



ارزیابی زمان سفر و قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده در حمل و نقل همگانی در تهران (مطالعه موردی خط ۱ اتوبوس‌های تندروی تهران)

مصطفی شفاعتی، محمود صفارزاده*

دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱
بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۲۵
پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱
ارائه آنلاین: ۱۴۰۲/۰۹/۰۸

کلمات کلیدی:

حمل و نقل همگانی
زمان سفر درک شده
قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده

خلاصه: ازدحام در حمل و نقل همگانی به خصوص در ساعات اوج در تهران بسیار مشاهده می‌شود. سفر در یک وسیله نقلیه مزاحم حمل و نقل همگانی طبیعتاً منجر به عدم راحتی مسافران می‌شود. از طرفی موضوع زمان سفر همواره دغدغه مهم برنامه ریزان حمل و نقل بوده است. با توجه به اینکه گذر زمان موضوعی ذهنی است بنابراین در یک بازه زمانی به خصوص ممکن است همه مسافران یک وسیله گذر زمان را به یک اندازه تجربه نکنند. مطالعات گذشته نیز بر این موضوع صحه گذاشته اند. بدین ترتیب مفهوم زمان سفر درک شده با توجه به ازدحام و سطوح مختلف آن در وسیله حمل و نقل همگانی مطرح شده است. فردی که در یک اتوبوس با تراکم مسافر کم نشسته است، گذر زمان را نسبت به فردی که در اتوبوسی با تراکم مسافر زیاد، ایستاده است، متفاوت تجربه می‌کند. علاوه بر مفهوم زمان سفر، موضوع قابلیت اطمینان زمان سفر نیز مطرح است. بررسی زمان سفر درک شده، منجر به طرح مفهومی نسبتاً جدید به نام قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده نیز می‌شود. در این تحقیق به ضرورت بررسی این دو موضوع در سیستم حمل و نقل همگانی تهران پرداخته شده است. برای نمونه نیز با استفاده از داده‌های AFC و AVL در ساعت اوج صبح یک روز کاری در شرایط عادی (قبل از کرونا و در آذر ۹۸) در خط ۱ اتوبوس‌های تندروی تهران به این موضوع پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهند که هم زمان سفر درک شده و هم قابلیت اطمینان آن هر دو تفاوت محسوسی با شکل اسمی خود دارند. در برخی موارد زمان سفر درک شده بیش از ۵۰ دقیقه با حالت اسمی تفاوت دارد. در مواردی نیز قابلیت اطمینان درک شده بیش از دو برابر حالت اسمی است. همچنین این تفاوت، لزوم بازنگری در نحوه تحلیل سیستم‌های حمل و نقل همگانی را با در نظر گرفتن زمان سفر درک شده نشان می‌دهد.

۱- مقدمه

مشاهدات میدانی حاکی از وجود مشکل شلوغی و ازدحام در ساعات اوج در ایستگاه‌ها و وسایل نقلیه حمل و نقل همگانی در ایران است. ایستادن در اتوبوسی با تعداد مسافران زیاد نسبت به ظرفیت اتوبوس، حس ناخوشایندی در کاربر ایجاد می‌کند. از طرفی بحث زمان سفر مطرح است. وقتی یک وسیله نقلیه حمل و نقل همگانی از ایستگاه الف به ایستگاه ب حرکت می‌کند، فاصله این دو ایستگاه را در مدت زمان خاصی می‌پیماید. اما بسته به شرایطی که زمان در آن سپری می‌شود، کاربران تجربه متفاوتی از گذشت زمان خواهند داشت. بدین ترتیب مفهومی به نام "زمان سفر درک شده" تعریف می‌شود [۱]. مطالعاتی مختلفی در این زمینه وجود دارد که در اکثر آن‌ها این زمان درک شده با ضرب ضرائبی در زمان سفر اسمی به دست می‌آیند [۲-۴]. در زمینه حمل و نقل همگانی این مفهوم بیش از هر چیزی

بر کمی‌سازی ازدحام و تبدیل ازدحام در سطحی خاص به زمان معادل آن ازدحام شده است. بر اساس [۵، ۶] زمان سفر درک شده را میتوان با استفاده از رابطه (۱) به دست آورد:

$$T^p = \beta^w T^w + \sum_{m=1}^M \beta_m^{sit} T_m^{sit} + \beta_m^{std} T_m^{std} \quad (1)$$

در رابطه ۱، T زمان سفر اسمی انتظار و گذرانده داخل وسیله، β ضریب زمان و m ، سطوح ازدحام هستند. با استفاده از زمان سفر درک شده، می‌توان مفهوم قابلیت اطمینان زمان سفر را نیز تعریف کرد. قابلیت اطمینان در حمل و نقل همگانی به معنای عدم تغییر ویژگی‌های سرویس است. ویژگی‌هایی که بر تصمیمات مسافران و تأمین کنندگان حمل و نقل همگانی اثرگذار است [۷]. معیارهای مختلفی

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: saffar_m@modares.ac.ir



دسامبر سال ۲۰۱۹ (پیش از شیوع ویروس کرونا) از شرکت واحد اتوبوسرانی تهران و حومه دریافت شده است. داده‌ها مربوط به زمان اوج صبح (۷ تا ۸ صبح) یک روز کاری است. در ادامه این تحقیق و در همین بخش، ابتدا مروری کوتاه بر مطالعات صورت گرفته در این زمینه ارائه می‌شود. سپس در قسمت روش شناسی چگونگی استفاده از داده‌ها و در واقع اختلاط AFC و AVL ارائه می‌شود. در بخش سوم پژوهش، نتایج محاسبات آورده شده و درباره آن‌ها بحث می‌شود و در نهایت در قسمت چهارم تحقیق، نتیجه‌گیری این کار آورده می‌شود.

مطالعات بسیاری برای روشن کردن، ارزیابی و مطالعه قابلیت اطمینان در حمل و نقل انجام شده است [۱۰]. مطالعه مروری مناسبی توسط [۱۱] در رابطه با قابلیت اطمینان زمان سفر در حمل و نقل همگانی انجام شده است. در این مطالعه شاخص‌های قابلیت اطمینان در حمل و نقل همگانی و مسائل نیازمند تحقیق بیشتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در [۱۲] منابع عدم قابلیت اطمینان را در سیستم‌های حمل و نقلی اشتراکی بررسی شده و معیارهایی پیشنهاد شدند. این معیارها چگونگی تغییر زمان کاربران را در یک سفر ارزیابی کردند. در [۱۳] به این موضوع اشاره شد که کاربران می‌توانند منبع عدم وجود قابلیت اطمینان باشند. این کار با مقایسه زمان انتظار آن‌ها با زمان انتظار کل سیستم انجام شد. در مطالعه [۱۴] ادعا شد که ارتباط بین رضایتمندی مسافران به دلیل شلوغی بیش از حد و توزیع غیر مساوی مسافران غیر خطی است. نویسندگان این توزیع غیرخطی را منبع بسیار مهمی برای وجود عدم قابلیت اطمینان دانسته‌اند. در مطالعه ای در نیجریه ارتباط بین عدم قابلیت اطمینان در حمل و نقل همگانی و فساد در نهادهای مسئول بررسی شد [۱۵]. درباره نیاز به تعریف شاخص‌های جدید برای قابلیت اطمینان نشان داده شد که شاخص‌های قابلیت اطمینان موجود می‌توانند منجر به پیش‌بینی‌های نادرست شوند [۱۶]. در [۱۷] با استفاده از شاخص RBT⁵ و با استفاده از داده‌های AFC و AVL یک روش جدید برای محاسبه قابلیت اطمینان زمان سفر در سفرهای چند شیوه‌ای با حمل و نقل همگانی ارائه شد. ادعای نویسندگان در این تحقیق این بود که تا به حال برای سفرهای چندشیوه‌ای حمل و نقل همگانی قابلیت اطمینان زمان سفر محاسبه نشده بود. تحقیقاتی نیز درباره منابع عدم قابلیت اطمینان نیز انجام شده است. مثلاً [۱۸] به بررسی میزان بهینه سرویس و اندازه وسیله نقلیه برای اتوبوس‌های اتوماتیک پرداختند. این کار با در نظر گرفتن شلوغی و ماهیت تصادفی زمان انجام شد. در این تحقیق مشخص شد هنگامی که

برای اندازه‌گیری قابلیت اطمینان زمان سفر در حمل و نقل همگانی وجود دارد مانند تغییرات در سرفاصله زمانی وسایل نقلیه. اما بیشتر این معیارها، به مسأله قابلیت اطمینان زمان سفر از دیدگاه تأمین کنندگان نظر دارد و نه کاربران [۸]. برای حل این مشکل، در برخی مراجع مانند [۹] شاخص قابلیت اطمینان زمان بافری (RBT)^۱ و برای یک مبدأ-مقصد خاص آن را به صورت اختلاف بین زمان سفر ۹۵ درصدی (معمولاً ۹۵ درصد در نظر گرفته می‌شود) و زمان سفر میانه تعریف کرده است. بر پایه زمان بافری و با توجه به مفهوم زمان سفر درک شده، در مطالعه [۱] مفهوم "قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده" را مطرح کرد که برای یک مبدأ مقصد خاص و زمان ترک کردن خاص برابر است با اختلاف بین یک زمان سفر درک شده حد بالا (۹۰ یا ۹۵ درصد) و زمان سفر میانه درک شده تعریف شده است. این شاخص به اختصار ESRG² خوانده می‌شود. بدین ترتیب هدف از انجام این تحقیق نیز ارزیابی این دو مفهوم (زمان سفر درک شده و قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده) در ساعت اوج یک روز کاری در ایران است. مطالعه موردی انجام گرفته مربوط به خط ۱ اتوبوس‌های تندروی شهر تهران و جهت شرق به غرب در ساعت اوج صبح یکشنبه ۱۰ آذر ۱۳۹۸ (۷ تا ۸ صبح) است. به طور خلاصه اهداف این تحقیق را می‌توان این گونه خلاصه کرد:

- محاسبه زمان سفر درک شده و مقایسه آن با زمان سفر اسمی
 - محاسبه قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده و مقایسه آن با قابلیت اطمینان زمان سفر اسمی
- به نظر می‌رسد تمرکز بر مفهوم زمان درک شده می‌تواند تصویر بهتری از اوضاع سیستم در اختیار کارشناسان قرار دهد. در این تحقیق، این موضوع برای شهر تهران و خط ۱ اتوبوس‌های تندروی تهران، در جهت شرق به غرب و در ساعت اوج صبح مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با توجه به زمان درک شده، قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده نیز معرفی و بررسی می‌شود.

به طور خلاصه، این تحقیق، در پی تبیین اهمیت کمی‌سازی ازدحام و در واقع "زمانی" کردن آن برای تحلیل وضعیت سیستم حمل و نقل همگانی در تهران از طریق مقایسه بین زمان سفر درک شده و زمان سفر اسمی در خط ۱ اتوبوس تندروی تهران تهران است. برای تحلیل، داده‌های جمع‌آوری خودکار کرایه (AFC³) و مکان‌دهی خودکار وسیله (AVL⁴) روز اول

-
- 1 Reliability Buffer Time
 - 2 Experienced Service Reliability Gap
 - 3 Automated Fare Collection
 - 4 Automatic Vehicle Location

خط یک از ۱۰۰۰ تا ۱۰۹۸ است. در داده‌های دریافتی مشاهداتی وجود داشت که در آن‌ها کد دستگاه در بازه ذکر شده نبود و مثلاً مشاهداتی با کد ۳۰۰۰ و غیره وجود داشت. فرض نویسندگان بر این بود که این مشاهدات مربوط به خطوط دیگر هستند که در اثر اشتباهات سخت یا نرم افزاری یا اشتباه اپراتور در تحویل داده‌ها، به عنوان داده‌های خط ۱ تحویل داده شدند. این مشاهدات نیز به عنوان "غیرعادی" در نظر گرفته شده و حذف شدند. داده ثبت نشده یا از دست رفته نیز در داده‌های AFC تحویلی مربوط به این مطالعه وجود نداشت.

۲-۲- تعیین مقاصد

با استفاده از داده‌های AFC مبدأ مقصد برای هر تراکنش مشخص می‌شود. در داده‌های AFC موجود در سازمان اتوبوسرانی شهرداری تهران، مسافران تنها در هنگام ورود به ایستگاه، از کارت بلیط استفاده می‌کنند بنابراین مقصد هر سفر نامشخص است. برای به دست آوردن مقصد، برای مشخص کردن مبدأ-مقصد ابتدا از روش زنجیره سفر به طوری که در مطالعه مروری [۲۱] ارائه شده است، استفاده می‌شود. در این روش اولین تراکنش به عنوان مبدأ در نظر گرفته می‌شود و فرض می‌شود که مسافر در نهایت به همان ایستگاه بر می‌گردد. بنابراین در صورتی که یک کاربر مثلاً در یک روز، دو بار و در دو ایستگاه متفاوت از کارت بلیط استفاده کرده باشد، دو سفر انجام شده است. مبدأ سفر دوم، مقصد سفر اول و مبدأ سفر اول، مقصد سفر دوم خواهد بود. برای مسافرانی که یک بار تراکنش انجام داده اند، محل مقصد با توجه به ماتریس مبدأ-مقصد اولیه و درصد کل سفرها، تعیین می‌شوند. به این ترتیب مبدأ مقصدها به طور تقریبی به دست می‌آیند.

۲-۳- تعیین تقریبی زمان سوار شدن

چون داده‌های کارت بلیط شهرداری در فواصل زمانی یک ساعته جمع آوری می‌شوند، بنابراین به طور دقیق مشخص نیست که هر مسافر در چه دقیقه و ثانیه ای وارد ایستگاه مبدأ می‌شود. برای آنکه بتوان به طور تخمینی مشخص کرد که هر مسافر سوار کدام اتوبوس می‌شود، باید جریان ورود مسافران را به دست آورد. در اینجا نیز برای ساده کردن مسأله فرض می‌شود که ورود مسافران به ایستگاه‌ها یکنواخت است. بنابراین با تقسیم تعداد وارد شده در هر ایستگاه بر ۶۰ دقیقه، مشخص می‌شود در هر دقیقه چند مسافر وارد ایستگاه شده اند. زمان دقیق ورود هر اتوبوس به هر ایستگاه نیز بر اساس داده‌های AVL مشخص است. بنابراین مشخص می‌شود هر مسافر در چه اتوبوس سوار می‌شود.

شلوغی برای کاربران حائز اهمیت است، اندازه وسیله نقلیه و فراوانی سرویس افزایش می‌یابد. همچنین در صورتی که زمان سفر بین ایستگاه‌ها تصادفی باشند، فراوانی بهینه سرویس افزایش خواهد یافت. در مطالعه دیگری به ارزیابی اثر آب و هوا بر تغییرات قابلیت اطمینان زمان سفر پرداختند. این تحقیق با استفاده از رگسیون خطی چند گانه انجام شد. نتایج نشان دادند که میزان بارش، سرعت باد و دما می‌توانند منجر به افزایش زمان سفر و در نتیجه کاهش قابلیت اطمینان شوند [۱۹].

در زمینه قابلیت اطمینان زمان سفر در سطح شبکه در حمل و نقل همگانی، [۲۰] نشان داد، کاهش ظرفیت در کمانها عموماً منجر به کاهش قابلیت اطمینان خواهد شد. در نهایت همان طور که ملاحظه می‌شود مفهوم قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده که در سال ۲۰۱۸ مطرح شده، چندان مورد توجه نبوده است. در مطالعات ایرانی نیز تا جایی که نویسندگان این مقاله می‌دانند، به این مفهوم تاکنون پرداخته نشده است. بدین ترتیب معرفی و ارزیابی این موضوع هم در سطح جهانی و هم در مقالات فارسی داخلی ضروری به نظر می‌رسد.

۲- روش شناسی

در این بخش، در زیربخش‌هایی که در ادامه می‌آیند، روش انجام پژوهش توضیح داده می‌شود.

۲-۱- پیش‌پردازش داده‌ها

ابتدا پیش‌پردازش داده‌های AFC و AVL انجام شد. درباره داده‌های AVL دریافتی مربوط به ساعت مورد مطالعه در این مقاله، نیازی به پیش‌پردازش نبود. زیرا مقدار غیر عادی^۱ و ثبت نشده^۲ وجود نداشت. اما در مورد داده‌های AFC، پس از مرتب‌سازی داده‌ها بر اساس کد کارت و زمان استفاده و کد ایستگاه، مشاهده شد که یک کارت در یک زمان و مکان بیش از یک بار مورد استفاده قرار گرفته است. این کار می‌توانست در اثر اشتباه در استفاده از کارت بلیط باشد. یعنی یک مسافر خاص، به اشتباه دو بار کارت خود در مقابل دستگاه گرفته باشد. بنابراین اینچنین مشاهداتی، به عنوان غیرعادی در نظر گرفته شده و حذف شدند. یعنی در صورتی که برای مثال، ۴ مشاهده تکراری وجود داشت، یک مشاهده در نظر گرفته شد و ۳ مشاهده دیگر حذف شدند. همچنین بر اساس داده‌های دریافتی از شرکت اتوبوسرانی تهران و حومه، کد دستگاه‌های AFC تعبیه شده در ایستگاه‌های

1 Anomaly

2 Missing

که این نمودارها برای هر مبدأ مقصد خاص و هر زمان ترک کردن خاصی ترسیم شوند. اما با توجه به اینکه هدف در این مقاله معرفی بیشتر مفهوم زمان سفر درک شده و همچنین قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده است و نه به دست آوردن دقیق این کمیت‌ها برای هر مبدأ-مقصد، بنابراین این اشکال قابل چشم پوشی است. ضرائب و همچنین نمودارها نشان می‌دهند که زمان درک شده بزرگتر یا مساوی زمان واقعی است. محاسبات برای اختلاف ایستگاه ۱۸، ۱۶، ۱۵، ۱۴ و ۱۳ انجام شده است. نتایج تحلیل اولیه را می‌توان در جدول ۲ ملاحظه کرد. لازم به ذکر است که تعداد کل مشاهدات ۴۴۴۵ مشاهده است. خط نارنجی مربوط به زمان سفر درک شده و خط آبی مربوط به زمان سفر واقعی است. نمودار شکل ۳ نیز متوسط زمان سفر برای پیمودن یک ایستگاه را نشان می‌دهد. یعنی برای هر مبدأ مقصد، زمان سفر درک شده و واقعی بر مقدار اختلاف ایستگاه‌ها تقسیم شده اند و در مدت یک ساعت تحت بررسی، نمودار متوسط زمان سفر درک شده برای یک ایستگاه در برابر متوسط زمان سفر واقعی برای یک ایستگاه ترسیم شده اند.

در شکل ۲ ملاحظه می‌شود که فاصله دو خط آبی و نارنجی در برخی از ساعات کمتر و در برخی از ساعات بیشتر است. نتایج جدول ۱ هم نشان می‌دهد که متوسط زمان سفر درک شده و واقعی بین ۵ تا ۱۲ دقیقه با هم تفاوت دارند. اما اختلاف بیشینه‌ها بعضاً خیلی زیاد است. در برخی از موارد، بیشینه زمان سفر درک شده بیش از ۱ ساعت با بیشینه زمان سفر واقعی تفاوت دارند. به بیانی دیگر مسافر، یک ساعت بیشتر از مدت زمان سفر اسمی، مبدأ تا مقصد را به وسیله اتوبوس می‌پیماید. چنین اختلاف زیادی ضرورت در نظر گرفتن زمان سفر درکی را هرچه بیشتر نشان می‌دهد. در پر تقاضاترین خط اتوبوس‌های تندروی تهران (خط ۱) و در زمان اوج، چنین اختلافی بسیار قابل تأمل است. در نمودار شکل ۳ نیز که متوسط زمان سفر درک شده و واقعی برای پیمودن فاصله بین دو ایستگاه نشان داده می‌شود، اختلاف زمان درکی و واقعی، در برخی زمان‌ها از سرفاصله زمانی اتوبوس‌ها نیز بیشتر است. جدول ۲، برنامه زمان بندی این خط را در ساعات متفاوت نشان می‌دهد.

در ادامه به محاسبه قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده یا در واقع شاخص ESRG برای متوسط زمان پیموده شده بین دو ایستگاه پرداخته می‌شود. این کار در پنجره‌های ۲ دقیقه ای و با توجه به زمان رسیدن مسافران به ایستگاه‌ها انجام می‌شود و سپس نمودار Buffer Time در مقابل ESRG ترسیم می‌شود تا قابلیت اطمینان زمان سفر با قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده مقایسه شود.

۲-۴- تعیین نشست‌ها یا ایستاده بودن مسافر

با توجه به اینکه نشست‌ها یا ایستاده بودن مسافر ضرائب زمانی متفاوتی دارند، باید وضعیت نشست‌ها یا ایستاده بودن مسافر را در فاصله هر دو ایستگاه مشخص کرد. در هنگامی که هیچ صندلی خالی در اتوبوس وجود ندارد، اولویت نشستن با کسانی است که ایستاده اند و سپس مسافران جدید در هر ایستگاه.

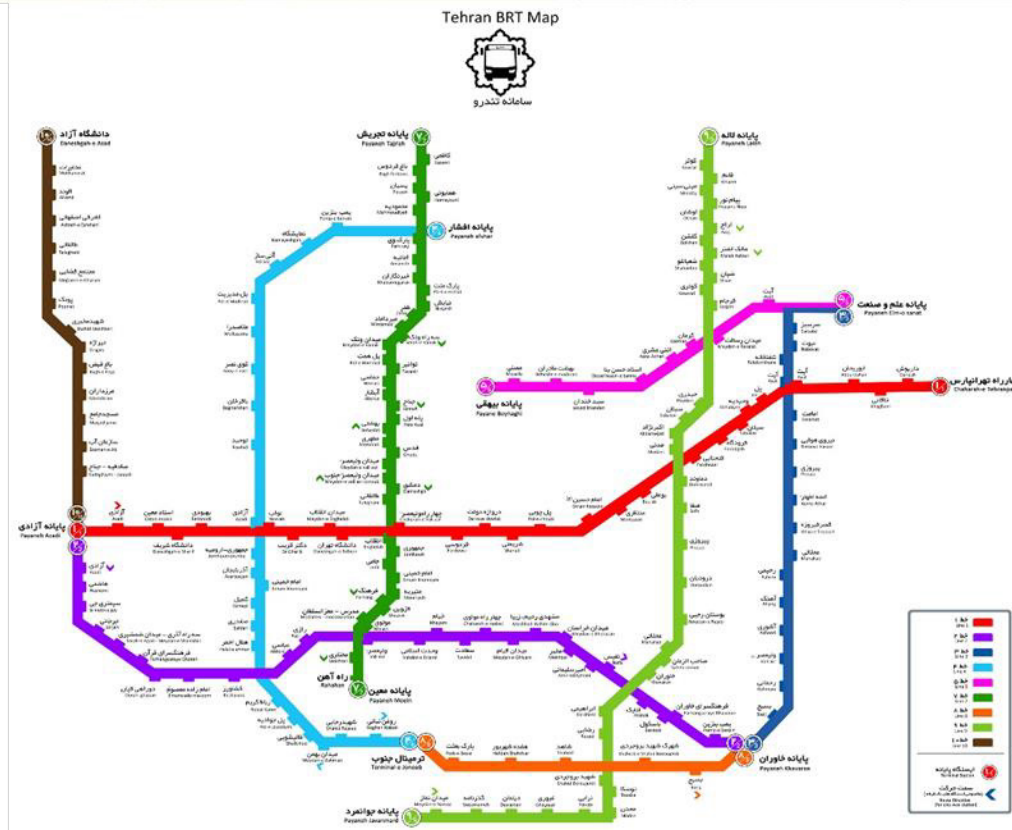
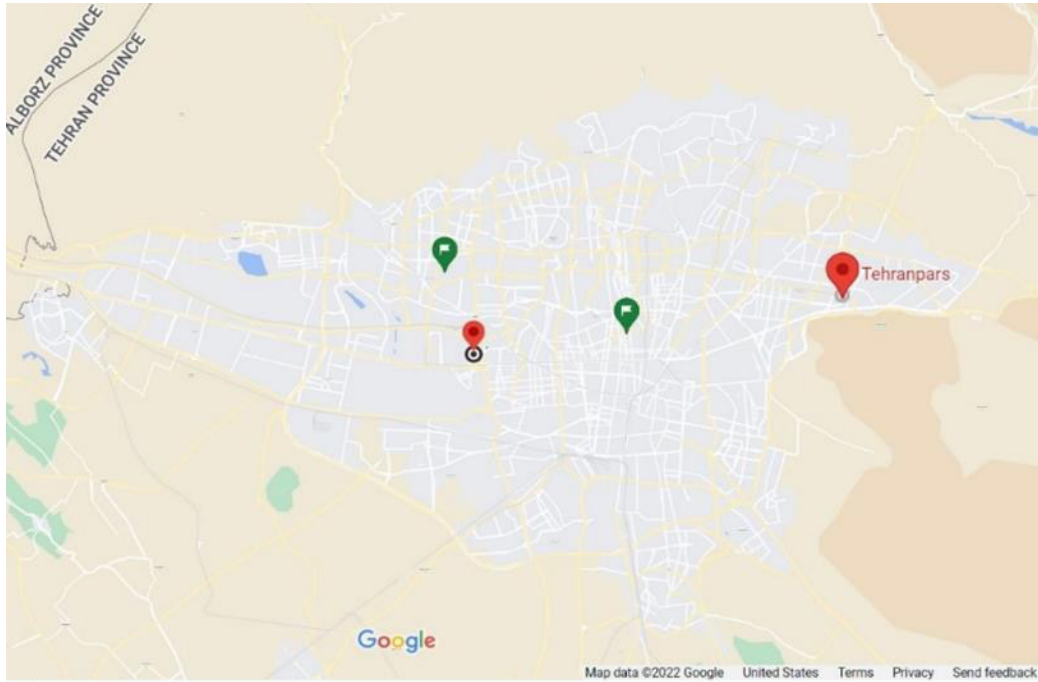
۲-۵- به دست آوردن زمان سفر درک شده و شاخص ESRG

ضرائب مربوط به زمان سفر درک شده داخل وسیله با توجه به مطالعه [۲] به دست آورده می‌شود. با توجه به اینکه زمان مورد بررسی، زمان اوج صبح است، مسافران منظم کاری^۱ در نظر گرفته می‌شوند. با این فرض، ضرائب زمانی در هنگامی که کمتر از ۵۰ درصد صندلی‌ها اشغال هستند برابر با ۱، بیش از ۵۰ درصد، ۱/۲۲، در هنگامی که ایستاده‌ها کمتر از ۵۰ درصد ظرفیت ایستاده هستند، ۲/۱۹ و هنگامی که بیش از ۵۰ درصد ظرفیت ایستاده نیز اشغال است، ضریب زمان داخل وسیله برای جمعیت ایستاده برابر با ۳/۰۱ در نظر گرفته می‌شود. ضریب زمانی برای زمان انتظار نیز طبق مطالعه [۱] برابر با ۲ در نظر گرفته شده است. این روند برای تک تک مسافران در ساعت ۷ تا ۸ صبح انجام می‌شود تا بدین ترتیب زمان سفر درک شده برای هر مسافر به دست آید. سپس نمودار توزیع زمان سفر درک شده ترسیم می‌شود. برای به دست آوردن شاخص ESRG زمان سفر درک شده ۹۵ درصدی منهای زمان سفر درک شده ۵۰ درصدی می‌شود.

برای نمونه روند انجام شده برای روز ۱۰ آذر ۱۳۹۸ ارائه می‌شود. این محاسبات برای خط ۱ اتوبوس‌های تندروی تهران و جهت شرق به غرب صورت می‌گیرد. مدت زمان مورد بررسی از ساعت ۷:۱۲ دقیقه صبح تا ۸:۱۲ صبح است. ظرفیت نشست‌ها اتوبوس‌ها ۷۵ مسافر و ظرفیت کل آن‌ها ۱۵۰ مسافر در نظر گرفته شده است. در این مدت ۴۷ اتوبوس از ایستگاه تهرانپارس شروع به حرکت کرده و به سمت آزادی رفته اند. برای خلاصه کردن محاسبات، تا ایستگاه شماره ۱۸ زمان سفر و زمان سفر درک شده محاسبه شده است. شکل ۱ نیز، نقشه این خط را نشان می‌دهد.

۳- نتایج و بحث

برای نمونه، در شکل ۲، نمودار زمان سفر واقعی و زمان سفر درک شده برای اختلاف ایستگاه برابر با ۱۵ ترسیم شده است. البته بهتر آن است



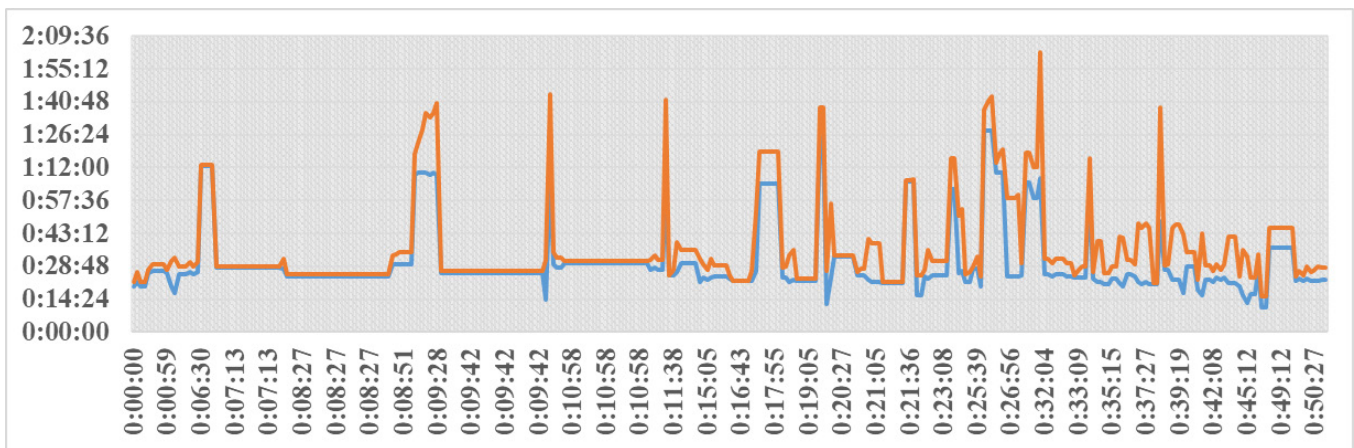
شکل ۱. نقشه خط مورد مطالعه در نقشه شهر تهران (تصویر اول که در آن اولین و آخرین ایستگاه مسیر مورد مطالعه با دو نشانگر قرمز مشخص شده‌اند) و شبکه خطوط اتوبوس‌های تندروی تهران

Fig. 1. Case study map in Tehran's map (the first and last stops are marked with red markers in the first picture) and BRT network of Tehran (the second picture)

جدول ۱. نتایج تحلیل اولیه زمان سفر درک شده و واقعی

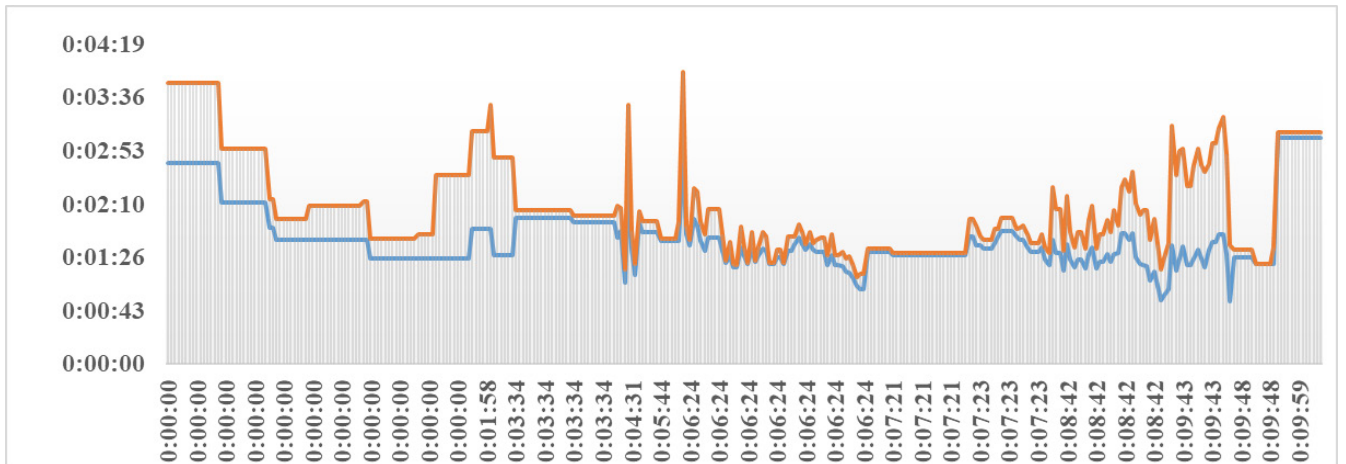
Table 1. The results of calculating nominal and perceived travel times

اختلاف ایستگاه	کمینه درکی	بیشینه درکی	انحراف درکی	میانگین درکی	کمینه واقعی	بیشینه واقعی	انحراف واقعی	میانگین واقعی
۱۸	۰:۱۷:۴۵	۲:۲۱:۴۸	۰:۱۸:۵۳	۰:۳۸:۳۶	۰:۰۷:۴۵	۱:۳۲:۱۵	۰:۱۷:۲۷	۰:۳۳:۵۲
۱۶	۰:۱۳:۰۰	۱:۳۸:۳۳	۰:۲۰:۵۲	۰:۴۲:۴۴	۰:۱۲:۰۲	۱:۳۰:۰۸	۰:۲۰:۲۵	۰:۳۷:۲۴
۱۵	۰:۱۵:۵۲	۲:۰۲:۱۹	۰:۱۹:۲۵	۰:۳۷:۱۳	۰:۱۰:۴۷	۱:۲۷:۵۷	۰:۱۵:۱۱	۰:۳۰:۳۵
۱۴	۰:۱۷:۴۵	۱:۳۹:۵۲	۰:۱۵:۴۷	۰:۳۴:۰۵	۰:۱۳:۱۹	۱:۲۱:۳۵	۰:۱۲:۴۲	۰:۲۷:۰۱
۱۳	۰:۱۴:۳۳	۲:۱۶:۵۹	۰:۱۹:۰۶	۰:۳۷:۵۷	۰:۱۰:۰۶	۱:۲۲:۳۸	۰:۱۴:۰۰	۰:۲۵:۲۰
۱۲	۰:۱۰:۳۶	۲:۱۶:۵۹	۰:۲۰:۵۶	۰:۳۷:۵۷	۰:۰۷:۴۱	۱:۲۲:۳۸	۰:۱۵:۴۴	۰:۲۷:۰۲



شکل ۲. نمودار زمان سفر درک شده و زمان سفر واقعی برای اختلاف مبدأ تا مقصد ۱۵ ایستگاه

Fig. 2. The plot of nominal (blue) and perceived (orange) travel times when the difference between destination and origin number is 15



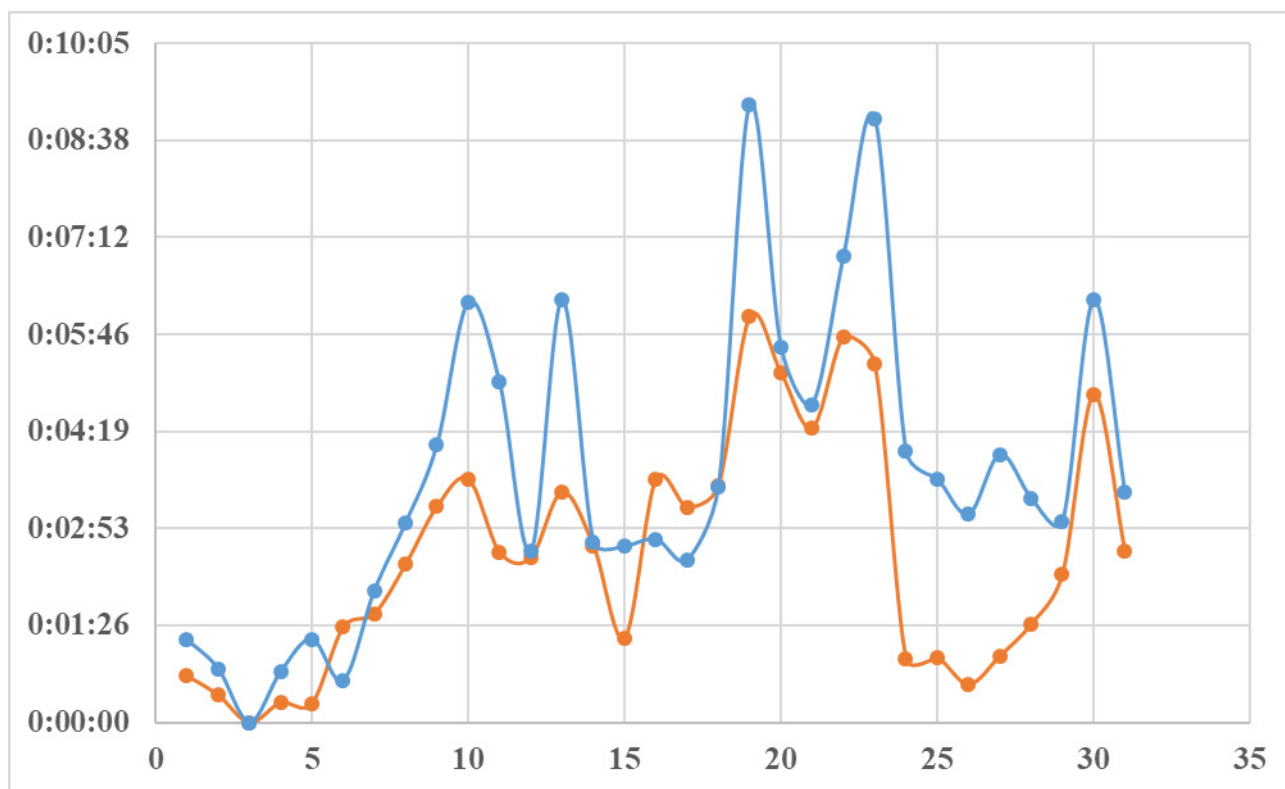
شکل ۳. نمودار متوسط زمان سفر درک شده و واقعی برای پیمودن یک ایستگاه

Fig. 3. The plot of average nominal (blue) and perceived (orange) travel times for one block (stop-to-stop) travelled

جدول ۲. برنامه زمان بندی حرکت اتوبوس های خط ۱

Table 2. The time schedule of the buses on the studied BRT line

سرفاصله (دقیقه)	تا	از
۳	۶:۰۰:۰۰	۰۵:۰۰:۰۰
۱	۶:۳۰:۰۰	۶:۰۱:۳۰
۱	۸:۱۵:۰۰	۶:۳۱:۱۵
۱	۸:۳۰:۰۰	۸:۱۶:۳۰
۱	۹:۰۰:۰۰	۸:۳۱:۴۰
۲	۹:۳۰:۰۰	۹:۰۲:۰۰
۲	۱۲:۳۰:۰۰	۹:۳۲:۳۰
۲	۱۴:۳۰:۰۰	۱۲:۳۲:۰۰
۱	۱۷:۰۰:۰۰	۱۴:۳۱:۴۰
۲	۱۸:۰۰:۰۰	۱۷:۰۲:۰۰
۲	۱۹:۳۰:۰۰	۱۸:۰۲:۳۰
۲	۲۰:۲۷:۴۵	۱۹:۳۲:۴۵
۲	۲۰:۳۰:۰۰	۲۰:۳۰:۰۰
۳	۲۱:۵۶:۱۵	۲۰:۳۳:۴۵
۳	۲۱:۵۹:۳۰	۲۱:۵۹:۳۰



شکل ۴. نمودار قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده (آبی رنگ) در برابر قابلیت اطمینان زمان سفر اسمی

Fig. 4. Plotting ESRG (blue) and RBT (Orange) in 31 2-minute time windows

می‌گرفت، در محاسبات مربوطه باید به این نکته توجه شود. در صورت در دسترس بودن داده ارزیابی اثر کرونا بر این شاخص و همچنین زمان سفر درک شده می‌تواند موضوع یک تحقیق جداگانه باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق زمان سفر درک شده و قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده در خط ۱ اتوبوس‌های تندروی تهران بررسی شدند. مفهوم زمان سفر درک شده در واقع به نوعی ازدحام را کمی‌سازی می‌کند و آن را به زمان تبدیل می‌کند. در محاسبه زمان سفر درک شده، نشسته یا ایستاده بودن مسافران نیز مورد توجه است. بدین ترتیب که ضرائب زمان برای وقتی که مسافر نشسته است کمتر از زمانی است که مسافر ایستاده است. محاسبات برای تک تک مسافران و برای فاصله هر دو ایستگاه متوالی انجام شده است. مقایسه زمان سفر واقعی و زمان سفر درک شده تفاوت قابل ملاحظه

بر اساس شکل ۴ و جدول ۴ مجدداً ملاحظه می‌شود که در بحث قابلیت اطمینان زمان سفر نیز، در دو حالت قابلیت اطمینان زمان سفر اسمی و قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده تفاوت وجود دارد. همان طور که ملاحظه می‌شود در بیشتر زمان‌ها قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده مقدار بیشتری نسبت به قابلیت اطمینان زمان سفر اسمی دارد که این یافته با مطالعه [۱] تطابق دارد.

یادآوری این نکته ضروری است که داده‌های این تحقیق مربوط به شرایط پیش از همه‌گیری کرونا است. در صورتی که ارزیابی اثر کرونا بر شاخص ESRG مدنظر باشد، باید داده‌های AFC و AVL مربوط به دوران کرونا در دسترس باشد. همچنین با توجه به آنکه در دوران همه‌گیری و پیش از انجام واکسیناسیون سراسری، بر طبق ضوابط اعلامی پیشگیری از شیوع کرونا در کشور، تردد اتوبوس‌ها باید با ۵۰ درصد ظرفیت صورت

جدول ۳. مقادیر قابلیت اطمینان زمان سفر اسمی و درک شده

Table 3. The values of nominal and perceived travel time reliability

ESRG	RBT	پنجره‌های زمانی
۰:۰۱:۱۴	۰:۰۰:۴۲	۱
۰:۰۰:۴۸	۰:۰۰:۲۴	۲
۰:۰۰:۰۰	۰:۰۰:۰۰	۳
۰:۰۰:۴۵	۰:۰۰:۱۷	۴
۰:۰۱:۱۴	۰:۰۰:۱۷	۵
۰:۰۰:۳۷	۰:۰۱:۲۵	۶
۰:۰۱:۵۸	۰:۰۱:۳۷	۷
۰:۰۲:۵۸	۰:۰۲:۲۱	۸
۰:۰۴:۰۷	۰:۰۳:۱۳	۹
۰:۰۶:۱۴	۰:۰۳:۳۷	۱۰
۰:۰۵:۰۳	۰:۰۲:۳۲	۱۱
۰:۰۲:۳۲	۰:۰۲:۲۷	۱۲
۰:۰۶:۱۶	۰:۰۳:۲۵	۱۳
۰:۰۲:۴۱	۰:۰۲:۳۸	۱۴
۰:۰۲:۳۷	۰:۰۱:۱۵	۱۵
۰:۰۲:۴۳	۰:۰۳:۳۷	۱۶
۰:۰۲:۲۵	۰:۰۳:۱۲	۱۷
۰:۰۳:۳۰	۰:۰۳:۳۱	۱۸
۰:۰۹:۱۱	۰:۰۶:۰۲	۱۹
۰:۰۵:۳۴	۰:۰۵:۱۲	۲۰
۰:۰۴:۴۳	۰:۰۴:۲۳	۲۱
۰:۰۶:۵۶	۰:۰۵:۴۴	۲۲
۰:۰۸:۵۸	۰:۰۵:۱۹	۲۳
۰:۰۴:۰۱	۰:۰۰:۵۷	۲۴
۰:۰۳:۳۷	۰:۰۰:۵۷	۲۵
۰:۰۳:۰۵	۰:۰۰:۳۴	۲۶
۰:۰۳:۵۹	۰:۰۰:۵۹	۲۷
۰:۰۳:۲۰	۰:۰۱:۲۸	۲۸
۰:۰۲:۵۹	۰:۰۲:۱۲	۲۹
۰:۰۶:۱۶	۰:۰۴:۵۲	۳۰
۰:۰۳:۲۵	۰:۰۲:۳۳	۳۱

با زمان سفر اسمی مقایسه شد. نتیجه نشان داد که تفاوت این دو به طور متوسط برای هر دو ایستگاه، در مواردی بیش از سر فاصله زمانی اتوبوس‌ها بر طبق برنامه زمان بندی پیش بینی شده توسط شرکت واحد اتوبوسرانی است. این موضوعی قابل تأمل است. بنابراین ضرورت تحلیل‌ها در حمل و نقل همگانی در تهران با توجه به زمان سفر درک شده و نه زمان سفر اسمی

ای را نشان می‌دهد. از طرفی بر اساس زمان سفر درک شده، مفهوم قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده نیز معرفی و بررسی شد و نشان داده شد که قابلیت اطمینان زمان سفر اسمی و درک شده نیز با هم تفاوت دارند. نتایج نشان دادند در برخی از موارد اختلاف بین زمان سفر درک شده با واقعی حتی بیش از ۱ ساعت هستند. سپس زمان سفر درک شده متوسط بین دو ایستگاه

- [2] M. Wardman, G. Whelan, Twenty years of rail crowding valuation studies: evidence and lessons from British experience, *Transport reviews*, 31(3) (2011) 379-398.
- [3] Z. Li, D.A. Hensher, Crowding and public transport: A review of willingness to pay evidence and its relevance in project appraisal, *Transport Policy*, 18(6) (2011) 880-887.
- [4] L. Haywood, M. Koning, G. Monchambert, Crowding in public transport: Who cares and why?, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 100 (2017) 215-227.
- [5] A. Sumalee, Z. Tan, W.H. Lam, Dynamic stochastic transit assignment with explicit seat allocation model, *Transportation Research Part B: Methodological*, 43(8-9) (2009) 895-912.
- [6] F. Leurent, V. Benezech, F. Combes, A stochastic model of passenger generalized time along a transit line, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 54 (2012) 785-797.
- [7] M. Abkowitz, H. Slavin, R. Waksman, L.S. English, N.H. Wilson, *Transit service reliability*, United States. Urban Mass Transportation Administration, 1978.
- [8] E.I. Diab, M.G. Badami, A.M. El-Geneidy, Bus transit service reliability and improvement strategies: Integrating the perspectives of passengers and transit agencies in North America, *Transport Reviews*, 35(3) (2015) 292-328.
- [9] D.L. Uniman, J. Attanucci, R.G. Mishalani, N.H. Wilson, Service reliability measurement using automated fare card data: application to the London underground, *Transportation research record*, 2143(1) (2010) 92-99.
- [10] S.T. Jin, H. Kong, R. Wu, D.Z. Sui, Ridesourcing, the sharing economy, and the future of cities, *Cities*, 76 (2018) 96-104.
- [11] M. Alkubati, N.A. Khalifa, H.A. Al-barakani, An overview of public transport reliability studies using a bibliometric analysis, *Ain Shams engineering journal*, 14(3) (2023) 101908.
- [12] V. Pimenta, A. Quilliot, H. Toussaint, D. Vigo, Models and algorithms for reliability-oriented dial-a-ride with

وجود دارد. در بحث قابلیت اطمینان زمان سفر نیز، با توجه به زمان سفر درک شده، مفهوم قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده معرفی شد. تا آنجایی که نویسندگان این مقاله مطلع هستند این مفهوم برای اولین بار در مقالات فارسی در ایران مطرح می‌شود. مقایسه قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده با قابلیت اطمینان زمان سفر اسمی نیز نشان از تفاوت قابل ملاحظه ای دارد. هدف از این تحقیق، جلب توجه محققان، کارشناسان و فعالان حوزه حمل و نقل همگانی به زمان سفر درک شده بود. نتایج به دست آمده به طوری که در سطور بالا آورده شد، ضرورت توجه به این مفهوم را در تهران و به خصوص در ساعات اوج اثبات می‌کند.

در این قسمت برای انجام مطالعات آتی در این زمینه پیشنهاداتی ارائه می‌شود. اول، با توجه به پشت سر گذاشتن همه‌گیری کرونا و به وجود آمدن شرایط عادی جدید، مطالعه دو مفهوم معرفی شده در این تحقیق در شرایط جدید پیشنهاد می‌شود. دوم، مقایسه وضعیت زمان سفر درک شده و قابلیت اطمینان به دست آمده از آن در بین شیوه‌های مختلف دیگر حمل و نقل همگانی مانند مترو موضوع دیگری است که می‌تواند در آینده مورد توجه قرار گیرد. سوم، به دست آوردن ضرائب زمان سفر در ایران و در شیوه‌های متفاوت حمل و نقل همگانی موضوع دیگری است که می‌تواند مورد توجه واقع شود. چهارم، تا آنجایی که نویسندگان این تحقیق بررسی کرده‌اند، به نظر می‌رسد در صورت وجود، مطالعات کمی هستند که در سفرهای چندشیوه‌ای حمل و نقل همگانی، ضربی برای زمان انتقال از یک شیوه به شیوه دیگر به دست آورده‌اند. به دست آوردن این ضرائب معمولاً با استفاده از پرسشنامه‌های ترجیح بیان شده (SP^3) قابل محاسبه است. انجام این تحقیق در تهران در ایستگاه‌هایی که در آن‌ها زمان انتقال از یک شیوه به شیوه دیگر اتفاق می‌افتد مانند ایستگاه صادقیه، انقلاب، آزادی، ترمینال جنوب و غیره پیشنهاد می‌شود. همچنین مسأله قابلیت اطمینان زمان سفر درک شده در سفرهای چند شیوه‌ای و اثرات کرونا بر آن نیز می‌تواند مورد توجه قرار گیرند.

منابع

- [1] E. Jenelius, Public transport experienced service reliability: Integrating travel time and travel conditions, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 117 (2018) 275-291.

-
- 1 New normal situation
 - 2 Transfer time
 - 3 Stated preference

- multimodal public transport journeys, *Transportation Research Record*, 2673(2) (2019) 149-160.
- [18] M. Sadrani, A. Tirachini, C. Antoniou, Optimization of service frequency and vehicle size for automated bus systems with crowding externalities and travel time stochasticity, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 143 (2022) 103793.
- [19] C. French, M. O'Mahony, Using Automatic Vehicle Location System Data to Assess Impacts of Weather on Bus Journey Times for Different Bus Route Types, in: 2021 IEEE International Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), IEEE, 2021, pp. 2137-2144.
- [20] J. Liu, P.M. Schonfeld, Y. Yin, Q. Peng, Effects of link capacity reductions on the reliability of an urban rail transit network, *Journal of Advanced Transportation*, 2020 (2020) 1-15.
- [21] E. Hussain, A. Bhaskar, E. Chung, Transit OD matrix estimation using smartcard data: Recent developments and future research challenges, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 125 (2021) 103044.
- autonomous electric vehicles, *European Journal of Operational Research*, 257(2) (2017) 601-613.
- [13] R. Kucharski, A. Fielbaum, J. Alonso-Mora, O. Cats, If you are late, everyone is late: late passenger arrival and ride-pooling systems' performance, *Transportmetrica A: Transport Science*, 17(4) (2021) 1077-1100.
- [14] J. Soza-Parra, S. Raveau, J.C. Muñoz, O. Cats, The underlying effect of public transport reliability on users' satisfaction, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 126 (2019) 83-93.
- [15] L.G. Alcorn, A. Karner, Integrating formal and informal transit into one hybrid passenger transport system in Lagos, Nigeria, *Transportation*, 48(3) (2021) 1361-1377.
- [16] N. van Oort, Incorporating service reliability in public transport design and performance requirements: International survey results and recommendations, *Research in Transportation Economics*, 48 (2014) 92-100.
- [17] M. Dixit, T. Brands, N. van Oort, O. Cats, S. Hoogendoorn, Passenger travel time reliability for

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M. Shafaati, M. Saffarzadeh, *Evaluating Perceived Travel Time and Travel Time Reliability in the Transit System of Tehran (Case Study: The First BRT Line)*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 55(12) (2024) 2429-2440.

DOI: 10.22060/ceej.2023.21968.7864



