بر بیماری همه‌گیر را با توجه به پیشرفت‌های عملیاتی و سطح تقاضای مسافران ارزیابی کند.

کلیدواژه‌ها: اصلاح الگوی سرویس‌دهی، حمل‌ونقل عمومی، برنامه‌ریزی عدد صحیح پویای غیرخطی، فاصله‌گیری اجتماعی، همه‌گیری.

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحه: ۲۲۴-۲۳۵

### ۱- مقدمه

پس از شروع همه‌گیری کرونا، کشورها یکی پس از دیگری اقدامات فاصله‌گیری اجتماعی را انجام دادند که حمل‌ونقل عمومی، مدارس، مغازه‌ها، کسب‌وکار و بخش‌های مختلف دیگر را تحت تاثیر قرار داد [1]. در این راستا، برخی از ارائه‌دهندگان خدمات حمل‌ونقل عمومی

\* نویسنده مسئول

niksirat@birjandut.ac.ir

http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1402.8.5.12.2





در کالیفرنیا، ایالات متحده، آسیا و اروپا اجازه استفاده از حمل و نقل عمومی را فقط برای سفرهای ضروری دادند [2]. شلوغی وسایل حمل و نقل عمومی یکی از عوامل انتقال ویروس محسوب می‌شود؛ بنابراین، از کارمندان اداری خواسته شد تا آن‌جا که ممکن است به صورت دورکاری خدمات خود را ارایه دهند تا بار خدمات حمل و نقل عمومی را کاهش داده و دسترسی خدمات را برای سفرهای ضروری و گروه‌های آسیب‌پذیر فراهم کنند.

اجرای اقدامات خاص برای اطمینان از فاصله‌گیری اجتماعی دغدغه اصلی اپراتورهای حمل و نقل عمومی در جوامع پس از قرنطینه است. دستورالعمل‌های خاصی سیستم حمل و نقل عمومی را ملزم می‌کند تا تحت ظرفیت تحمیل شده توسط همه‌گیری که به آن‌ها اجازه نمی‌دهد از تمام فضای موجود در داخل یک وسیله نقلیه استفاده کنند، کار کند. هدف از این ظرفیت تحمیل شده، حفظ فاصله فیزیکی در بین مسافران است؛ اما در عین حال، ممکن است منجر به افزایش تعداد قابل توجهی مسافرانی بدون سرویس دهی و در نتیجه تغییر مسیر/فرکانس شود. به عنوان نمونه تحقیقات نشان داد در سیستم متروی واشنگتن، اگر مسافران بین سکوها به طور مساوی فاصله داشته باشند، هر قطار می‌تواند تنها از ۱۸٪ ظرفیت اسمی خود را در هنگام اجرای فاصله یک و نیم متری و ۱۰٪ در هنگام اجرای فاصله دو متری استفاده کند [3]. هم‌چنین برای اطمینان از فاصله‌گیری اجتماعی ضروری بین یک تا یک و نیم متر، ظرفیت حمل و نقل باید به ۲۵٪ تا ۳۵٪ کاهش یابد که به سختی اجازه می‌دهد تا تقاضای سفر را برآورده کند.

اقدامات معمول مربوط به همه‌گیری کرونا توسط ارایه‌دهندگان خدمات حمل و نقل عمومی شامل محدود کردن خدمات (به عنوان مثال، عدم ارایه خدمات شبانه)، لغو خطوط خاص و بسته شدن ایستگاه‌های منتخب با ایجاد الگوهای جدید خدمات است [3]. برای مثال، در لندن سرویس دهی شبانه محدود شد و ۴۰ ایستگاه مترو که با خطوط دیگر تقاطع نداشتند بسته شد. به همین ترتیب، اداره حمل و نقل واشنگتن بیش از ۲۰٪ ایستگاه‌های مترو خود را بست؛ فرکانس خدمات خود را به نصف کاهش داد و خدمات روزانه مترو را تا ساعت ۹ شب محدود کرد [4].

طراحی الگوی سرویس دهی یک وسیله نقلیه در سطح عملیاتی یعنی هنگامی که در حال اعزام است، مستلزم تعیین این است که کدام ایستگاه‌های خط باید سرویس داده شوند و کدام ایستگاه‌ها بایستی رها شوند [4]. تعیین الگوی سرویس دهی برای هر وسیله نقلیه به صورت جداگانه پیچیدگی مساله را کاهش می‌دهد [5]. مساله تعیین الگوی سرویس دهی پویا که در آن الگوی توقف در ایستگاه، در زمان اعزام وسیله نقلیه تعیین می‌شود، معمولاً به شکل یک مساله برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی مدل‌سازی می‌شود [6]. مدل‌های مختلف دیگری برای مساله پیشنهاد شده است که محدودیت‌های شدیدتری را به مساله اضافه می‌کند. به عنوان مثال اگر در یک سفر، ایستگاهی پوشش داده نشود، سرویس دهی به آن در سفر قبلی و یا سفر بعدی ضروری است [7]. این مساله به صورت یک مساله برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی مدل‌سازی شد و از الگوریتم ژنتیک برای حل آن استفاده شد.

در تحقیقات گذشته، منابعی از عدم قطعیت در این مساله در نظر گرفته شده است. به عنوان نمونه، زمان سفر و میزان تقاضا به صورت تصادفی در نظر گرفته شده است و از یک الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع زنبور عسل<sup>۱</sup> برای حل آن استفاده شده است [8]. هم‌چنین یک مدل بهینه‌سازی استوار<sup>۲</sup> برای طراحی الگوی سرویس دهی به همه سفرهای روزانه با در نظر گرفتن زمان‌های سفر تصادفی در تابع هدف در [9] ارایه شد. در این پژوهش از یک الگوریتم ژنتیک<sup>۳</sup> برای یافتن یک الگوی سرویس دهی معقول در بدترین سناریوها استفاده شد. طراحی الگوهای سرویس دهی آفلاین هم در تحقیقات مورد بررسی قرار گرفته است [10]–[13]. با این حال این تحقیقات به دلیل این‌که اطلاعات بروز برای جلوگیری از ازدحام بیش از حد وسایل نقلیه را در نظر نمی‌گیرند، با اهداف این مطالعه همسو نیستند. هم‌چنین در تحقیقات گذشته، عدم سرویس دهی به یک ایستگاه با نگره داشتن وسیله نقلیه در یک ایستگاه ترکیب شده است [14]–[16]. با این حال، این تحقیقات اهداف متفاوتی مانند سرویس دهی منظم و کاهش زمان سفر داخل ناوگان را دنبال می‌کند که گاهی ممکن است در شرایط همه‌گیری، در جهت تلاش برای حفظ فاصله‌گیری اجتماعی نتیجه معکوس داشته باشد. به عنوان مثال، هنگامی که یک وسیله نقلیه در یک ایستگاه توقف بیش‌تری داشته باشد، مسافران بیش‌تری به ایستگاه می‌رسند و مایل به سوار شدن به وسیله نقلیه می‌شوند که منجر به ازدحام بالاتری می‌شود.

<sup>1</sup> Artificial bee colony algorithm  
<sup>2</sup> Robust optimization

<sup>3</sup> Genetic algorithm



در این مقاله یک مدل سرویس‌دهی وسایل نقلیه ارایه شده است که محدودیت ظرفیت همه‌گیری را به‌عنوان هدف اصلی با اعمال جریمه اضافی برای وسیله نقلیه‌ای که این محدودیت ظرفیت را رعایت نکرده است در هنگام عبور از ایستگاه در نظر می‌گیرد. از سوی دیگر، در یک فرآیند تصمیم‌گیری واقعی در این مساله، اغلب با یک عدم قطعیت ترکیبی<sup>۱</sup> شامل عدم قطعیت محلی و ساختاری به‌طور هم‌زمان مواجه می‌شویم. به‌عنوان مثال، تقاضای مسافران در ایستگاه‌های مختلف در هر سناریو مختلف ممکن است دارای عدم قطعیتی باشد که ناشی از کمبود اطلاعات می‌باشد. این نوع عدم قطعیت زمانی به وجود می‌آید که مقدار پارامترها در سناریوهای مختلف به‌طور هم‌زمان دارای عدم قطعیت باشند. این نوع عدم قطعیت به‌عنوان سناریوهای فازی شناخته می‌شود. معمولاً به دلیل ناقص بودن اطلاعات و سایر ویژگی‌های خاص هر سناریو، داده‌های کافی برای تخمین پارامترهای هر سناریو برای یافتن توزیع احتمالی پارامترها وجود ندارد. برای غلبه بر این نوع عدم قطعیت ترکیبی برای تمامی سناریوها، توزیع امکان هر پارامتر در قالب اعداد فازی تعریف می‌شود. منبع اول عدم قطعیت این است که برخی از پارامترهای نامشخص ممکن است بر اساس سناریوهای آینده باشد که با توجه به احتمال وقوع آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. منبع دوم عدم قطعیت این است که مقادیر این پارامترها در هر سناریو معمولاً نادقیق هستند و با توزیع‌های امکانی قابل تعیین هستند. طیف گسترده‌ای از مسایل پیچیده وجود دارد که با این نوع عدم قطعیت برخورد دارد [9]–[13]. نیاز به پرداختن به هر دو نوع عدم قطعیت در یک سیستم یکپارچه اخیراً توسط محمودی نشلی و همکاران [14] تایید شده است. با این حال، تعداد مقالات در زمینه مدل‌سازی مسایل تحت شرایط عدم قطعیت ترکیبی در مسایل مختلف، کمیاب است [12]، [15].

طبق بررسی‌های انجام‌شده، هیچ مطالعه‌ای با استفاده از رویکرد برنامه‌نویسی ریاضی تحت شرایط عدم قطعیت ترکیبی برای طراحی الگوی سرویس‌دهی وسایل نقلیه در حضور محدودیت‌های ناشی از فاصله‌گیری اجتماعی وجود ندارد. هدف این مقاله توسعه یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو فازی است که منجر به یک رویکرد جدید به نام برنامه‌ریزی تصادفی فازی می‌شود که می‌تواند یک برنامه سرویس‌دهی اصلاح‌شده در جهت بهبود خدمت‌رسانی به مسافران و کاهش ریسک شیوع بیماری ارایه نماید. برای مقابله با عدم قطعیت فازی، از رویکرد برنامه‌نویسی اعتباری فازی<sup>۲</sup> استفاده شده است که به‌طور هم‌زمان برخی ویژگی‌های اساسی مانند مقدار میانگین و تغییرپذیری تابع هدف را در نظر می‌گیرد [16]. این روش مبتنی بر مفاهیم قوی ریاضی است و می‌تواند انواع مختلفی از اعداد فازی را پشتیبانی کند؛ علاوه بر این، این رویکرد از نظر محاسباتی برای حل مسائل خطی فازی کارآمد است، زیرا این روش می‌تواند خطی بودن خود را حفظ کند و تعداد توابع هدف و محدودیت‌های مساله را افزایش ندهد [7].

برخی تعاریف و نتایج که در بخش‌های بعدی مقاله موردنیاز است، در ادامه آمده است. مقدمات فازی موردنیاز مقاله از منابع [9]–[11] استخراج شده است.

**تعریف ۱-** یک زیرمجموعه فازی  $\tilde{A}$  از مجموعه مرجع  $X$  توسط تابع عضویت  $\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1]$  مشخص می‌شود که در آن برای هر  $x \in X$ ، مقدار  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  میزان عضویت  $x$  در مجموعه فازی  $\tilde{A}$  را نشان می‌دهد.

**تعریف ۲-** برای  $\alpha \in (0,1]$  مجموعه  $[\tilde{A}]_{\alpha}$ ،  $\alpha$ -برش<sup>۳</sup> نامیده می‌شود و به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$[\tilde{A}]_{\alpha} = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}. \quad (1)$$

**تعریف ۳-** عملیات محاسباتی روی اعداد فازی دوزنقه‌ای  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  و  $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$  به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} \tilde{A} + \tilde{B} &= (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4), \\ \tilde{A} - \tilde{B} &= (a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1), \end{aligned} \quad (2)$$

$$k\tilde{A} = (ka_1, ka_2, ka_3, ka_4), \quad k > 0,$$

$$k\tilde{A} = (ka_4, ka_3, ka_2, ka_1), \quad k < 0.$$

**تعریف ۴-** مقادیر میانگین امکان بالا و پایین عدد فازی<sup>۴</sup> دوزنقه‌ای  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

<sup>1</sup> Hybrid uncertainty

<sup>2</sup> Fuzzy credibility theory

<sup>3</sup>  $\alpha$ -cut

<sup>4</sup> Lower and upper possibilistic mean values



$$PM^*(\tilde{A}) = 2 \int_0^1 \alpha (\sup[\tilde{A}]_\alpha) d\alpha = a_4 + \frac{(a_4 - a_3)}{3}, \quad (3)$$

$$PM_*(\tilde{A}) = 2 \int_0^1 \alpha (\inf[\tilde{A}]_\alpha) d\alpha = a_1 - \frac{(a_2 - a_1)}{3}.$$

مقادیر میانگین امکان بالا و پایین عدد فازی  $\tilde{A}$  به ترتیب به‌عنوان سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه عدد فازی تفسیر می‌شود. هم‌چنین بازه میانگین امکانی عدد فازی  $\tilde{A}$  به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$PM(\tilde{A}) = [PM_*(\tilde{A}), PM^*(\tilde{A})]. \quad (4)$$

بازه میانگین امکانی عدد فازی  $\tilde{A}$ ، می‌تواند به‌عنوان بازه‌ای در نظر گرفته شود که انتظار می‌رود محتمل‌ترین سناریوها برای عدد فازی  $\tilde{A}$  در این بازه قرار گیرد. هم‌چنین مقدار میانگین امکان عدد فازی  $\tilde{A}$  به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$PM(\tilde{A}) = \frac{PM_*(\tilde{A}) + PM^*(\tilde{A})}{2} = \frac{a_4 + a_1}{2} + \frac{(a_4 - a_3) - (a_2 - a_1)}{6}. \quad (5)$$

میزان انحراف مطلق امکانی<sup>۱</sup> بین دو عدد فازی دوزنقه‌ای  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  و  $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$  به‌صورت زیر تعریف می‌شود [11]:

$$v(\tilde{A}, \tilde{B}) = \frac{1}{2} (|PM(\tilde{A}) + \tilde{B} - PM(\tilde{A}) - PM(\tilde{B})|). \quad (6)$$

تعریف ۵- هم‌چنین میزان انحراف مطلق امکانی<sup>۲</sup> برای عدد فازی  $\tilde{A}$  به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$v(\tilde{A}) = a_4 - a_1 + \frac{(a_4 - a_3) + (a_2 - a_1)}{3}. \quad (7)$$

تعریف ۶ [8]- فرض کنید  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  یک عدد فازی دوزنقه‌ای و  $r$  یک عدد حقیقی باشد؛  $\tilde{A}$  تقریباً با  $r$  برابر است اگر  $a_2 \leq r \leq a_3$ ، به‌عبارت‌دیگر،

$$\tilde{A} \approx r \Leftrightarrow a_2 \leq r \leq a_3. \quad (8)$$

اندازه اعتبار به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Cr\{\tilde{A} \leq r\} = \frac{1}{2} (\sup_{x \leq r} \mu_{\tilde{A}}(x) + 1 - \sup_{x > r} \mu_{\tilde{A}}(x)). \quad (9)$$

تعریف ۷ [17]- فرض کنید  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  یک عدد فازی دوزنقه‌ای باشد. تابع رتبه‌بندی فازی بیگر برای اعداد فازی دوزنقه‌ای به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Re(\tilde{A}) = \frac{1}{2} \left( a_2 + a_3 - \frac{4}{5}(a_2 - a_1) + \frac{2}{3}(a_4 - a_3) \right). \quad (10)$$

## ۲- ارایه مدل ریاضی مساله

مدل پیشنهادی مساله، الگوی سرویس دهی هر وسیله نقلیه‌ای را که قرار است اعزام شود تعیین می‌کند. الگوی سرویس دهی قبل از اعزام خودرو اتخاذ می‌شود تا مسافران منتظر در ایستگاه‌ها از عدم توقف در ایستگاه‌های مشخص شده توسط آن وسیله نقلیه مطلع شوند. مدل‌های ایجاد الگوی سرویس دهی ممکن است باعث توقف مکرر در یک ایستگاه شوند که این امر ممکن است دسترسی‌پذیری مسافرانی را که مایل‌اند از این ایستگاه‌ها به‌عنوان بخشی از سفر خود استفاده کنند را کاهش دهد [6].

در مدل سرویس دهی پویای ارایه شده، موارد زیر در نظر گرفته شده است:

- تعداد مسافران منتظر در هر ایستگاه برای ارزیابی تاثیر سرویس دهی به یک ایستگاه بر شلوغی وسیله نقلیه.
- ایستگاه‌های سرویس دهی نشده در سفرهای قبلی برای اولویت‌بندی توقف در ایستگاه‌ها.

<sup>1</sup> Possibilistic absolute deviation

<sup>2</sup> Possibilistic mean value



توجه به این نکته ضروری است که وقتی وسیله نقلیه  $n$  در حال اعزام است، سرویس‌دهی سفرهای قبلی انجام شده است و الگوی سرویس‌دهی آن‌ها مشخص است؛ یعنی هر زمان که الگوی سرویس‌دهی وسیله نقلیه  $n$  را تعیین می‌کنیم، الگوی سرویس‌دهی وسایل نقلیه قبلی در نظر گرفته می‌شود. مدل ارائه شده مفروضات زیر را در نظر می‌گیرد:

- ورود مسافران در ایستگاه‌ها غیرقطعی است، زیرا مسافران نمی‌توانند ورود خود را با زمان ورود اتوبوس‌ها در سرویس‌های با فرکانس بالا هماهنگ کنند [10]؛ علاوه بر این، حجم مسافر داخل ایستگاه، تحت تاثیر سناریوهای مختلف بوده و تخمین آن به دلیل شرایط غیرقابل پیش‌بینی و کمبود اطلاعات سخت است.
- اگر وسیله نقلیه در یک ایستگاه توقف نکند، مسافران منتظر سفر بعدی همان خط خواهند بود.
- حتی اگر وسیله نقلیه در یک ایستگاه توقف نکند، مسافران می‌توانند در آن ایستگاه پیاده شوند؛ بنابراین، منظور از عدم توقف در یک ایستگاه این است که مسافران در آن ایستگاه نمی‌توانند سوار وسیله نقلیه شوند.
- شلوغی بیش از حد در محل ایستگاه حمل و نقل عمومی قابل توجه نیست؛ زیرا ایستگاه‌ها در محیط باز هستند و خطر انتقال ویروس در آن در مقایسه با خطر انتقال در فضای بسته داخل وسایل نقلیه بسیار کم‌تر است.

فرض سوم نشان می‌دهد که مسافران در هر ایستگاهی اجازه دارند از وسیله نقلیه پیاده شوند، حتی اگر در آن ایستگاه مسافران جدید اجازه سوارشدن را نداشته باشند. آخرین فرض نشان می‌دهد که مدل الگوی سرویس‌دهی ارائه شده نمی‌تواند در ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی که در فضای بسته قرار دارند مانند ایستگاه‌های مترو اعمال شود. قبل از ارائه مدل، متغیرها و پارامترهای مدل به صورت جدول ۱ معرفی می‌شود.

جدول ۱- توضیح پارامترها و متغیرهای مدل سرویس‌دهی.

Table 1- Explaining the parameters and variables of the service model.

نماد	توضیحات
S	مجموعه سناریوها.
N	مجموعه مرتب ایستگاه‌های یک خط $N = \{1, 2, \dots,  N \}$ .
k	اندیس وسیله نقلیه‌ای که بایستی از ایستگاه اول خط اعزام شود.
$u_n$	تعداد زمان‌های متوالی قبل از اعزام وسیله نقلیه k که به ایستگاه n سرویس‌دهی نشده است.
g	ظرفیت محدود شده وسیله نقلیه در دوران همه‌گیری.
$\tilde{q}_{ny}^s$	تعداد مسافران منتظر در سناریوی s ایستگاه n در زمان رسیدن وسیله نقلیه k به آن ایستگاه که ایستگاه نهایی آن‌ها y است. این پارامتر به صورت یک پارامتر فازی وابسته به سناریو مدل سازی شده است.
$\lambda_{ny}^s$	نرخ رسیدن مسافران در سناریوی s به ایستگاه n در زمان رسیدن وسیله نقلیه k به آن ایستگاه که ایستگاه نهایی آن‌ها y است.
M	یک عدد مثبت بزرگ که عدم سرویس‌دهی مکرر به ایستگاه را جریمه می‌کند.
$h^s$	زمان برنامه‌ریزی بین دو اعزام متوالی وسیله نقلیه از ایستگاه ابتدایی در سناریوی s.
$x_n^s$	متغیر تصمیم؛ اگر وسیله نقلیه k به مسافران ایستگاه n در سناریوی s سرویس دهد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر است. این متغیر وابسته به سناریو تعریف شده است.
$\gamma_s$	متغیر تصمیم وابسته به سناریو؛ حجم مسافر وسیله نقلیه k وقتی از ایستگاه n به ایستگاه n+1 حرکت می‌کند.

مدل غیرخطی برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرقطعی سرویس‌دهی وسیله نقلیه به صورت زیر ارائه شده است:

$$\begin{aligned}
 \text{MIN } \tilde{f}^s(x) &= \sum_{n \in N} \sum_{y \in N | y > n} \frac{1}{2} \left[ (u_n + (1 - x_n^s)) \cdot h^s \cdot \tilde{q}_{ny}^s + (h^s)^2 \lambda_{ny}^s \right] + M \sum_{n \in N} [u_n + (1 - x_n^s)]^2, \\
 \gamma_n &\leq g, \quad n \in N, \\
 \gamma_1 &= x_1^s \sum_{y \in N} \tilde{q}_{1y}^s, \quad s \in S, \\
 \gamma_n &= \gamma_{n-1} + x_n^s \sum_{y \in N | y > n} \tilde{q}_{ny}^s - \sum_{y \in N | y < n} \tilde{q}_{ny}^s x_y^s, \quad s \in S, n \in N \setminus \{1, |N|\}, \\
 \sum_{n \in N \setminus \{|N|\}} x_n^s &\geq 1, \\
 x_n^s &\in \{0, 1\}, \quad n \in N, s \in S, \\
 \gamma_n &\geq 0, \quad n \in N.
 \end{aligned} \tag{11}$$



تابع هدف مساله شامل دو مولفه است که قسمت اول آن مربوط به زمان انتظار مسافران در ایستگاه و مولفه دوم آن جریمه‌ای است که به دلیل عدم سرویس دهی مکرر به یک ایستگاه به سیستم وارد می‌شود. **محدودیت (۱)** مربوط به محدودیت حجم مسافر درون وسیله نقلیه با توجه به لزوم فاصله‌گیری اجتماعی در دوران همه‌گیری کرونا می‌باشد. **محدودیت (۲)**، حجم مسافر وسیله نقلیه را در ایستگاه اول محاسبه می‌کند. هم‌چنین **محدودیت (۳)** حجم مسافر درون وسیله نقلیه را در هنگام عزیمت از ایستگاه  $s$  نشان می‌دهد؛ علاوه‌براین، محدودیت آخر تضمین می‌کند که سفر  $k$  کنسل نشده است و وسیله نقلیه حداقل در یک ایستگاه سرویس دهی دارد. یک سناریوی  $s$  متناظر با یک برآورد مشخص از پارامترهای فازی مساله است که احتمال رخداد آن برابر  $p^s$  است. هم‌چنین  $\sum_s p^s = 1$ . با استفاده از عملگر مقدار میانگین امکانی برای تابع هدف، مدل پیشنهادی به مدل زیر تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{MIN } \tilde{f}^s(x) &= \sum_{n \in N} \sum_{y \in N|y>n} \frac{1}{2} \left[ (u_n + (1-x_n^s))h^s \cdot \tilde{q}_{ny}^s + (h^s)^2 \lambda_{ny}^s \right] + M \sum_{n \in N} \left[ u_n + (1-x_n^s) \right]^2, \\ y_n &\leq g, \quad n \in N, \\ y_1 &= x_1^s \sum_{y \in N} \tilde{q}_{1y}^s, \quad s \in S, \\ y_n &= y_{n-1} + x_n^s \sum_{y \in N|y>n} \tilde{q}_{ny}^s - \sum_{y \in N|y<n} \tilde{q}_{ny}^s x_y^s \quad s \in S, n \in N \setminus \{1, |N|\}, \\ \sum_{n \in N \setminus \{|N|\}} x_n^s &\geq 1, \\ x_n^s &\in \{0, 1\}, \quad n \in N, s \in S, \\ y_n &\geq 0, \quad n \in N. \end{aligned} \tag{12}$$

مدل بالا با فرض این‌که پارامترهای فازی در هر سناریو یک عدد فازی ذوزنقه‌ای باشد، به دست آمده است. برای تبدیل محدودیت‌های فازی به غیرفازی از روابط به دست آمده در **تعریف ۶** استفاده شده است. هم‌چنین با استفاده از تعریف مقدار میانگین امکانی، تابع هدف مساله را می‌توان با توجه به روابط زیر ساده‌سازی کرد:

$$PM[\tilde{q}_{ny}^s] = \frac{q_{ny,4}^s + q_{ny,1}^s}{2} + \frac{(q_{ny,4}^s - q_{ny,3}^s) - (q_{ny,2}^s - q_{ny,1}^s)}{6}. \tag{13}$$

برای دستیابی به یک مدل پایدار در مقابل تغییرات در سناریوهای مختلف، کمینه‌سازی انحرافات در تابع هدف با توجه به شرایط عدم قطعیت ترکیبی به صورت زیر مدل‌سازی شده است:

$$F_{robust} = f + \alpha v(\tilde{f}) + \beta \sum_{s \in S} p_s \left| PM(M(\tilde{f}) - \tilde{f}^s) \right|. \tag{14}$$

در مدل جدید تابع هدف، جمله اول مقدار میانگین امکانی وزن دار تابع هدف اصلی مساله و جمله دوم و سوم میزان پایداری تابع هدف تحت شرایط عدم قطعیت ترکیبی است که اگر مقدار آن زیاد باشد، نشان‌دهنده آن است که جواب مربوطه، جوابی با فاکتور ریسک بالا برای مساله می‌باشد. به عبارت دیگر، تغییر کوچکی در شرایط عدم قطعیت، ممکن است مقادیر بزرگی از تابع هدف را به دست دهد. جمله دوم و سوم تابع هدف به ترتیب تغییرات امکانی و تغییرات سناریو-محور نامیده می‌شود. هم‌چنین  $\alpha$  و  $\beta$  ضرایب اهمیت تغییرات امکانی و تغییرات سناریو-محور در تابع هدف می‌باشد. کاهش تغییرات تابع هدف، می‌تواند با افزایش ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  انجام شود که در نتیجه آن جواب پایدارتری برای مساله به دست خواهد آمد. به این ترتیب، مدل پیشنهادی تلاش می‌کند تا کم‌ترین مقدار زمان انتظار مسافران و جریمه عدم سرویس دهی مکرر به یک ایستگاه را در برابر تغییرات ممکن تحت شرایط عدم قطعیت ترکیبی را کمینه کند. تصمیم‌گیرنده می‌تواند بهترین مقادیر برای پارامترهای تابع هدف را با توجه به دیدگاه خود از میزان ریسک، انتخاب کند. به طور واضح، یک تصمیم‌گیرنده ریسک-گریز مقادیر بزرگی برای پارامترهای  $\alpha$  و  $\beta$  انتخاب خواهد کرد.

بر اساس **تعریف ۵**، انحراف مطلق وزن دار امکانی تابع هدف به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} v[\tilde{f}] &= \sum_{s \in S} p^s \left( \sum_{n \in N} \sum_{y \in N|y>n} \frac{1}{2} \left[ (u_n + (1-x_n^s))h^s \cdot v(\tilde{q}_{ny}^s) + (h^s)^2 \lambda_{ny}^s \right] + M \sum_{n \in N} \left[ u_n + (1-x_n^s) \right]^2 \right) \\ &= \sum_{s \in S} p^s \left( \sum_{n \in N} \sum_{y \in N|y>n} \frac{1}{2} \left[ (u_n + (1-x_n^s))h^s \cdot \left( q_{ny,4}^s - q_{ny,1}^s + \frac{(q_{ny,4}^s - q_{ny,3}^s) + (q_{ny,2}^s - q_{ny,1}^s)}{3} \right) + (h^s)^2 \lambda_{ny}^s \right] \right. \\ &\quad \left. + M \sum_{n \in N} \left[ u_n + (1-x_n^s) \right]^2 \right). \end{aligned} \tag{15}$$



جمله سوم تابع هدف، انحراف مطلق میانگین امکانی وزن دار تفاوت بین  $M(\tilde{f})$  و  $\tilde{f}^s$  را در همه سناریوها بیان می‌کند که تغییرات همه سناریوها را در نظر می‌گیرد. عبارت زیر را در نظر بگیرید:

$$\sum_{s \in S} p^s |P\bar{M}(M(\tilde{f}) - \tilde{f}^s)| \quad (16)$$

با توجه به این که این عبارت غیرخطی می‌باشد، با استفاده از تعریف قدر مطلق یک عدد، متغیر جدید  $\theta^s = |P\bar{M}(M(\tilde{f}) - \tilde{f}^s)|$  را تعریف می‌کنیم. در این صورت کافی است که محدودیت‌های جدید زیر به محدودیت‌های مساله اضافه شود:

$$\begin{aligned} P\bar{M}(M(\tilde{f}) - \tilde{f}^s) + \theta^s &\geq 0, \\ P\bar{M}(\tilde{f}^s - M(\tilde{f})) + \theta^s &\geq 0. \end{aligned} \quad (17)$$

برای محاسبه  $|P\bar{M}(M(\tilde{f}) - \tilde{f}^s)|$ ،  $M(\tilde{f})$  که یک عدد بازه‌ای است را به صورت عدد فازی زیر در نظر می‌گیریم:

$$M(\tilde{f}) = \left( f_1 - \frac{f_2 - f_1}{3}, f_1 - \frac{f_2 - f_1}{3}, f_4 + \frac{f_4 - f_3}{3}, f_4 + \frac{f_4 - f_3}{3} \right). \quad (18)$$

در این صورت

$$\begin{aligned} M(\tilde{f}) - \tilde{f}^s &= \left( f_1 - \frac{f_2 - f_1}{3}, f_1 - \frac{f_2 - f_1}{3}, f_4 + \frac{f_4 - f_3}{3}, f_4 + \frac{f_4 - f_3}{3} \right) \\ &\quad - (f_1^s, f_2^s, f_3^s, f_4^s) \\ &= \left( f_1 - \frac{f_2 - f_1}{3} - f_4^s, f_1 - \frac{f_2 - f_1}{3} - f_3^s, f_4 + \frac{f_4 - f_3}{3} - f_2^s, f_4 + \frac{f_4 - f_3}{3} - f_1^s \right). \end{aligned} \quad (19)$$

بنابراین، دو محدودیت جدید به شکل زیر ساده‌سازی خواهد شد:

$$\frac{f_1 - \frac{f_2 - f_1}{3} - f_4^s + f_4 + \frac{f_4 - f_3}{3} - f_1^s}{2} + \frac{(f_2^s - f_1^s) - (f_4^s - f_3^s)}{6} + \theta^s \geq 0, \quad (20)$$

$$\frac{f_1^s - \left( f_4 + \frac{f_4 - f_3}{3} \right) + f_4^s - \left( f_1 - \frac{f_2 - f_1}{3} \right)}{2} + \frac{(f_4^s - f_3^s) - (f_2^s - f_1^s)}{6} + \theta^s \geq 0.$$

به این ترتیب مدل نهایی مساله به شکل زیر به دست می‌آید:

$$\text{MIN } F_{\text{robust}} = f + \alpha v(\tilde{f}) + \beta \sum_{s \in S} p_s \theta^s,$$

$$\gamma_n \leq g, \quad n \in N,$$

$$\gamma_1 \geq x_1^s \sum_{y \in N} q_{1y,3}^s, \quad s \in S,$$

$$\gamma_1 \leq x_1^s \sum_{y \in N} q_{1y,4}^s, \quad s \in S,$$

$$\gamma_n \leq \gamma_{n-1} + x_n^s \sum_{y \in N/y > n} q_{ny,4}^s - \sum_{y \in N/y < n} q_{ny,3}^s x_y^s \quad s \in S, n \in N \setminus \{1, |N|\},$$

$$\gamma_n \geq \gamma_{n-1} + x_n^s \sum_{y \in N/y > n} q_{ny,3}^s - \sum_{y \in N/y < n} q_{ny,4}^s x_y^s \quad s \in S, n \in N \setminus \{1, |N|\}, \quad (21)$$

$$\sum_{n \in N \setminus \{|N|\}} x_n^s \geq 1, \quad s \in S,$$

$$\frac{f_1 - \frac{f_2 - f_1}{3} - f_4^s + f_4 + \frac{f_4 - f_3}{3} - f_1^s}{2} + \frac{(f_2^s - f_1^s) - (f_4^s - f_3^s)}{6} + \theta^s \geq 0, \quad s \in S,$$

$$\frac{f_1^s - \left( f_4 + \frac{f_4 - f_3}{3} \right) + f_4^s - \left( f_1 - \frac{f_2 - f_1}{3} \right)}{2} + \frac{(f_4^s - f_3^s) - (f_2^s - f_1^s)}{6} + \theta^s \geq 0, \quad s \in S,$$





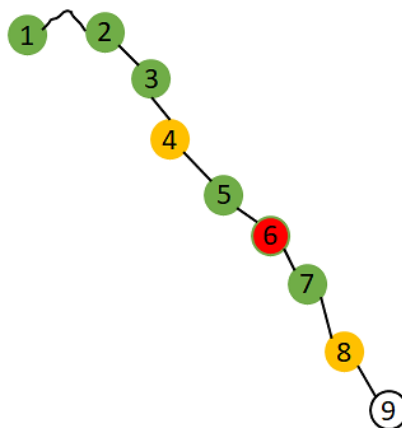
$$x_n^s \in \{0,1\}, \quad n \in N, \quad s \in S,$$

$$\theta^s \geq 0, \quad s \in S,$$

$$\gamma_n \geq 0, \quad n \in N.$$

### ۳- نتایج عددی

برای نشان دادن کارایی مدل و راه حل پیشنهادی، یک خط اتوبوس فرضی با ۹ ایستگاه در نظر گرفته شده است. هم چنین دو سناریوی متفاوت در نظر گرفته شده است که سناریوی اول در زمان پیک و در صورت وقوع حوادث غیرقابل پیش بینی مانند تصادفات، بارش باران و برف و سناریوی دوم در شرایط غیر پیک در نظر گرفته شده است. ماتریس تقاضای مسافران برای سناریوی پیک و غیر پیک در جدول ۲ و جدول ۳ گزارش شده است.



شکل ۱- یک خط حمل و نقل عمومی نمونه.

Figure 1- A sample public transport line.

مدل ریاضی مساله در نرم افزار *AMPL* پیاده سازی شده است و به ازای مقادیر متفاوت ظرفیت محدود شده ناوگان در شرایط متفاوت حل شده است. بر این اساس وضعیت های متفاوت قرمز (خیلی پرخطر)، نارنجی (پرخطر)، زرد (کم خطر)، آبی (بی خطر) و بدون محدودیت ظرفیت در نظر گرفته شده است. جواب مساله در هر کدام از شرایط ویژه در جدول ۳ گزارش شده است. وضعیت سرویس دهی و عدم سرویس دهی در هر یک از ایستگاه های حمل و نقل عمومی در شرایط متفاوت خطر ناشی از سرایت ویروس کرونا و تحت سناریوهای متفاوت پیک و غیر پیک در این جدول گزارش شده است. هم چنین در این جدول هزینه کلی سرویس دهی و جریمه ناشی از عدم سرویس دهی در ایستگاه ها گزارش شده است.

هم چنین برای مقایسه نتایج مدل و روش پیشنهادی مقاله با سایر روش های موجود از توابع رتبه بندی فازی استفاده شده است. توابع رتبه بندی متفاوتی برای اعداد فازی ارائه شده است که یکی از مهم ترین این روش ها، تابع رتبه بندی بیگر است که در تعریف ۷ ارائه شده است [17]. در جدول ۴، علاوه بر طرح سرویس دهی به ایستگاه و هزینه آن توسط روش ارائه شده در مقاله، هزینه سرویس دهی در شرایط متفاوت شیوع بیماری همه گیر با استفاده از تابع رتبه بندی بیگر ارائه شده است. مشاهده می شود که در تمامی شرایط، هزینه سرویس دهی با استفاده از تابع رتبه بندی بیگر بیش تر از هزینه سرویس دهی با روش پیشنهادی این مطالعه است. دلیل این امر این است که در روش رتبه بندی بیگر هر سناریو به صورت جداگانه و مستقل در نظر گرفته شده است و ارتباط بین سناریوها که ممکن است باعث کاهش هزینه سرویس دهی گردد نادیده گرفته شده است. هم چنین تحلیل حساسیت روی مقادیر پارامترهای  $\alpha$  و  $\beta$  نشان داد که هر چه مقادیر این پارامترها، افزایش داشته باشد، مقدار هزینه سرویس دهی افزایش می یابد، با این وجود استراتژی به دست آمده در مقابل تغییرات در شرایط غیر قطعی حاکم بر مساله پایداری بیش تری دارد. در واقع افزایش هزینه سرویس دهی، هزینه ای است که برای به دست آوردن یک طرح سرویس دهی پایدار می بایست پرداخت شود. در مقابل انتخاب مقادیر کوچک تر برای این پارامترها، هزینه سرویس دهی را کاهش می دهد.



جدول ۲- تقاضای مسافران در ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی در سناریوی پیک به‌صورت اعداد فازی دوزنقه‌ای.  
Table 2- Passenger demand in public transport stations in the peak scenario in the form of trapezoidal fuzzy.

ایستگاه ابتدایی	ایستگاه نهایی	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	(5,8,9,13)	(14,16,17,20)	(13,16,17,19)	(21,24,25,28)	(22,24,25,29)	(13,16,17,20)	(14,17,19,22)	(22,24,26,29)	(9,10,11,12)
2	-	-	(3,5,7,10)	(6,8,11,13)	(5,8,10,13)	(13,16,18,20)	(12,15,17,19)	(5,8,9,13)	(12,15,17,21)	(7,8,10,11)
3	-	-	-	-	(2,5,7,9)	(7,10,13,16)	(30,35,36,39)	(21,23,26,27)	(12,15,17,20)	(8,11,12,15)
4	-	-	-	-	-	(4,7,8,12)	(15,17,19,23)	(20,23,25,29)	(30,33,35,38)	(19,23,27,29)
5	-	-	-	-	-	-	(7,9,12,15)	(8,12,13,14)	(19,23,27,29)	(7,11,13,15)
6	-	-	-	-	-	-	(2,4,5,9)	(2,4,7,8)	(7,11,13,15)	(2,5,8,9)
7	-	-	-	-	-	-	-	(3,5,8,12)	(7,11,13,15)	(2,5,8,9)
8	-	-	-	-	-	-	-	(3,5,8,9)	(2,5,8,9)	(2,5,8,9)
10	-	-	-	-	-	-	-	-	(7,9,10,13)	(7,9,10,13)

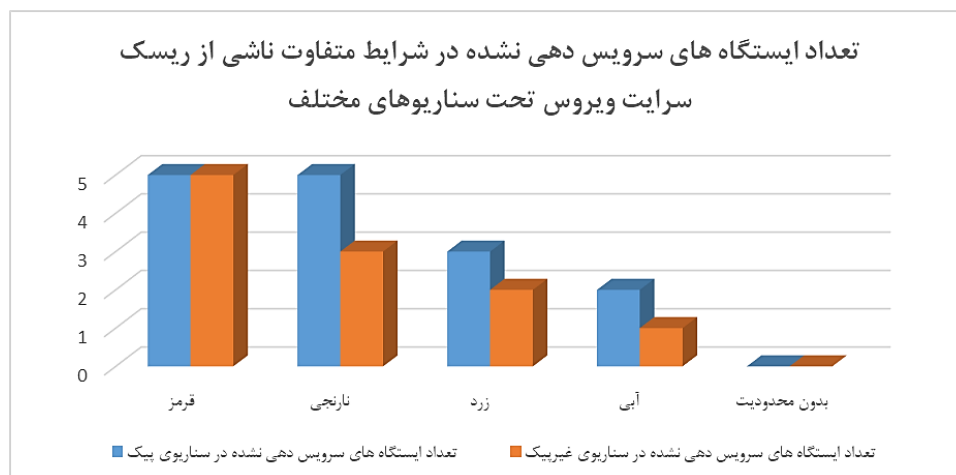


جدول ۳- تقاضای مسافران در ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی در سناریوی غیر پیک به‌صورت اعداد فازی دوزنقه‌ای.  
Table 3- Passenger demand in public transport stations in the non-peak scenario in the form of trapezoidal fuzzy numbers.

ایستگاه ابتدایی	ایستگاه نهایی	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	(3,7,8,9)	(7,9,10,11)	(7,9,10,11)	(7,9,10,11)	(15,17,18,19)	(12,13,15,18)	(5,7,9,10)	(7,9,10,13)	(15,17,18,19)
2	-	-	(2,4,6,8)	(5,7,8,9)	(3,4,7,9)	(3,4,7,9)	(8,9,10,12)	(5,7,8,10)	(3,4,5,7)	(7,8,10,11)
3	-	-	-	(1,2,4,5)	(4,5,7,8)	(4,5,7,8)	(3,4,5,7)	(20,21,23,25)	(14,16,21,23)	(8,11,12,15)
4	-	-	-	-	(1,3,4,5)	(1,3,4,5)	(1,2,3,5)	(7,9,10,11)	(13,14,16,19)	(22,24,25,28)
5	-	-	-	-	-	-	(1,2,3,5)	(5,7,9,11)	(5,7,8,12)	(14,15,17,19)
6	-	-	-	-	-	-	-	(1,2,3,5)	(1,2,4,7)	(5,7,10,11)
7	-	-	-	-	-	-	-	-	(1,2,3,5)	(1,2,4,5)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(4,5,7,8)
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(4,5,7,8)

Error! Reference source not found. تعداد ایستگاه‌های سرویس‌دهی نشده تحت شرایط متفاوت همه‌گیری ویروس کرونا و تحت سناریوهای متفاوت را با یکدیگر مقایسه می‌کند. همان‌طور که انتظار داریم با کاهش محدودیت‌های ناشی از همه‌گیری ویروس، تعداد ایستگاه‌های سرویس‌دهی نشده هم کاهش می‌یابد. هم‌چنین در سناریوی پیک همان‌طور که انتظار می‌رود، با افزایش تعداد تقاضا، تعداد ایستگاه‌های سرویس‌دهی نشده بیشتر است.

شکل ۳ مجموع هزینه سرویس‌دهی و جریمه عدم سرویس‌دهی در ایستگاه‌هایی که در مدل مساله مشخص شده است را در شرایط متفاوت ناشی از ریسک سرایت ویروس کرونا را با یکدیگر مقایسه می‌کند. این شکل نشان می‌دهد که هرچه وضعیت شیوع بیماری کم‌تر شود، هزینه سرویس‌دهی هم کم‌تر خواهد شد.

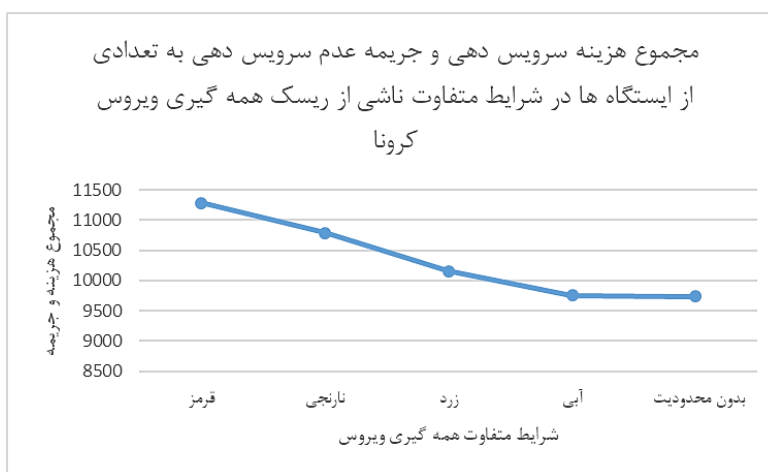


شکل ۲- مقایسه تعداد ایستگاه‌های سرویس‌دهی نشده در شرایط مختلف همه‌گیری تحت سناریوهای متفاوت.  
Figure 2- Comparison of the number of unserved stations in different epidemic conditions under different scenarios.

جدول ۴- وضعیت سرویس دهی و عدم سرویس دهی به ایستگاه های حمل و نقل عمومی در شرایط متفاوت شیوع کرونا تحت سناریوهای مختلف.

Table 4- Status of service and non-service to public transport stations in different conditions of corona outbreak under different scenarios.

وضعیت شیوع بیماری	سناریو	سرویس دهی یا عدم سرویس دهی به ایستگاه									هزینه کلی سرویس دهی (تابع رتبه بندی بیکر)	هزینه کلی سرویس دهی (روش پیشنهادی)
		9	8	7	6	5	4	3	2	1		
قرمز	پیک	✓	✓	-	-	-	✓	-	-	✓	12123.25	11281.63
(ظرفیت ناوگان ۱۵ نفر)	غیر پیک	✓	✓	-	-	-	✓	-	-	✓		
نارنجی	پیک	✓	-	-	✓	-	✓	-	-	✓	10937.781	10783.64
(ظرفیت ناوگان ۲۰ نفر)	غیر پیک	✓	✓	-	✓	-	✓	-	✓	✓		
زرد	پیک	✓	-	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	10541.34	10151.67
(ظرفیت ناوگان ۳۰ نفر)	غیر پیک	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓		
آبی	پیک	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	10121.42	9754.26
(ظرفیت ناوگان ۴۰ نفر)	غیر پیک	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓		
بدون محدودیت ظرفیت	پیک	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10012.51	9735.74
	غیر پیک	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		



شکل ۳- مقایسه هزینه سرویس دهی در شرایط متفاوت ناشی از همه گیری ویروس کرونا.  
Figure 3- Comparison of service costs in different conditions due to coronavirus epidemic.

## ۵- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله، یک الگوی سرویس دهی برای وسیله نقلیه عمومی در شرایط پویا و با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت ترکیبی ارائه شد که به بهترین وجه، شرایط واقعی حاکم بر مساله را در نظر می گیرد و ظرفیت تحمیل شده تحت شرایط همه گیری کرونا را برآورده می کند. الگوهای سرویس دهی جهت رعایت فاصله گیری اجتماعی، قبلا هم توسط مدیران سیستم حمل و نقل به کار گرفته شده اند؛ با این حال این تصمیمات به صورت کلی گرفته می شود و پویایی و عدم قطعیت حاکم بر مساله اغلب نادیده گرفته شده است؛ بنابراین، روش ارائه شده شکاف تحقیقات قبلی را پر کرده و می تواند در محیط های پویا و غیر قطعی با استفاده از برآوردهای بروز تقاضای مسافران جهت جلوگیری از ازدحام استفاده شود.

اگرچه الگوهای سرویس دهی جهت جلوگیری از ازدحام در شرایط همه گیری کرونا، توسط اپراتورهای حمل و نقل عمومی مورد توجه قرار گرفته است، اما بایستی توجه کرد که عدم سرویس دهی به ایستگاه های مشخص، تعداد مسافران سرویس دهی نشده و زمان سفر آن ها را افزایش می دهد؛ بنابراین، الگوی ارائه شده در این مقاله در خطوط حمل و نقل عمومی با تقاضای مسافر نسبتا کم، عملکرد بهتری دارد؛ زیرا توقف های بالقوه نادیده گرفته شده، منجر به تعداد زیادی مسافران بدون سرویس نمی شود؛ علاوه بر این، الگوی ارائه شده در این مقاله برای خطوط با سربالایی کوچک برای اجرای الگوهای خدماتی مناسب تر هستند، زیرا مسافران در صورت عدم سرویس دهی توسط وسیله نقلیه، مجبور نخواهند بود برای مدت طولانی منتظر بمانند.





به‌طور خلاصه، مدل پشتیبانی تصمیم ما می‌تواند الگوهای خدماتی را برای خدمات خطوط مختلف پیشنهاد کند و می‌تواند به اپراتورهای حمل‌ونقل عمومی کمک کند تا مزایا و معایب اجرای الگوهای خدمات مبتنی بر بیماری همه‌گیر را با توجه به پیشرفت‌های عملیاتی و سطح تقاضای مسافران ارزیابی کنند.

## ۶- جمع‌بندی و پیشنهادهای آتی

در این مطالعه، یک مدل الگوی سرویس‌دهی برای تعیین توقف یک وسیله نقلیه عمومی در هر ایستگاه به‌منظور برآوردن ظرفیت کاهش‌یافته در راستای حفظ فاصله‌گیری اجتماعی در دوران همه‌گیری کرونا و ویروس، توسعه داده شده است. مدل پیشنهادی تقاضای بروز شده مسافران را در محیط پویای حمل‌ونقل عمومی در نظر گرفته که می‌توان آن را در زمان واقعی برای خطوط حمل‌ونقل عمومی با اندازه‌های واقعی به‌کار برد تا راه‌حلی مطلوب را به‌دست آورد. کمیته‌سازی زمان انتظار مسافران و هم‌چنین تعداد ایستگاه‌هایی که به‌طور مکرر سرویس‌دهی نمی‌شوند، از اهداف اصلی مدل است؛ علاوه‌براین، مدل ریاضی مساله با در نظر گرفتن منابع عدم قطعیت ترکیبی که به‌صورت عدم قطعیت محلی و ساختاری می‌باشد توسعه داده شده است. براین اساس رویکرد جدیدی تحت عنوان برنامه‌ریزی تصادفی فازی برای مساله پیشنهاد شده است و از برنامه‌ریزی اعتباری فازی جهت حل مساله در شرایط عدم قطعیت ترکیبی استفاده شده است.

مدل نهایی مساله در شرایط متفاوت ناشی از ریسک سرایت و ویروس و تحت سناریوهای متفاوت پیک و غیر پیک با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی *AMPL* پیاده‌سازی و حل شده است. مثال‌های عددی برای نمایش کارایی مدل و رویکرد پیشنهادی ارائه شده است. یکی از موضوعات مهم تحقیقاتی آینده در نظر گرفتن فرکانس‌های متغیر است که می‌تواند تعداد وسایل نقلیه را متناسب با تقاضای سرویس‌دهی نشده در بازه‌های زمانی مشخصی از روز افزایش دهد.

## قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از داوران محترم اعلام می‌دارند. بی‌شک نقطه نظرات ارزشمندشان در بهبود کیفیت مقاله نقش بسزایی داشته است.

## منابع

- [1] Lewnard, J. A., & Lo, N. C. (2020). Scientific and ethical basis for social-distancing interventions against COVID-19. *The lancet infectious diseases*, 20(6), 631–633. DOI:10.1016/S1473-3099(20)30190-0
- [2] Anderson, R. M., Heesterbeek, H., Klinkenberg, D., & Hollingsworth, T. D. (2020). How will country-based mitigation measures influence the course of the COVID-19 epidemic? *The lancet*, 395(10228), 931–934. DOI:10.1016/S0140-6736(20)30567-5
- [3] Rodríguez-Morales, A. J., MacGregor, K., Kanagarajah, S., Patel, D., & Schlagenhauf, P. (2020). Going global-Travel and the 2019 novel coronavirus. *Travel medicine and infectious disease*, 33, 101578. DOI:10.1016/j.tmaid.2020.101578
- [4] Krishnakumari, P., & Cats, O. (2020). *Virus spreading in public transport networks: the alarming consequences of the business as usual scenario*. <https://www.linkedin.com/pulse/virus-spreading-public-transport-networks-alarming-usualkrishnan>
- [5] Tirachini, A., & Cats, O. (2020). COVID-19 and public transportation: current assessment, prospects, and research needs. *Journal of public transportation*, 22(1), 1–34. DOI:10.5038/2375-0901.22.1.1
- [6] Wang, C. J., Ng, C. Y., & Brook, R. H. (2020). Response to COVID-19 in Taiwan: big data analytics, new technology, and proactive testing. *Jama*, 323(14), 1341–1342.
- [7] Liu, Z., Yan, Y., Qu, X., & Zhang, Y. (2013). Bus stop-skipping scheme with random travel time. *Transportation research part C: emerging technologies*, 35, 46–56.
- [8] Chen, J., Liu, Z., Zhu, S., & Wang, W. (2015). Design of limited-stop bus service with capacity constraint and stochastic travel time. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 83, 1–15. DOI:10.1016/j.tre.2015.08.007
- [9] Gkiotsalitis, K. (2019). Robust stop-skipping at the tactical planning stage with evolutionary optimization. *Transportation research record*, 2673(3), 611–623.
- [10] Gkiotsalitis, K., Wu, Z., & Cats, O. (2019). A cost-minimization model for bus fleet allocation featuring the tactical generation of short-turning and interlining options. *Transportation research part C: emerging technologies*, 98, 14–36. DOI:10.1016/j.trc.2018.11.007
- [11] Cao, Z., & (Avi) Ceder, A. (2019). Autonomous shuttle bus service timetabling and vehicle scheduling using skip-stop tactic. *Transportation research part C: emerging technologies*, 102, 370–395. DOI:10.1016/j.trc.2019.03.018



- [12] Altazin, E., Dauzère-Pérès, S., Ramond, F., & Tréfond, S. (2017). Rescheduling through stop-skipping in dense railway systems. *Transportation research part C: emerging technologies*, 79, 73–84. DOI:10.1016/j.trc.2017.03.012
- [13] Gao, Y., Kroon, L., Schmidt, M., & Yang, L. (2016). Rescheduling a metro line in an over-crowded situation after disruptions. *Transportation research part B: methodological*, 93, 425–449. DOI:10.1016/j.trb.2016.08.011
- [14] Mahmoodi Nesheli, M., Ceder, A., & Liu, T. (2015). A robust, tactic-based, real-time framework for public-transport transfer synchronization. *Transportation research procedia*, 9, 246–268. DOI:10.1016/j.trpro.2015.07.014
- [15] Zhang, L., Huang, J., Liu, Z., & Vu, H. L. (2021). An agent-based model for real-time bus stop-skipping and holding schemes. *Transportmetrica A: transport science*, 17(4), 615–647. DOI:10.1080/23249935.2020.1802363
- [16] Sáez, D., Cortés, C. E., Milla, F., Núñez, A., Tirachini, A., & Riquelme, M. (2012). Hybrid predictive control strategy for a public transport system with uncertain demand. *Transportmetrica*, 8(1), 61–86. DOI:10.1080/18128601003615535
- [17] Wutsqa, D. U., & Insani, N. (2018). Yager's ranking method for solving the trapezoidal fuzzy number linear programming. *Journal of physics: conference series* (Vol. 983, No. 1, p. 012135). IOP Publishing.