

بهینه‌سازی زمان توقف اتوبوس‌های خط ویژه در ایستگاه‌ها با استفاده از روش رگرسیون و سناریو اکتشافی محور (مورد مطالعه: شهر ارومیه)

مقاله علمی - پژوهشی

سهراب عبداله‌زاده*، دانشیار، دانشکده فناوری‌های صنعتی، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران
سیامک ناغ وطن، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: s.abdollahzadeh@uut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۸ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۲

صفحه ۱۹۶-۱۸۳

چکیده

مکان‌یابی مناسب ایستگاه‌های اتوبوس و انتخاب روش مناسب پرداخت کرایه، نقش کلیدی در بهبود زمان توقف اتوبوس دارد. در این پژوهش رویکردی به منظور بهینه‌سازی زمان توقف اتوبوس‌های خط ویژه در ایستگاه‌های واقع در تقاطع‌ها و بین تقاطع با دو شیوه پرداخت کارتی و نقدی ارائه شده است. عدم قطعیت‌های از منابع معتبر استخراج و توسط خبرگان تحلیل شده و دو پیشران کلیدی کلیدی "شیوه پرداخت" و "مکان ایستگاه" شناسایی شد. در ادامه، با استفاده از تحلیل رگرسیونی، زمان توقف اتوبوس‌ها در سناریوهای اکتشافی محتمل پیش‌بینی می‌شود. در نهایت، گزینه‌های استوار به منظور بهبود زمان توقف اتوبوس در ایستگاه‌ها پیشنهاد می‌شود. به منظور اعتبار سنجی رویکرد پیشنهادی، مطالعه‌ای در یک مسیر ویژه اتوبوس با ۲۲ ایستگاه انجام شد. به کمک دو پیشران کلیدی، چهار سناریو ساخته شده و مورد بررسی قرار گرفت. دو سناریوی "بین تقاطع-نقدی" و "تقاطع-نقدی" به ترتیب با متوسط زمان توقف ۱۲/۴۶ و ۱۴/۶۷ جهت بررسی انتخاب شدند. بر اساس سناریوهای منتخب، تعداد ۱۴ راهبرد مناسب پیشنهاد شد که در نهایت، ۸ گزینه استوار برای کاهش زمان توقف اتوبوس و افزایش دسترسی مسافران به ایستگاه‌ها ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه اتوبوس، پیشران کلیدی، تحلیل رگرسیونی، راهبرد استوار، سناریو

۱-مقدمه

شهری به‌صورت ویژه مورد توجه قرار گرفته‌اند (An et al., 2016). حمل‌ونقل عمومی در صورت طراحی و پیاده‌سازی نادرست، می‌تواند فعالیت‌های روزانه کلان‌شهرها را مختل نموده و تأثیرات اقتصادی مخربی برجای گذارد. همچنین ناکارآمدی سیستم حمل‌ونقل شهری، تمایل افراد به استفاده از وسایل نقلیه شخصی را افزایش داده و مدیریت شهری را با چالش مواجه می‌سازد. حمل‌ونقل عمومی دارای اثرات مثبت اجتماعی و زیست‌محیطی زیادی است؛ به‌طوری‌که گسترش حمل‌ونقل عمومی و استفاده از سیستم‌های حمل‌ونقل کارا و باقابلیت

حمل‌ونقل از مهم‌ترین زیرساخت‌های هر کشور و از الزامات دسترسی و جابجایی فیزیکی کالا یا افراد است. سامانه‌های حمل‌ونقل یکی از عوامل مهم و از شاخص‌های توسعه‌یافتگی یک کشور هستند (Haghshenas & Vaziri, 2012). با توجه به روند رو به رشد جمعیت، توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل شهری با ظرفیت بالا و ارزان‌قیمت، امری ضروری است (Shah et al., 2021). اهمیت حوزه حمل‌ونقل همگانی و درون‌شهری به حدی است که امروزه الگوهای توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل همگانی به‌عنوان یکی از الگوهای توسعه

در این پژوهش نوآوری‌های مشروحه ذیل که نتایج مهمی را در زمینه بهینه‌سازی زمان توقف اتوبوس در ایستگاه‌ها و بهبود حمل و نقل عمومی دارند، ارائه شده است.

-بهینه‌سازی زمان توقف اتوبوس در ایستگاه: با استفاده از روش‌های تحلیلی و مدل‌سازی، زمان توقف بهینه برای اتوبوس‌ها در هر ایستگاه تعیین می‌شود.

-تعیین مکان و شیوه مناسب پرداخت کرایه در هر ایستگاه: با استفاده از روش‌های ترکیبی، مکان مناسب برای ایستگاه‌های اتوبوس تعیین می‌شود. همچنین، انتخاب شیوه پرداخت کرایه براساس شرایط مکانی و عملکرد بهینه، تعیین می‌گردد. این روش‌ها باعث افزایش دقت و سرعت در برآورد زمان توقف اتوبوس‌ها می‌شوند.

-ارائه راهبردهای مناسب برای بهبود دسترسی به اتوبوس و کاهش زمان دسترسی: با استفاده از روش‌های تحلیل سناریو، راهبردهای ارتقاء دسترسی به اتوبوس در ایستگاه‌ها با هدف کاهش زمان توقف اتوبوس‌ها در ایستگاه و بهبود حمل‌ونقل عمومی ارائه می‌شود.

-تعیین گزینه‌های استوار در هر سناریو به‌عنوان گزینه‌های قابل اقدام در راهبردهای پیشنهادی: گزینه‌های استوار که در هر سناریو به عنوان گزینه‌های قابل اقدام در نظر گرفته می‌شوند، در راهبرد پیشنهادی نهایی تعیین گردند. این گزینه‌ها می‌توانند شامل تغییرات ساختاری در سیستم حمل‌ونقل، بهبود سیستم پرداخت کرایه، افزایش و یا کاهش تعداد و فراوانی ایستگاه‌ها و استفاده بهینه از فناوری‌های نوین و نظایر آن‌ها باشند.

۲-پیشینه تحقیق

کرافت و برگن (۱۹۷۴) پیش‌نیازهای مسافران اتوبوس در زمان اوج ترافیک در زمان‌های مختلف شبانه‌روز را مورد مطالعه قرار دادند. بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که زمان سوارشدن بیش از زمان پیاده شدن بوده و زمان پیاده شدن در تمام درب‌ها مشابه است (Kraft & Bergen, 1974). کرافت (۱۹۷۵) عوامل مؤثر بر زمان توقف اتوبوس در ایستگاه‌ها را شناسایی کرد. نتایج مطالعات او نشان داد که کیفیت ایستگاه اتوبوس می‌تواند زمان توقف اتوبوس را تحت تأثیر قرار دهد (Kraft, 1975). لوینسون (۱۹۸۳) عملکرد حمل‌ونقل را مورد مطالعه قرار داده و زمان‌های توقف و پیاده یا سوارشدن مسافر در اتوبوس را تعیین کرد (Levinson, 1983). مطالعه گنوتنر و سینها (۱۹۸۳)

اطمینان بالا، موجب کاهش هزینه‌ها، توسعه اقتصادی، افزایش نرخ اشتغال و افزایش کیفیت زندگی شهری می‌شود (Forward, 2019). بنابراین، برنامه‌ریزی راهبردی و عملیاتی برای بخش‌های مختلف حمل‌ونقل عمومی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. یکی از مهم‌ترین ارکان سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی داخل شهری، شبکه اتوبوس‌رانی است. با توجه به انعطاف‌پذیری و هزینه پایین شبکه اتوبوس‌رانی درون‌شهری، کارآمدساختن این شبکه در شهرها، بسیار ضروری است. عوامل متعددی مانند زمان توقف اتوبوس در ایستگاه، شرایط آب‌وهوایی، تراکم جمعیت، ترافیک، برنامه ورود اتوبوس به ایستگاه‌ها و تعداد مسافری در طول مسیر، بر قابلیت اطمینان یک شبکه حمل‌ونقل اتوبوس‌رانی تأثیرگذار است (Suryani et al., 2019).

مطالعات متعددی در زمینه بهینه‌سازی شبکه حمل‌ونقل عمومی با اهدافی نظیر کاهش هزینه‌ها و زمان و افزایش رضایت مشتریان (Tavakkolimoghaddam et al., 2022)، مدیریت تقاضای سفر به‌منظور کاهش آلودگی هوا (Bagheri et al., 2023)، خودکارسازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی (Arora & Patel, 2022) و سایر حوزه‌های مرتبط با شبکه اتوبوس‌رانی به ویژه داخل شهری، انجام شده است. با این حال، در پژوهش‌های پیشین، هیچ برنامه جامع یا راهبردی در سیستم اتوبوس‌رانی شهری که متضمن مواردی چون تعیین مکان مناسب ایستگاه‌ها، راهکارها برای افزایش سرعت حرکت اتوبوس‌ها، افزایش دسترسی عمومی به اتوبوس و تعیین شیوه مناسب پرداخت کرایه، انجام نشده است. پژوهش جاری با طراحی و ارزیابی سناریوهای مختلف در زمینه مجموع مدت زمان توقف اتوبوس در کل مسیر و باهدف بهبود هم‌زمان سه مولفه دسترسی، زمان توقف و کاهش ترافیک در مسیرهای ویژه اتوبوس ارائه شده است. بدین منظور، ابتدا عوامل تأثیرگذار در این فرآیند شناسایی می‌شوند. در ادامه، با استفاده از مدل‌های رگرسیون، سناریوهای احتمالی و راهبرد کارآمد برای بهبود حمل‌ونقل اتوبوس ارائه می‌شود. روش بهینه‌سازی زمان توقف اتوبوس در ایستگاه، بررسی عوامل کلیدی و سناریوهای طراحی شده بر مبنای آن‌ها است که متمرکز بر شناخت عوامل مؤثر بر زمان‌بندی توقف در ایستگاه‌ها می‌باشد. با تحلیل سناریوهای مختلف، یک برنامه زمان‌بندی بهینه و مؤثر انتخاب می‌گردد. این روش قادر است بهبود قابل توجهی در عملکرد شبکه حمل‌ونقل عمومی به کمک بهبود عملکرد ایستگاه‌های اتوبوس داشته باشد.

راینسون (۲۰۱۳) یک متغیر جدید به نام "زمان ازدست‌رفته توقف سرویس" را معرفی کرد. این متغیر، مدت زمانی است که اگر اتوبوس در یک ایستگاه توقف نداشته باشد، ذخیره می‌شود. با تعریف این متغیر، تحلیل کاهش زمان ازدست‌رفته برای ارائه سرویس در ایستگاه و تسریع در خروج آن، تسهیل می‌شود (Robinson, 2013). خو (۲۰۱۳) در پژوهشی، بهترین توزیع آماری تغییرات زمان توقف اتوبوس در ایستگاه و مدل‌های رگرسیون ارزیابی کننده میزان تأثیر عوامل انتخاب‌شده را ارائه داد (Khoo, 2013).

ژئوریک و همکاران (۲۰۱۴) یک نسخه ساده‌شده از مسئله تخلیه اتوبوس را ارائه دادند که هدف آن به حداقل رساندن زمان ترخیص شبکه به کمک مجموعه‌ای از سناریوهای محتمل بود (Goerigk & Grün, 2014). استار و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش خود متوجه شدند سناریوها آینده‌گرا بوده و به‌طور قابل قبولی امکان‌پذیر بوده و تحت تأثیر زمینه‌های خارجی مانند رویدادها و روندها هستند (Star et al., 2016). پیلان هه و همکاران (۲۰۲۰) مسئله پیش‌بینی زمان سفر اتوبوس برای مسافران را موردبررسی قرار دادند که هم‌زمان تردد اتوبوس و زمان انتظار در نقاط انتقال را در نظر می‌گیرد (He et al., 2020). ژو و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از یک مدل خودکار سلولی بهبودیافته و پارامترهای دینامیکی، ویژگی‌های رفتار فردی در سوار و پیاده شدن مسافران اتوبوس را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که عرض درب اتوبوس ارتباط مستقیمی با راندمان پیاده شدن مسافران دارد. در نتیجه با تنظیم عرض درب، می‌توان زمان توقف اتوبوس را کاهش داد (Xue et al., 2022). یافته‌های کین و همکاران (۲۰۲۳) شواهد جدیدی را در مورد ادراک ویژگی‌های مکانی و زمانی سفر ارائه کرد. مطالعات آن‌ها یک رویکرد «روانشناسی شهری» را برای بهبود رفاه ذهنی مسافران در طول سفر با اتوبوس ارائه می‌کند (Qin et al., 2023). ویدیا و همکاران (۲۰۲۳) طراحی و اجرای یک مدل پیش‌بینی ترافیک مسافر را بر اساس رگرسیون فرآیند گاوسی انجام دادند. در این مطالعه مشاهده شد که روش رگرسیون پیشنهادی از روش‌های موجود از جمله فرآیندهای Student-t و رگرسیون کرنل ریج بهتر عمل می‌کند (GS & VS, 2023).

هوئی جین و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش خود راهکارهایی را به منظور بهبود طراحی ایستگاه اتوبوس و تعیین مسیر در

منجر به برآورد زمان مجاز برای سوار یا پیاده شدن هر مسافر در اتوبوس شد (Guenther & Sinha, 1983).

آدامسکی (۱۹۹۲) در مطالعه‌ای به بررسی جزئیات عوامل غیر قطعی اصلی که بر زمان توقف اتوبوس در ایستگاه تأثیر می‌گذارند، پرداخت. به این منظور، حالات تصادفی واقع‌گرایانه مختلف برای تعیین عوامل اصلی فرآیندهای موازی و سری خدمات مسافران در ایستگاه‌های اتوبوس انتخاب شدند. نتایج جدیدی برای توابع چگالی و گشتاورهای متغیر تصادفی زمان توقف به دست آمده و روی مسیرهای واقعی آزمایش شدند (Adamski, 1992). لوائین و همکاران (۱۹۹۴) تجزیه و تحلیل توصیفی داده‌ها و مدل‌سازی رگرسیون چندگانه را برای تخمین صرفه‌جویی در زمان توقف اتوبوس‌های یک طبقه بر اساس نوع مسافر و شیوه پرداخت کرایه به کار گرفتند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که طراحی اتوبوس‌های یک طبقه با در نظر گرفتن نوع مسافر و نحوه پرداخت ممکن است زمان پیاده و سوارشدن مسافران را بین ۱۳ تا ۱۵ درصد کاهش دهد (Levine & Torng, 1994).

وونگ (۱۹۹۸)، یک مدل شبیه‌سازی را برای تخمین تأخیر زمان توقف اتوبوس در تقاطع‌ها توسعه داد. پژوهش وی منجر به ارائه یک رابطه ریاضی تأخیر جدید برای طراحی ایستگاه اتوبوس در تقاطع‌ها شد (Wong et al., 1998). چین و کین (۲۰۰۷) یک مدل ریاضی را برای بهبود دسترسی به یک سرویس اتوبوس توسعه دادند. در مدل ارائه‌شده آن‌ها، بخشی از مسیر اتوبوس که در آن تعدادی از نقاط ورودی تقاضا به‌صورت واقع‌بینانه توزیع می‌شوند، تحلیل شد (Chien & Qin, 2007). میلکوویتس و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی با استفاده از داده‌های حاصل از شمارش خودکار مسافران و سیستم‌های مکان‌یابی در اتوبوس، روش‌های پردازش را توسعه داده و یک مدل زمان توقف اتوبوس را تخمین زدند. نتایج پژوهش نشان داد که شیوه پرداخت کارتی بسیار سریع‌تر از پرداخت نقدی می‌باشد (Milkovits, 2008). تیراچینی (۲۰۱۳) یک مدل برای تخمین زمان‌های رسیدن اتوبوس به ایستگاه‌ها به کمک اطلاعات سیستم موقعیت‌یاب جهانی را ارائه کرد (Tirachini, 2013).

چن و همکاران (۲۰۱۳) رفتار مسافران در ایستگاه اتوبوس‌ها را مورد مطالعه قرار داده و نشان دادند که صرف‌نظر از عامل ظرفیت، مدت‌زمان توقف به‌طور خطی با حرکت مسافران به سمت درب‌ها مرتبط است (Chen et al., 2013).

جدول ۱. جمع‌بندی پیشینه موضوع پژوهش

سال	نویسنده / نویسندگان	ایستگاه اتوبوس	زمان‌بندی ایستگاه	شاخص‌های ارزیابی	روش تحلیل/مدل			زمان‌بندی ایستگاه اتوبوس
					رگرسیون	سناریو	بهینه‌سازی	
1974	Kraft, Bergen,	*	*					
1975	Kraft	*	*					
1983	Levinson	*	*					
1983	Guenther	*	*					
1992	Adamski	*	*	*				
1994	Levine	*	*	*	*			
1998	Wong	*	*	*				
2007	Chien, Qin	*	*	*	*			
2010	Milkovits	*	*	*	*			
2013	Tirachini	*	*	*				
2013	Chen	*	*	*				
2013	Robinson	*	*	*	*			
2013	Khoo	*	*	*	*			
2014	Marc Georigk	*	*	*	*			
2016	Star	*	*	*	*			
2020	He, Peilan	*	*	*				
2022	Xue	*	*	*				
2023	Qin	*	*	*				
2023	Vidya	*	*	*	*			
2023	Hui jin	*	*	*	*			
2024	مطالعه جاری	*	*	*	*	*	*	*

تقاطع‌ها برای ارتقای کارایی و کاهش تضادهای ترافیک مختلط، ارائه کردند (Jin et al., 2022).

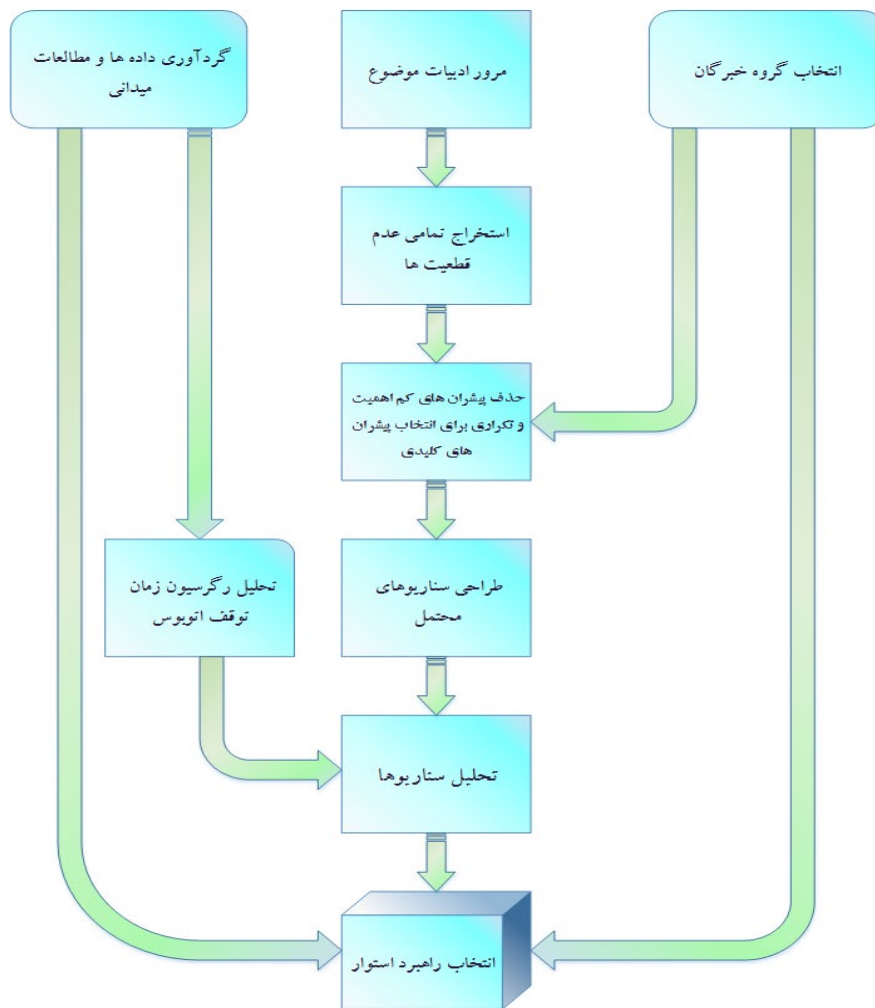
جمع‌بندی پیشینه موضوع پژوهش به شرح جدول ۱ است. بررسی‌های صورت گرفته روی پیشینه ادبیات موضوع پژوهش، نشان می‌دهد که تاکنون ترکیب روش‌های رگرسیون و سناریوها برای بهینه‌سازی زمان توقف اتوبوس در ایستگاه و همچنین ارائه راهبرد استوار که شامل گزینه‌های قابل اجرا در همه سناریوها باشد، صورت نگرفته است.

۳- روش تحقیق

پژوهش جاری رویکردی برای بهینه‌سازی زمان توقف اتوبوس‌های خط ویژه با استفاده از ترکیب روش رگرسیون و سناریوهای اکتشافی ارائه می‌دهد. به این منظور، سناریوها روش پیش‌بینی عدم قطعیت ساخته شده و جزئیات آن‌ها با استفاده از روش رگرسیون بررسی می‌شود. نوآوری این رویکرد بررسی آینده‌های محتمل از برخورد حالت‌های مختلف پیشران‌های کلیدی که مهم‌ترین عدم قطعیت‌های غربال شده هستند در جهت افزایش قابلیت اجرایی و افزایش احتمال موفقیت آن‌ها است.

۳-۱- مراحل انجام پژوهش

مراحل کلی انجام پژوهش جاری به شرح شکل ۱ است.



شکل ۱. مراحل انجام پژوهش

۳-۲- گام‌های رویکرد پیشنهادی پژوهش

گام‌های رویکرد پیشنهادی پژوهش به شرح ذیل است.

گام اول) انتخاب تیم خبرگان.

گام دوم) شناسایی عدم قطعیت‌ها از مطالعه پژوهش‌های پیشین و تحلیل داده‌ها و جمع‌بندی آن‌ها به‌عنوان پیشران‌های کلیدی.

گام سوم) حذف پیشران‌های کم‌اهمیت با احتمال بسیار پایین و مشابه با توجه به دو عامل "شباهت" و "احتمال وقوع".

گام چهارم) بررسی پیشران‌های باقی‌مانده به کمک ماتریس اهمیت-عملکرد توسط خبرگان و انتخاب دو پیشران کلیدی با عدم قطعیت و میزان تأثیرگذاری بالاتر.

گام پنجم) طراحی سناریوهای محتمل که از برخورد حالت‌های مختلف پیشران‌های اصلی حاصل می‌شوند.

گام ششم) بررسی سناریوها به کمک روش رگرسیون برای پیش‌بینی زمان توقف اتوبوس‌ها.

گام هفتم) پیشنهاد راهبردهای مناسب برای بهبود زمان توقف اتوبوس در ایستگاه‌ها.

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از منابع اولیه شامل پایگاه‌های اطلاعاتی و پژوهش‌های معتبر و منابع ثانویه طریق مشاهدات میدانی اتوبوس‌های خط ویژه شهر مورد مطالعه، گردآوری می‌شود. مشاهده‌ها شامل مدت زمان توقف اتوبوس در مکان‌های مختلف و عواملی است که بر زمان توقف تأثیر می‌گذارند. این عوامل شامل طول ایستگاه اتوبوس، مدت زمان باز و بسته شدن درب‌ها و سایر موارد خواهد بود.

۳-۳- مدل‌سازی پژوهش

رویکرد مورد استفاده در پژوهش جاری ترکیبی از دو روش کیفی و کمی است. متغیرهای مستقل از منابع معتبر علمی استخراج می‌شوند و تحلیل داده‌ها از طریق تحلیل رگرسیون انجام می‌شود. تحلیل رگرسیون، یک روش آماری است که برای تعیین

$$D_i = \sum_{i=1}^4 D_i \quad (1)$$

$$TD_T = D_1 b_1 + P_b b_2 + P_a b_3 + H_t b_4 + L b_5 + \varepsilon \quad (2)$$

$$TD_T = D_1 b_1 + P_b b_2 + P_a b_3 + C_t b_4 + L b_5 + \varepsilon \quad (3)$$

برای مدل‌سازی رگرسیون TD_T در سه دوره زمانی صبح، ظهر و شب، از روش رگرسیون چند متغیره استاندارد استفاده شده است. ضرایب رگرسیون مدل‌ها در سطح معنی‌داری ۵٪ مورد آزمایش قرار گرفت. برای اعتبارسنجی مدل، شاخص‌های آماری و آزمون‌های R^2 و F -test مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، هر یک از شاخص‌های آماری کلی مدل رگرسیون با استفاده از آزمون آماری F (ANOVA) در سطح معنی‌داری ۵٪ برای هر نوع ایستگاه اتوبوس مورد آزمایش قرار گرفت.

۴- حل عددی مدل

به‌منظور اعتبارسنجی رویکرد پیشنهادی پژوهش جاری با هدف بررسی مدل‌های توسعه داده‌شده و سناریوها، مطالعه موردی در یکی از مسیرهای خط ویژه اتوبوس شهرستان ارومیه با ۲۲ ایستگاه انجام شد که ۱۳ ایستگاه در تقاطع‌ها و ۹ مورد بین تقاطع‌ها قرار دارند. دلیل انتخاب این مسیر، ارتباط خیابان‌های اصلی، وجود مراکز پزشکی، آموزشی، ورزشی و تفریحی، شعب مرکزی چند بانک معتبر، امور مالیاتی، شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی، هتل، اداره پست، استانداری، دادگستری و نزدیکی به مراکز مهم خرید شهر بود. این مسیر در شکل ۲ نشان داده شده است.

رابطه بین دو یا چند متغیر استفاده می‌شود. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار اس پی اس انجام می‌شود. به‌منظور روایی و پایایی یافته‌های پژوهش، مشاهدات میدانی در زمان‌ها و مکان‌های مختلف انجام شده است تا از معرف بودن نمونه اطمینان حاصل شود.

برگه‌های جمع‌آوری اطلاعات میدانی شامل نام ایستگاه، تاریخ، زمان شروع و پایان جمع‌آوری داده‌ها و همچنین ۹ متغیر مشروحه ذیل است که عوامل تأثیرگذار در رگرسیون هستند.

D_1 زمانی ورود اتوبوس به ایستگاه.

D_2 زمان دور شدن اتوبوس از ایستگاه پس از بسته شدن درب‌ها.

D_3 زمان باز شدن درب‌ها.

D_4 زمان بسته شدن درب‌ها.

TD_T کل زمان توقف اتوبوس در ایستگاه.

L طول ایستگاه اتوبوس.

P_b تعداد مسافران در حال سوارشدن.

P_a تعداد مسافران در حال پیاده شدن.

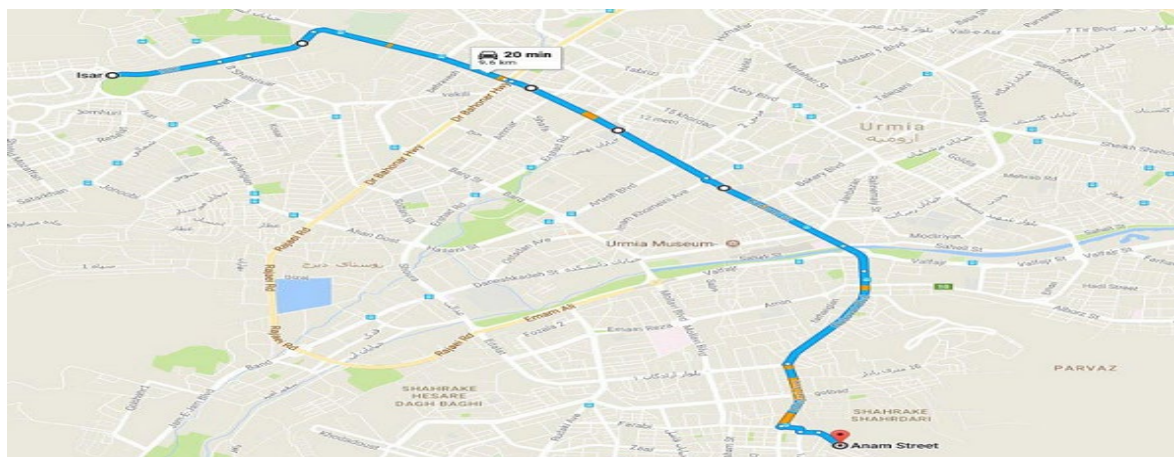
H_t میانگین زمان پرداخت نقدی.

C_t میانگین زمان پرداخت باکارت.

b_i ضرایب معادله رگرسیون

ε درصد خطا

فرم کلی مدل رگرسیون بر اساس متغیرهای طرح‌شده و با توجه به در نظر گرفتن دو شیوه پرداخت کرایه به شرح روابط ۱ تا ۳ هستند (Tranmer & Elliot, 2008).



شکل ۲. مسیر مشخص شده خط ویژه شهر ارومیه

گام سوم) حذف پیشران‌های کم‌اهمیت

با در نظر گرفتن دو عامل "شباهت" و "احتمال وقوع"، پیشران‌های مشابه یا کم‌اهمیت حذف شدند. به‌عنوان مثال، تأثیر پیشران "آب‌وهوا" روی زمان توقف اتوبوس در ایستگاه‌ها بسیار پایین بود و به‌عنوان عدم قطعیتی با اهمیت پایین تلقی شده و حذف شد. همچنین به دلیل تشابه تأثیر دو عدم قطعیت "تراکم جمعیت در داخل اتوبوس" و "فضای داخل اتوبوس" و نیز عدم قطعیت‌های "اندازه طول ایستگاه" و "میزان ظرفیت ایستگاه برای مسافران"، یکی از آن‌ها حذف شد.

گام چهارم) بررسی پیشران‌های باقی‌مانده و انتخاب دو پیشران کلیدی

به کمک ماتریس اهمیت-عملکرد، میزان تأثیرگذاری هر پیشران و اهمیت آن توسط خبرگان مشخص شد. در این مرحله اهمیت بالای یک پیشران و میزان قدرت آن در تأثیرگذاری روی پیشران‌های دیگر می‌تواند دلیلی بر انتخاب آن به‌عنوان پیشران کلیدی باشد. پیشران‌های با احتمال وقوع بالاتر و میزان تأثیرگذاری بیش‌تر که وزن بیشتری دارند، به‌عنوان پیشران‌های کلیدی پژوهش در جهت ایجاد سناریوها انتخاب می‌شوند. بعد از بررسی نتایج داده‌های حاصل از بررسی‌های خبرگان، در نهایت دو پیشران "شیوه پرداخت کرایه" و "مکان ایستگاه اتوبوس"، به‌عنوان پیشران‌های کلیدی انتخاب شدند.

گام پنجم) تشریح سناریوهای محتمل و اکتشافی

نکته مهم در بررسی سناریوها، پیش‌بینی متوسط زمان توقف در هر ایستگاه با توجه به دو پیشران کلیدی مکان ایستگاه (در تقاطع بودن یا نبودن ایستگاه) و "شیوه پرداخت کرایه (نقدی یا کارت‌تی) بود. این کار توسط تحلیل رگرسیونی انجام شد. داده‌ها از ۲۲ ایستگاه مختلف مسیر خط ویژه در روزهای مختلف و در سه دوره صبح (۷ تا ۱۰)، ظهر (۱۲ تا ۱۴/۳۰) و عصر (۱۶ تا ۱۸) گردآوری شدند. جمعاً ۶۲ نمونه در شرایط آب‌وهوایی مناسب گرفته شد. با توجه به این‌که طول ایستگاه اتوبوس در تمام ایستگاه‌ها ثابت و ۹ متر بود، این متغیر حذف شده و مدل توسعه‌یافته رگرسیون به شکل رابطه ۴ تغییر یافته و ساده‌تر شد.

$$TD_T = D_t b_1 + P_b b_2 + P_a b_3 + H_t b_4 + \epsilon \quad (4)$$

با توجه به این‌که اکثر مکان‌های حساس و مهم شهر در مسیر خط ویژه واقع شده‌اند، حل عددی مدل و تحلیل آن با حساسیت زیادی همراه است. سناریوهای مختلف می‌توانند پیشنهادهایی را برای بررسی راهبردهای مناسب در جهت تغییر یا تثبیت شیوه پرداخت، تغییر یا عدم تغییر مکان ایستگاه‌ها و جابجایی یا تثبیت ساعات تردد اتوبوس ارائه دهند. به منظور سهولت بررسی و بحث روی یافته‌های پژوهش، مراحل مورد کاوی دقیقاً مطابق با گام‌های رویکرد پیشنهادی پژوهش جاری انتخاب شده است.

گام اول) تعیین تیم خبرگان

تعداد ۵ نفر از مدیران و اساتید دانشگاه که دارای بیشترین تجربه و مهارت در زمینه حمل‌ونقل بخش عمومی و مکان‌یابی بوده و تمایل به همکاری داشتند، به شرح جدول ۲ به عنوان تیم خبرگان انتخاب شدند.

جدول ۲. مشخصات خبرگان

تخصص	محل کار	میزان تحصیلات	میزان تجربه (سال)
لجستیک و حمل‌ونقل	دانشگاه	دکتری	۳۰
طراحی و توسعه شبکه‌های حمل‌ونقل	اداره راه و شهرسازی	دکتری	۲۴
مدیریت ترافیک	شهرداری	دکتری	۲۸
حمل‌ونقل و شهر هوشمند	دانشگاه	دکتری	۲۲
راهبرد صنعتی	دانشگاه	دکتری	۱۹

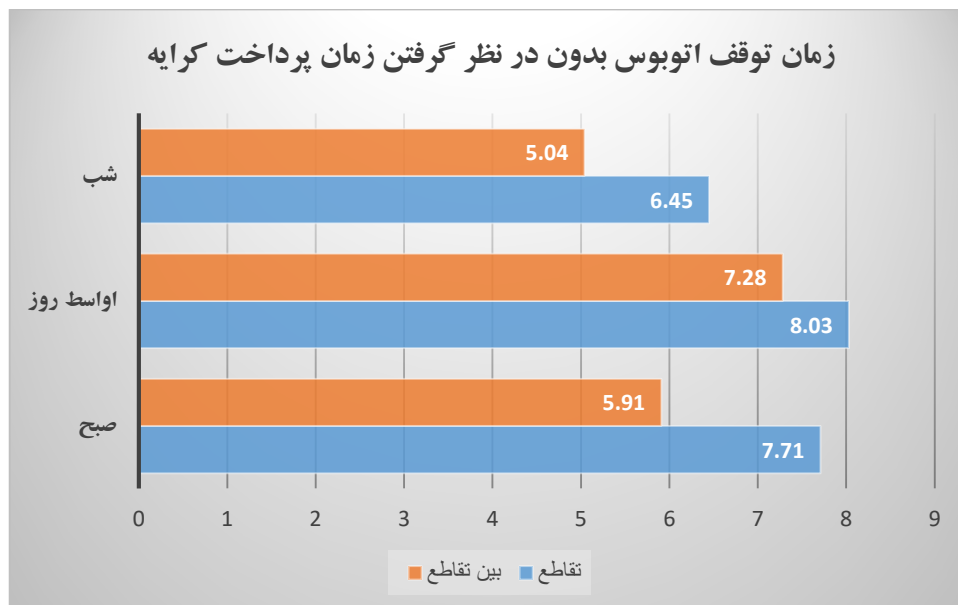
گام دوم) تعیین عدم قطعیت‌ها

با مطالعه پژوهش‌های پیشین و با استفاده از روش‌هایی چون تحلیل فرایند و تحلیل مکانی، متغیرها و عدم قطعیت‌های اولیه تعیین شدند. با توجه به شرایط اختصاصی مطالعه موردی، متغیرهای جدید مورد نیاز به آن‌ها اضافه شده و ۱۴ متغیر و عدم قطعیت شناسایی شد. این عدم قطعیت‌ها شامل: تعداد و جنسیت مسافران، تراکم جمعیت داخل اتوبوس، شیوه پرداخت کرایه، تعداد درب‌ها و فضای داخل اتوبوس، آب‌وهوا، ساعت تردد، مکان ایستگاه، طول ایستگاه، ظرفیت ایستگاه برای مسافران، روزهای تعطیل و کاری، سطح آموزش راننده و ترافیک اطراف ایستگاه اتوبوس بود.

جدول ۳. میانگین زمان توقف اتوبوس بدون در نظر گرفتن زمان

پرداخت کرایه در تقاطع و بین تقاطع‌ها				
دوره زمانی	زمان توقف (D_T)	تعداد مسافران پیاده شده (P_a)	تعداد مسافران سوار شده (P_b)	کل زمان توقف (TD_T)
صبح	۳/۸۹	۲/۸۶	۲/۷۱	۶/۴۵
ظهر	۴/۸۱	۳/۳۳	۳/۱۷	۸/۰۳
عصر	۴/۵۶	۲/۲۵	۱/۸۶	۷/۷۱
صبح	۳/۸۰	۱/۴۴	۱/۳۶	۵/۰۴
ظهر	۴/۴۸	۲/۱۱	۲/۰۲	۷/۲۸
عصر	۴/۴۲	۱/۵۵	۱/۱۱	۵/۹۱

آمار توصیفی داده‌ها برای تعیین میانه، میانگین، انحراف استاندارد و سایر معیارهای گرایش به مرکز و پراکندگی، برای انواع توقف‌های اتوبوس و سه دوره زمانی انجام شد تا نتایج به دست آمده از دقت بالاتری برخوردار باشند. آمار توصیفی بر اساس نوع ایستگاه اتوبوس و مدت زمان، با اطمینان ۹۵٪ انجام شده است. جدول ۳ میانگین مقادیر متغیرها در هر ایستگاه اتوبوس با توجه به زمان روز جمع‌آوری شده است. با توجه به زمان‌های به دست آمده مشخص می‌شود که طولانی‌ترین زمان توقف بدون احتساب زمان پرداخت کرایه مربوط به ظهر با ۴/۸۱ ثانیه در محل تقاطع می‌باشد. میانگین مقادیر TD_T بازمان روز بر مبنای محل ایستگاه اتوبوس در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. مقایسه زمان توقف اتوبوس بدون در نظر گرفتن زمان پرداخت کرایه

ایستگاه‌ها توسعه داده شدند. اهمیت و کفایت مدل‌ها در فاصله اطمینان ۹۵٪ مورد آزمایش قرار گرفت که خلاصه‌ای از نتایج تحلیل رگرسیون در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که مدل‌های TD_T کافی بوده و می‌توانند درصد نسبتاً بالای تغییرات داده‌ها را با توجه به مقادیر R^2 بین ۷۰ تا ۹۲ درصد محاسبه کند.

شکل ۳ نشان می‌دهد که میانگین TD_T در ایستگاه اتوبوس بین تقاطع پایین‌تر از ایستگاه اتوبوس در تقاطع‌ها در دوره‌های مختلف روز است. این امر به دلیل دسترسی بیشتر مسافران به اتوبوس و سرویس‌دهی بالا است. همچنین حداکثر میانگین TD_T را می‌توان برای هر دو مکان ایستگاه اتوبوس در اواسط روز مشاهده کرد.

مدل‌های رگرسیون TD_T بر اساس زمان روز و مکان ایستگاه اتوبوس با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده برای ایستگاه‌های اتوبوس منتخب تعیین شدند. مدل‌ها با زمان‌های مختلف و مکان

جدول ۴. مدل رگرسیون TDT برای دوره‌های زمانی

مکان	شیوه پرداخت	مدل رگرسیون	ANOVA		R ²
			F-value	sig	
ایستگاه اتوبوس	کارتی	$TDT_{Ct} = 4.78P_a + 4.3P_b + 0.547D_t + 0.86C_t - 10.23$	0.00	136.30	0.92
	نقدی	$TDT_{Ht} = 10.64P_a + 9.24P_b + 2.009D_t + 0.537H_t - 31.072$	0.01	29.7	0.70
تقاطع‌ها	کارتی	$TDT_{Ct} = 2.097D_t + 3.958P_b + 2.378P_a + 0.747C_t - 19.694$	0.00	50.89	0.81
	نقدی	$TDT_{Ht} = 5.755P_a + 3.323P_b + 0.711H_t + 2.18D_t - 23.119$	0.00	117.10	0.90

سناریو دوم: با توجه به این‌که ایستگاه اتوبوس در تقاطع‌ها قرار دارد، دسترسی مسافران بالاتر از حالت قبلی بوده ولی همچنان پرداخت نقدی باعث شده که سرعت سیستم کرایه دهی کاهش یابد. میانگین زمان پیش‌بینی‌شده برای توقف کامل اتوبوس‌ها معادل ۲۳/۸۹ ثانیه است که نسبت به حالت قبلی زمان بیشتری را شامل می‌شود. این حالت به نسبت حالت قبلی زمان توقف بالاتری را دارد اما زمان طولانی‌تر را می‌توان به دلیل دسترسی بهتر مسافران و تعداد بیشتر افرادی که در حال سوارشدن یا پیاده شدن از اتوبوس هستند، در نظر گرفت که نکته‌ای قابل تأمل در بررسی ایستگاه‌های اتوبوس را می‌طلبد.

سناریو سوم: با توجه به این‌که ایستگاه اتوبوس در بین تقاطع‌ها قرار دارد، دسترسی مسافران پایین‌تر از حالت قبلی بوده ولی پرداخت کارت‌های باعث شده که سرعت سیستم کرایه دهی بالا برود. میانگین زمان پیش‌بینی‌شده برای توقف کامل اتوبوس‌ها معادل ۱۲/۴۶ ثانیه است که نسبت به همه حالت‌های مورد بررسی کمترین زمان توقف را دارد. بر اساس زمان به‌دست‌آمده برای توقف کامل اتوبوس‌های خط ویژه در ایستگاه‌های قرارگرفته در بین تقاطع‌ها که کرایه آن‌ها به‌صورت کارت‌های پرداخت می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که این حالت به نسبت حالت‌های قبلی زمان توقف پایین‌تری را دارد اما زمان پایین‌تر را می‌توان به دلیل دسترسی پایین‌تر مسافران و تعداد کمتر افرادی که در حال سوارشدن یا پیاده شدن از اتوبوس هستند هم در نظر گرفت. این خود نیازمند مطالعات بیشتر برای بررسی بهتر مکان‌های مناسب ایستگاه‌های اتوبوس می‌باشد.

سناریو چهارم: ایستگاه اتوبوس در تقاطع‌ها قرار دارد دسترسی مسافران بالاتر از حالت قبلی بوده و پرداخت کارت‌های نیز باعث شده که سرعت سیستم کرایه‌دهی بالا برود. میانگین زمان پیش‌بینی‌شده برای توقف کامل اتوبوس‌ها معادل ۱۴/۶۷ ثانیه است که با توجه به سناریوی قبلی نسبتاً زمان بیشتری را شامل می‌شود ولی در مقایسه با دو حالت اول که پرداخت به‌صورت نقدی صورت می‌گرفت، زمان توقف کمتری دارد. با توجه به زمان به‌دست‌آمده برای توقف کامل اتوبوس‌های خط ویژه در ایستگاه‌های قرارگرفته در تقاطع‌ها که کرایه آن‌ها به‌صورت کارت‌های پرداخت می‌شود، می‌توان به این نتیجه رسید که نکته مثبت همچنان پایین بودن زمان توقف است ولی به دلیل دسترسی بالاتر مسافران و تعداد بیشتر افرادی که در حال سوارشدن یا پیاده شدن از اتوبوس هستند، این زمان توقف کوتاه

گام ششم) طراحی سناریوهای محتمل و بررسی آن‌ها به روش رگرسیون

بر اساس دو پیش‌بین کلیدی "شیوه پرداخت کرایه" و "مکان ایستگاه اتوبوس"، ۴ سناریو محتمل به شرح جدول ۵ ساخته شد.

جدول ۵. شرح سناریوها

شماره	شرح	ویژگی
۱	ایستگاه‌ها در بین تقاطع و پرداخت نقدی	دسترسی مسافران پایین و سرعت سیستم کرایه دهی پایین
۲	ایستگاه در تقاطع و پرداخت نقدی	دسترسی مسافران بالا و سرعت سیستم کرایه دهی پایین
۳	ایستگاه در بین تقاطع و پرداخت کارت‌های	دسترسی مسافران پایین و سرعت سیستم کرایه دهی بالا
۴	ایستگاه در تقاطع و پرداخت کارت‌های	دسترسی مسافران بالا و سرعت سیستم کرایه دهی بالا

در ادامه به کمک روش رگرسیون، سناریوها از لحاظ آماری موردبررسی قرار می‌گیرند.

سناریو اول: حالتی که در آن هم دسترسی مسافران به دلیل قرارگیری در بین تقاطع‌ها کمتر است و هم به دلیل پرداخت نقدی زمان طولانی‌تر را برای توقف نیاز دارد. میانگین زمان پیش‌بینی‌شده برای توقف کامل اتوبوس‌ها معادل ۲۰/۶۱ ثانیه است. یکی از حالت‌هایی است که در آن زمان بیشتری صرف توقف اتوبوس شده است. این سناریو یکی از کندترین حالت‌ها و با توجه به دسترسی پایین، شاید بدترین حالت ممکن باشد.

در دو سناریو سوم و چهارم، پرداخت کارتی بوده و بررسی در مکان ایستگاه خواهد بود. طبیعتاً زمان توقف اتوبوس به دلیل تراکم کمتر مسافران در بین تقاطع‌ها کمتر است. نکته مهم دسترسی راحت‌تر و بیشتر افراد در تقاطع‌ها است. پیشنهاد در این راهبرد، بررسی فاصله تقاطع‌ها در هر مسیر و میزان ترافیک ایجادشده توسط اتوبوس‌ها و مسافران در تقاطع‌ها است. پیشنهاد می‌شود: همه ایستگاه‌ها در تقاطع‌ها ایجاد شوند مگر در دو مورد مشروحه ذیل: الف) مسیریایی که تقاطع‌ها فاصله زیادی از هم دارند. ایستگاه‌هایی برای دسترسی بیشتر مسافران در بین تقاطع‌ها ایجاد شود. ب) وجود ترافیک بالا در تقاطع‌های اصلی و شلوغ شهر. از قرار دادن ایستگاه در تقاطع‌های پر ترافیک اجتناب شود.

گزینه‌های ارائه شده در پژوهش جاری به منظور انتخاب راهبرد استوار در جدول ۷ آمده است.

برخی از گزینه‌ها در قالب راهبرد نهایی در هر حالتی ملزم به اجرا شدن هستند. این گزینه‌ها در بهینه‌سازی زمان توقف اتوبوس و بالا بردن دسترسی مسافران تحت هر حالتی مؤثر واقع می‌شوند. گزینه‌هایی چون پرداخت کارتی، افزایش ظرفیت ایستگاه، افزایش ظرفیت تعداد اتوبوس در ساعات ازدحام، نگهداری و تعمیر مداوم درب‌های اتوبوس، آموزش دوره‌ای رانندگان اتوبوس، استانداردسازی طول ایستگاه، بالا بردن ظرفیت اتوبوس‌ها و تنظیم دقیق زمان توقف اتوبوس در ایستگاه، گزینه‌های استوار تلقی می‌شوند. این اقدامات به این دلیل استوار نامیده می‌شوند که باید در هر حالت و سناریویی اجرا شوند. بعضی از گزینه‌ها در برخی حالات قابل قبول و در بعضی حالات باید حذف شوند که گزینه‌های اقدام و حذف نامیده می‌شوند. گزینه‌هایی چون ایجاد همه ایستگاه‌ها در تقاطع‌ها، حذف ایستگاه‌های تقاطع، ایجاد ایستگاه‌های جدید بین تقاطع، حذف ایستگاه‌های بین تقاطع، حذف توقف در بعضی ایستگاه‌ها در زمان اوج ترافیک و حذف توقف در بعضی ایستگاه‌ها در زمان کاهش ترافیک، از این دست گزینه‌ها هستند. این اقدامات نیز با توجه به شرایط موجود در هر مسیر و در شهرهای مختلف، متفاوت هستند. به همین دلیل تحت سناریوهای مختلف، این گزینه‌ها قابل اقدام یا حذف هستند.

نسبت به حالت قبل که حتی زمان کمتری بود، ارزش بیشتری دارد. این خود نشان‌دهنده ترکیبی مناسب از مکان مناسب ایستگاه‌های اتوبوس و زمان توقف آن‌ها در ایستگاه می‌باشد. جمع‌بندی زمان توقف سناریو‌ها در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶. خلاصه مدل رگرسیون برای انواع پرداخت

و محل ایستگاه‌ها				
سناریو‌ها				
مکان ایستگاه	بین تقاطع	تقاطع	تقاطع	تقاطع
شیوه پرداخت	نقد	کارت	کارت	کارت
صبح	۲۱/۹	۲۵/۷	۱۵/۲	۱۷/۷
ظهر	۱۹/۶	۲۱/۹	۱۳/۰	۱۴/۴
شب	۲۰/۴	۲۴/۱	۹/۳	۱۱/۹
میانگین	۲۰/۶۱	۲۳/۸۹	۱۲/۴۶	۱۴/۶۷

گام هفتم) پیشنهاد راهبردهای مناسب برای بهبود زمان توقف

با توجه به سناریوهای مطرح‌شده و نتایج بررسی رگرسیون‌ها و به کمک مفهوم راهبرد استوار، راهبردهای مناسب در جهت بهبود و بهینه‌سازی زمان توقف اتوبوس‌ها و تنظیم مجدد مکان‌های ایستگاه‌های اتوبوس انجام می‌شود. در دو سناریو اول و دوم معایب بسیاری در نحوه قرارگیری ایستگاه و همچنین طولانی بودن زمان توقف اتوبوس وجود دارد. دلیل اصلی ضعف دو سناریو اول، شیوه پرداخت کرایه است. به همین دلیل، راهبرد نهایی به میزان بسیار بیشتری از دو سناریو سوم و چهارم حاصل خواهد شد. در شرایط کنونی و با توجه به پیشرفت فناوری، می‌توان تا حد امکان از پرداخت نقدی اجتناب کرد. به همین دلیل، مهم‌ترین رکن راهبرد پیشنهادی حذف هرگونه پرداخت نقدی و تبدیل آن به پرداخت سریع‌تر مانند پرداخت کارتی است. پرداخت کارتی زمان بسیار ناچیزی را در هنگام پیاده شدن مسافر به زمان کل توقف اتوبوس تحمیل می‌کند. حتی در صورت وجود زیرساخت مناسب، پرداخت کارتی قبل از ورود به ایستگاه، پیشنهاد می‌شود: زمان پرداخت کرایه در محاسبات زمان کل توقف اتوبوس از فرمول‌ها حذف شود.

جدول ۷. بررسی گزینه‌های استوار و غیر استوار برای تدوین راهبرد

گزینه استوار	ترافیک بالا در برخی از تقاطع‌ها	قطعه مسیرهای بین تقاطع بافاصله زیاد از هم	مسیر با ترافیک کم و فواصل نزدیک بین تقاطع‌ها	گزینه‌ها
✓	*	*	*	پرداخت کارتی (قبل و یا حین توقف اتوبوس)
✓	*	*	*	افزایش ظرفیت ایستگاه
✓	*	*	*	افزایش ظرفیت تعداد اتوبوس در ساعات شلوغی
×			*	ایجاد همه ایستگاه‌ها در تقاطع‌ها
×	*			حذف ایستگاه‌های تقاطع
✓	*	*	*	تعمیر و نگهداری مداوم درب‌های اتوبوس
✓	*	*	*	آموزش دوره‌ای راننده اتوبوس
×	*	*		ایجاد ایستگاه‌های جدید بین تقاطع
×			*	حذف ایستگاه‌های بین تقاطع
✓	*	*	*	استانداردسازی طول ایستگاه
✓	*	*	*	بالا بردن ظرفیت مسافر اتوبوس‌ها
✓	*	*	*	تنظیم دقیق زمان توقف هر اتوبوس در ایستگاه
×	*			حذف توقف در بعضی ایستگاه‌ها در زمان اوج ترافیک
×			*	حذف توقف در بعضی ایستگاه‌ها در زمان کاهش ترافیک

و سینها (Guenther & Sinha, 1983) و آدامسکی (Adamski, 1992) مطابقت داشت.

با توجه به دو پیشران کلیدی و حالت‌های ممکن، چهار سناریو ساخته شد. سناریوها تا حد زیادی مشابه مطالعات ژئوریک و گرون بود (Goerigk & Grün, 2014). نتایج نشان داد که بیش‌ترین زمان مربوط به شیوه پرداخت کارتی کمتر از پرداخت نقدی است. در نتیجه استفاده همه مسافران از کارت در صرفه‌جویی در زمان کمک به سزایی خواهد کرد. ضمناً زمان پرداخت کارتی به حدی کوتاه‌تر از پرداخت نقدی است که حتی تأثیر زمان توقف بیش‌تر اتوبوس در ایستگاه‌های تقاطع که مسافر بیشتری داشتند را پوشش می‌داد.

مهم‌ترین نتیجه به‌دست‌آمده از سناریوها، بررسی هم‌زمان دسترسی مناسب مسافران و زمان توقف کمتر اتوبوس‌ها است. طبق بررسی‌های به‌دست‌آمده باوجود این‌که در سناریو سوم زمان توقف کلی اتوبوس در ایستگاه کمتر از تمامی سناریوهای دیگر است، اما در این سناریو به دلیل قرارگیری ایستگاه در بین تقاطع، دسترسی مسافران کمتر است. به همین دلیل مسافران برای سوارشدن به اتوبوس و یا پیاده شدن و دسترسی به مقصد، مسافت بیشتری را طی می‌کنند. به همین دلیل سناریو چهارم با

در پژوهش جاری رویکردی سناریو محور با هدف بهینه‌سازی زمان توقف اتوبوس با بررسی هم‌زمان دسترسی به اتوبوس (محل ایستگاه) و زمان توقف در مسیرهای ویژه اتوبوس ارائه شده است. به‌منظور اعتبار سنجی، مطالعه موردی در یک مسیر خط ویژه اتوبوس با ۲۲ ایستگاه (۱۳ مورد در تقاطع‌ها و ۹ مورد بین تقاطع‌ها) در سه زمان صبح، ظهر و عصر انجام شد. با نظر خبرگان، دو پیشران "شیوه پرداخت کرایه" و "مکان قرارگیری ایستگاه اتوبوس" به‌عنوان پیشران‌های کلیدی انتخاب شد که پیشران‌های کلیدی مطالعات چین و کین بود (Chien & Qin, 2007). بیشترین استفاده از اتوبوس‌ها در ظهر و بیش‌ترین تعداد مسافران در تقاطع‌ها بوده و طولانی‌ترین زمان توقف بدون احتساب زمان پرداخت کرایه، مربوط به ظهر با ۴/۸۱ ثانیه و در محل تقاطع می‌باشد. در دوره‌های مختلف روز، میانگین توقف اتوبوس در ایستگاه‌های بین تقاطع، پایین‌تر از ایستگاه‌های تقاطع‌ها است. این امر هم به دلیل دسترسی بیشتر مسافران به اتوبوس و سرویس‌دهی بالا به مسافران بیشتر است. این نتایج با مطالعات لوینسون (Levinson, 1983)، گئونتتر

۵- نتیجه گیری

بررسی مدل‌های رگرسیونی مربوط به دو پیشران کلیدی "شیوه پرداخت کرایه" و "مکان ایستگاه اتوبوس" در چهار سناریوی تشکیل شده، نشان داد که بیش‌ترین زمان مربوط به شیوه پرداخت کارتی کمتر از پرداخت نقدی است. در نتیجه، استفاده همه مسافران از کارت در صرفه‌جویی در زمان کمک به سزایی خواهد کرد. ضمناً زمان پرداخت کارتی به حدی کوتاه‌تر از پرداخت نقدی است که حتی تأثیر زمان توقف بیش‌تر اتوبوس در ایستگاه‌های تقاطع برای سرویس‌دهی به مسافران بیش‌تر را پوشش می‌دهد. گزینه‌های پرداخت کارتی، افزایش ظرفیت ایستگاه، افزایش ظرفیت تعداد اتوبوس در ساعات ازدحام، نگهداری و تعمیر مداوم درب‌های اتوبوس، آموزش دوره‌ای رانندگان اتوبوس، استانداردسازی طول ایستگاه، بالا بردن ظرفیت اتوبوس‌ها و تنظیم دقیق زمان توقف اتوبوس در ایستگاه، گزینه‌های استوار هستند. در صورتی که عامل ترافیک در یک شهر قابل توجه باشد، قرارگیری همه ایستگاه‌ها در تقاطع‌ها موجب افزایش ترافیک شده و آن را پیچیده‌تر می‌کند. پیشنهاد می‌شود برای این شهرها، مطالعه‌ای با سه عامل زمان توقف کمتر، دسترسی بالاتر و ترافیک کمتر انجام شود. همچنین با توجه به چند هدفه بودن مساله، پیشنهاد می‌گردد با جمع‌آوری داده‌های کمی تعداد مسافران و میزان ترافیک در هر ایستگاه و ساخت مدل ریاضی چند هدفه، به نتایج دقیق‌تری دست یافت. ضمناً می‌توان از لایه‌های GIS برای مکان‌یابی ایستگاه‌ها استفاده کرد.

این‌که زمان توقف نسبتاً بالاتری را به سناریو سوم دارد، اما به دلیل دسترسی بیش‌تر مسافران، ارجح‌تر است. با در نظر گرفتن دو پیشران، ابتدا باید به افزایش فراگیری پرداخت. در اولویت بعدی، با در نظر گرفتن ساختار و ابعاد خیابان‌ها و فضای قابل‌دسترس، ایستگاه‌ها از بین تقاطع‌ها به محل تقاطع‌ها انتقال یابند. از طرفی با کمتر شدن ایستگاه‌های بین تقاطع‌ها، مجموع توقف‌های اتوبوس خطوط ویژه در طول کل مسیر کاهش می‌یابد. در نهایت با کمک گرفتن از جدول ۹ می‌توان راهبرد پایه را با در نظر گرفتن گزینه‌های استوار طراحی کرد. گزینه‌های قابل بررسی تحت هر سناریویی، گزینه‌های استوار هستند. این گزینه‌ها در راهبرد پیشنهادی نهایی تحت هر سناریویی مورد اقدام قرار می‌گیرند. این یعنی در تمامی حالت‌های رخ داده در آینده پیش رو می‌توان همه گزینه‌های استوار را بدون ریسک انجام داد. در ادامه این جدول، گزینه‌های اقدام و حذف نیز معرفی شدند. این گزینه‌ها کمک می‌کنند تا در صورت وقوع هر یک از حالات در آینده، گزینه‌های غیراستواری را در بعضی سناریوها اجرا یا در برخی دیگر حذف شود. این مطالعه به عواملی مانند: کیفیت اتوبوس (Kraft, 1975)، رفتار مسافران (Chen et al., 2013)، ابعاد اتوبوس از جمله عرض درب اتوبوس (Xue et al., 2022) و بهبود رفاه ذهنی مسافران در طول سفر با اتوبوس (Qin et al., 2023) نپرداخته است.

۶- مراجع

- Nonlinear Analysis and Applications.*
- Chen, S., Zhou, R., Zhou, Y., & Mao, B. (2013). Computation on bus delay at stops in Beijing through statistical analysis. *Mathematical Problems in Engineering*.
- Chien, S. I., & Qin, Z. (2007). Optimization of bus stop locations for improving transit accessibility. 27(3), 211–227. doi.org/10.1080/0308106042000226899
- Forward, S. E. (2019). Views on public transport and how personal experiences can contribute to a more positive attitude and behavioural change. *Social Sciences*, 8(2), 47.
- Goerigk, M., & Grün, B. (2014). A robust bus evacuation model with delayed scenario information. *OR Spectrum*, 36(4), 923–948. doi.org/10.1007/S00291-014-0365-8/FIGURES/5
- GS, V., & VS, H. (2023). Prediction of bus passenger traffic using Gaussian process
- Adamski, A. (1992). Probabilistic models of passengers service processes at bus stops. *Transportation Research Part B: Methodological*, 26(4), 253–259. doi.org/10.1016/0191-2615(92)90036-V
- An, S., Yang, H., Wang, J., Cui, N., & Cui, J. (2016). Mining urban recurrent congestion evolution patterns from GPS-equipped vehicle mobility data. *Information Sciences*, 373, 515–526.
- Arora, Y., & Patel, H. (2022). A Study on Alternative Strategies for Public Transportation in Dehradun City. In *Sustainable Infrastructure Development: Select Proceedings of ICSIDIA 2020*, Spring, 231–242.
- Bagheri, M., Ghafourian, H., Kashefioasl, M., Sadatipour, M. T., & Rabbani, M. (2023). Transport network traffic management and urban travel demand to reduce air pollution (Case study: Shiraz). *International Journal of*

- Robinson, S. (2013). Measuring bus stop dwell time and time lost serving stop with London iBus automatic vehicle location data. *Transportation Research Record*, 2352(1), 68–75.
- Shah, K. J., Pan, S.-Y., Lee, I., Kim, H., You, Z., Zheng, J.-M., & Chiang, P.-C. (2021). Green transportation for sustainability: Review of current barriers, strategies, and innovative technologies. *Journal of Cleaner Production*, 326, 129392.
- Star, J., Rowland, E. L., Black, M. E., Enquist, C. A. F., Garfin, G., Hoffman, C. H., Hartmann, H., Jacobs, K. L., Moss, R. H., & Waple, A. M. (2016). Supporting adaptation decisions through scenario planning: Enabling the effective use of multiple methods. *Climate Risk Management*, 13, 88–94.
doi.org/10.1016/J.CRM.2016.08.001
- Suryani, E., Hendrawan, R. A., EAdipraja, P. F., Wibisono, A., & Dewi, L. P. (2019). Modelling reliability of transportation systems to reduce traffic congestion. *Journal of Physics: Conference Series*, 1196(1), 12029.
- Tavakkolmoghammad, S., Hadji Molana, S. M., Javadi, M., & Azizi, A. (2022). System dynamics model for intra-city multimodal transportation considering behavioral indicators and demand under uncertainty conditions. *Journal of Advances in Management Research*, 19(4), 533–559.
- Tirachini, A. (2013). Estimation of travel time and the benefits of upgrading the fare payment technology in urban bus services. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 30, 239–256.
- Tranmer, M., & Elliot, M. (2008). Multiple linear regression. *The Cathie Marsh Centre for Census and Survey Research (CCSR)*, 5(5), 1–5.
- Wong, S. C., Yang, H., Au Yeung, W. S., Cheuk, S. L., & Lo, M. K. (1998). Delay at Signal-Controlled Intersection with Bus Stop Upstream. *Journal of Transportation Engineering*, 124(3), 229–234.
doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1998)124:3(229)-Xu
- Ze, Y., Zhong, M., Xue, L., Zhang, B., Tu, H., Tan, C., Kong, Q., & Guan, H. (2022). Simulation analysis of bus passenger boarding and alighting behavior based on cellular automata. *Sustainability*, 14(4), 2429.
- regression. *Journal of Signal Processing Systems*, 95(2–3), 281–292.
- Guenther, R. P., & Sinha, K. C. (1983). *Modeling bus delays due to passenger boardings and alightings* (Issue 915).
- Haghshenas, H., & Vaziri, M. (2012). Urban sustainable transportation indicators for global comparison. *Ecological Indicators*, 15(1), 115–121.
- He, P., Jiang, G., Lam, S. K., & Sun, Y. (2020). Learning heterogeneous traffic patterns for travel time prediction of bus journeys. *Information Sciences*, 512, 1394–1406.
- Jin, H., Hao, H., Yang, X., & Wang, Z. (2022). Joint Optimization of Stop Design and Lane Assignment for Buses with Different Directions at a Signalized Intersection. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 149(1), 04022113.
doi.org/10.1061/JTEPBS.0000778
- Khou, H. L. (2013). Statistical modeling of bus dwell time at stops. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10, 1489–1500.
- Kraft, W. H. (1975). An analysis of the passenger vehicle interface of street transit systems with applications to design optimization.
- Kraft, W. H., & Bergen, T. F. (1974). Evaluation of passenger service times for street transit systems. *Transportation Research Record*, 505.
- Levine, J. C., & Torng, G. W. (1994). Dwell-time effects of low-floor bus design. *Journal of Transportation Engineering*, 120(6), 914–929.
doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1994)120:6(914)
- Levinson, H. S. (1983). Analyzing transit travel time performance (Issue 915).
- Milkovits, M. N. (2008). Modeling the Factors Affecting Bus Stop Dwell Time. 2072, 125–130. **doi.org/10.3141/2072-13**
- Qin, T., Dong, W., & Huang, H. (2023). Perceptions of space and time of public transport travel associated with human brain activities: A case study of bus travel in Beijing. *Computers, Environment and Urban Systems*, 99, 101919.

Optimizing the Stopping Time of Special Line Buses in Stations Using Regression Method and Exploratory Scenario (Case Study: Urmia City)

Sohrab Abdollahzadeh, Associate Professor, Faculty of Industrial Technologies, Urmia University of Technology, Urmia, Iran.

Siamak Nabegh Vatan, Ph.D., Student, Faculty of Industrial Technologies, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

E-mail: s.abdollahzadeh@uut.ac.ir

Received: April 2025- Accepted: November 2025

ABSTRACT

Optimal bus stop location and selecting an appropriate fare payment method, play crucial roles in optimizing bus dwell times. This study proposes an approach to optimize the dwell time of buses on bus-only lanes located at intersection and non-intersection stops, utilizing two payment methods: card and cash. Uncertainties were extracted from reliable sources and analyzed by experts, leading to the identification of two key drivers: "payment method" and "bus stop location." Subsequently, regression analysis was employed to predict bus dwell times under various exploratory scenarios. Ultimately, robust options were proposed to optimize bus dwell times at bus stops. To validate the proposed approach, a case study was conducted on a bus-only lane route with 22 bus stops. Using the two key drivers, four scenarios were developed and examined. The scenarios "non-intersection bus stop with card payment" and "intersection bus stop with card payment" were selected for further analysis, with average dwell times of 12.46 and 14.67 seconds, respectively. Based on the selected scenarios, 14 strategic alternatives were proposed, leading to the recommendation of 8 robust options to reduce bus dwell time and enhance passenger accessibility to bus stops.

Keywords: Bus Stop, Key Driver, Regression Analysis, Robust Strategy, Scenario Planning