مدل بهینه‌سازی زمان سفر در حمل و نقل همگانی اتوبوسرانی با بکارگیری سیستم‌های هوشمند

مقاله علمی – پژوهشی

شهریار افندی زاده*، استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
زهرا ظهیری بیدهندی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
حمید بیگدلی‌راد، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: zargari@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰– پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵
صفحه ۳۲-۱۳

چکیده

توسعه معابر جهت پاسخگویی به تقاضای شهرها سال‌هاست کارآمدی خود را در دنیای مدرن از دست داده است. متخصصان راهکار حل مشکلات ترافیکی را، مدیریت تقاضای سفر و افزایش کارایی سیستم حمل و نقل یافته‌اند. یکی از روش‌های افزایش کارایی سیستم حمل و نقل، استفاده از سیستم های حمل و نقل هوشمند می‌باشد. در این پژوهش بوسیله پرسشنامه علل نارضایتی مسافرین اتوبوس مشخص می‌شود تا براساس آن راه حل‌های هوشمند متناسب انتخاب گردد؛ سپس اقدام به جمع‌آوری اطلاعات از طریق شرکت اتوبوسرانی تهران و برداشت‌های میدانی نموده و وضع موجود شبکه بوسیله اطلاعات در اختیار در نرم‌افزار شبیه‌ساز پیاده و طبق برداشت‌های میدانی کالیبراسیون انجام می‌شود، در نهایت به تعریف سناریوهایی جهت کاهش تاخیرات و درنتیجه کاهش زمان سفر با اتوبوس اقدام نموده و سناریوهای مطروحه در نرم افزار شبیه‌سازی می شود. در این مطالعه تأثیر حمل و نقل هوشمند به‌عنوان ابزاری جهت کاهش زمان سفر با اتوبوس، بررسی شده است. با حذف هوشمند توقف در ایستگاه‌های فاقد تقاضا، استفاده از تابلوهای پیام متغیر خبری برای رانندگان جهت افزایش سرعت و حذف پرداخت کرایه نقدی می‌توان به ترتیب ۹/۸، ٤/٤ و ٤/١ درصد در زمان سفر صرفه‌جویی نمود. نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که با ترکیب دو سناریو حذف هوشمند توقف در ایستگاه‌های فاقد تقاضا و استفاده از تابلوهای (VMS) جهت افزایش سرعت، زمان سفر اتوبوس در خط مورد نظر از ۳۱۷ ثانیه در هر کیلومتر به ۲۶۱ ثانیه در هر کیلومتر (۱۷/۷ درصد) کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: زمان سفر حمل و نقل عمومی، ارتقا سیستم اتوبوسرانی، حمل و نقل هوشمند، مدل بهینه‌سازی

۱- مقدمه

امروزه متخصصان حوزه حمل و نقل به این نتیجه رسیده‌اند که راهکارهای حل مشکلات ترافیکی، مدیریت تقاضای سفر و افزایش کارایی سیستم حمل و نقل می‌باشد. یکی از روش‌های افزایش کارایی سیستم حمل و نقل استفاده از سیستم‌های حمل و نقل هوشمند است (Arena et al., 2020). امروزه تمامی مدهای حمل و نقلی و تمامی عناصر آنها از سامانه‌های حمل و نقل هوشمند جهت بهبود کارایی کل سیستم حمل و نقل بهره می‌برند، در این میان سیستم‌های حمل و نقل عمومی باتوجه به تاثیراتی که می‌توانند بر ترافیک، محیط زیست، اقتصاد و ... بگذارد در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. تعدد پارامترهای تأثیرگذار در حوزه حمل ونقل شهری، سبب شده است تا مدیریت صحیح آن دیگر با شیوه‌های سنتی و صرفاً مبتنی بر نیروی انسانی امکان‌پذیر نباشد و لذا متولیان حمل و نقل شهری چاره‌ای جز بهره‌مندی از زیرساخت‌های ارتباطی خاص که تحت عنوان سامانه‌های هوشمند حمل و نقل مطرح می‌باشد، ندارند (Chen et al., 2020 Afandizadeh

Zargari et al., 2019). آنچه که در مورد سامانه‌های هوشمند و به طور کلی فناوری در رابطه با حمل و نقل اهمیت دارد، کاربرد آن است و نه صرف راه‌اندازی آن (Wan et al., 2020). از محاسن سیستم‌های حمل و نقل هوشمند می‌توان به کاستن از تأخیرهای بی‌مورد، کاهش زمان سفر، جلب آرامش و رضایت مسافر، کاهش تصادفات و ایجاد موج سبز در شبکه چراغ‌های راهنمایی اشاره نمود. ایجاد چنین سیستمی همراه با اتصال آن به یک شبکه اطلاعاتی یا سایت اطلاع‌رسانی، به‌سادگی می‌تواند قبل از شروع سفر، مسافر را در انتخاب مسیر مطلوب یاری رسانده و در کاهش حجم ترافیک تأثیر بسزایی داشته باشد. سیستم‌های هوشمند در صورت عملکرد صحیح، اعتماد مردم به شبکه حمل و نقل را افزایش داده و با بهینه‌سازی مجموعه، سالانه مقدار قابل توجهی صرفه‌جویی اقتصادی برای مردم و دولت را در برخواهند داشت (Nikitas et al., 2020). مهم‌ترین کاربردهای سیستم‌های جمع‌آوری کرایه عبارتند از تعیین مبدا - مقصد سفرهای سیستم اتوبوسرانی، درک بهتر الگوهای سفر کاربران در طول روز، نظارت بر مسافران، تخمین درآمد سیستم و ارزیابی معیارهای عملکرد سرویس. همچنین یکی از مهمترین ویژگی‌های این سیستم، امکان شناسایی افراد در سیستم‌هایی است که کارتهای هوشمند مانند کارت شناسایی حاوی اطلاعات فردی خاص باشند. از مهمترین ویژگی‌های این سیستم می‌توان به دسترسی به مجموعه بیشتری از اطلاعات افراد، امکان برقراری رابطه میان اطلاعات افراد و اطلاعات کارت، داده‌های پیوسته موجود در بازه‌های زمانی زیاد و اطلاعات بهتر در رابطه با بخش زیادی از کاربران سیستم حمل و نقل همگانی اشاره نمود (Saharan et al., 2020; Hajisoleimani et al., 2021). سیستم های تعیین موقعیت و ناوبری وسائل نقلیه AVLNS عنوان ابزاری جدید جهت تولید آنی اطلاعات مکانی و پردازش و بازیافت این‌گونه اطلاعات در مدت زمان بسیار کوتاه و به منزله مکمل سیستم‌های حمل و نقل هوشمند می‌باشد که هرروز بیش از پیش در سازمان‌ها و ارگان‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (Afandizadeh, Bigdeli Rad, 2021). اینگونه سیستم‌ها توانایی نمایش حرکت وسیله نقلیه بر روی نقشه روقومی در یک صفحه نمایش در داخل وسیله نقلیه و نیز مرکز کنترل را میسر می‌سازد. با کمک سیستم AVLNS می‌توان از داخل وسیله نقلیه موقعیت و وضعیت خود را نسبت به مقصد در هر لحظه با استفاده از مشاهدات GPS و با استفاده از سایر امکانات و روش‌های تعیین موقعیت مانند سیستم‌های ماهواره‌های زمین ثابت یا سیستم‌های ماهواره های با مداری پائین‌تر از مدار زمین و همچنین استفاده از سیستمهای AVL زمینی مشخص نمود. همچنین تعیین سرعت لحظه‌ای یک وسیله متحرک، یکی دیگر از اهداف ناوبری است که با استفاده از اصول داپلر سیگنالهای رادیویی در کنار GPS می‌توان به این هدف دست یافت (Ameri et al., 2021; Abdi et al., 2020). برخی از پژوهش‌ها بر روی ترکیب داده‌های GPS، (اخذ خودکار کرایه) و (شمارشگر خودکار مسافران) کار کرده‌اند. پژوهش‌هایی که بر روی ترکیب داده‌های GPS و APC صورت گرفته معمولاً بر روی قابلیت اطمینان سیستم اتوبوسرانی و میزان نظم در برنامه زمان‌بندی آن انجام شده است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعات شالابی و همکاران ۲۰۰٤ و چن و همکاران ۲۰۰٤ و چام ۲۰۰٦ اشاره کرد. میلکوویتس ۲۰۰۸ از ترکیب هر سه سیستم AVL، AFC، APC به منظور مدل‌سازی عوامل مؤثر بر زمان توقف اتوبوس در ایستگاه در سیستم اتوبوسرانی شهر شیکاگو استفاده کرده است (Chen et al., 2004; Milkovits, 2008; Shalaby and Farhan, 2004). کپاپتسوگلو و همکاران در زمینه ترکیب حمل و نقل هوشمند و بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی حمل و نقل عمومی انجام داده‌اند. آن‌ها بیان می‌دارند که برنامه‌های کاربردی سیستم‌های حمل و نقل هوشمند در حمل و نقل عمومی امکان جمع‌آوری خودکار داده‌ها را فراهم کرده است که به ویژه برای برنامه‌ریزی و بهره‌برداری مفید است (Iliopoulou and Kepaptsoglou, 2019).

جنلیوس در مقاله‌ای به تعمیم قابلیت اطمینان خدمات حمل و نقل عمومی میپردازد و هردوی زمان سفر و شرایط سفر را بر اساس زمان سفر درک شده توسط مسافران بررسی می‌کند. زمان سفر به زمان انتظار و انتقال تقسیم شده است، همچنین زمان داخل خودرو در شرایط مختلف سفر(ازدحام جمعیت و در دسترس بودن صندلی)، در طول سفر و بین روزها مختلف، متفاوت می‌باشد(Jenelius, 2018). کاستیلو و همکاران پژوهشی در زمینه فن آوری‌های حسگر برای سیستم‌های حمل و نقل هوشمند انجام داده‌اند. با ادغام یکپارچه وسایل نقلیه و دستگاه‌های حسگر، می‌توان از قابلیت‌های حسی و ارتباطی آن‌ها برای دستیابی به سیستم‌های حمل و نقل هوشمند استفاده

کرد. در نهایت، برخی از چالش‌هایی را که باید برای ایجاد یک محیط ITS کاملاً عملیاتی و مشارکتی مورد توجه قرار گیرند، مورد بحث قرار گرفته است (Guerrero et al., 2018). السوبکی و همکاران مقاله‌ای تحت عنوان یک برنامه هوشمند برای بهینه‌سازی مسیرهای اتوبوس دانشگاه ارائه کرده‌اند. هدف این مقاله ارائه یک راه‌حل جامع برای مساله مسیریابی اتوبوس دانشگاه بر اساس طراحی مسیرهای انعطاف‌پذیر است که برای به حداقل رساندن فواصل پیاده‌روی برای دانشجویان و همچنین کل زمان سفر با توجه به شرایط ترافیک و برنامه درسی پیشنهاد شده‌است (Alsobky et al, 2017).

گالکین و همکار پژوهشی با عنوان فرمول‌بندی معیارهای عملکرد سیستم‌های هوشمند حمل و نقل و لجستیک انجام داده‌اند. آن‌ها بیان می‌کنند که سیستم‌های حمل و نقل هوشمند مدرن، موارد پیچیده‌ای هستند که از الگوریتم‌های کنترل تطبیقی استفاده می‌کنند (Galkin and Sysoyev, 2020). ژانگ و همکاران مقاله‌ای تحت عنوان بهینه‌سازی جدول زمانی اتوبوس تک خطی با در نظر گرفتن زمان وابسته به زمان سفر: مطالعه موردی پکن، چین ارایه کرده‌اند. این مقاله به این مساله می‌پردازد که چگونه به طور بهینه جدول زمانی اتوبوس تک‌خطی موجود را با کمی تغییر زمان حرکت وسیله نقلیه در ترمینال خروج و نگه داشتن وسایل نقلیه در توقفگاه های دیگر با در نظر گرفتن زمان‌های وابسته به زمان سفر، اصلاح کند (Zhang et al., 2021). برگ گل و همکاران مقاله‌ای تحت عنوان ارزیابی عوامل مؤثر بر زمان سفر در بهینه‌سازی استقرار ایستگاه‌های اتوبوس با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه کرده‌اند. در این مطالعه مشخص شد که زمان پیاده‌روی و سوار شدن به همراه ظرفیت اتوبوس، مؤثرترین عوامل بر زمان سفر هستند. در نتیجه بهتر است بر روی عوامل ذکر شده برای بهبود کارایی سیستم اتوبوس تمرکز بیشتری داشته باشیم(Bargegol et al., 2017). مقدم و همکاران مقاله‌ای تحت عنوان بهینه سازی زمان سفر ناوگان حمل ونقل عمومی شهری با استفاده از مدل سازی با شبکه های پتری ارائه کرده‌اند. در این تحقیق با استفاده از یک مدل کنترلی از شبکه‌های پتری و با اولویت دادن به سیستم حمل ونقل ناوگان اتوبوسرانی شهری نسبت به دیگر خودروها، زمان‌های چراغ‌های راهنمایی و رانندگی واقع در یک چهارراه به گونه‌ای تنظیم می‌شود که تا حد امکان، یک اتوبوس بتواند در اسرع وقت از چهارراه عبور کند. در نتیجه زمان توقف مسافران داخل یک اتوبوس کاسته می‌شود و با توجه به ظرفیت مسافر بیشتر یک اتوبوس نسبت به دیگر خودروها، درمجموع زمان سفر کلیه مسافرین عبوری از یک تقاطع کمتر می‌شود، به‌گونه‌ای که متوسط زمان توقف هر مسافر تقریباً به میزان ۸ درصد در بهترین حالت کاهش می‌یابد؛ که این مقدار در شرایط مختلف تردد اتوبوس تغییر می‌کند. (Moghaddam and dideban, 2018).

۲- روش پژوهش

در این پژوهش در گام یکم بوسیله پرسشنامه علل نارضایتی مسافرین اتوبوس مشخص می‌شود تا براساس آن راه حل‌های هوشمند متناسب انتخاب گردد؛ در گام دوم اقدام به جمع‌آوری اطلاعات از طریق شرکت اتوبوسرانی تهران و برداشت‌های میدانی نموده، در گام سوم وضع موجود شبکه بوسیله اطلاعات در اختیار در نرم‌افزار شبیه‌ساز پیاده و طبق برداشت‌های میدانی کالیبراسیون انجام می‌شود، در گام چهارم به تعریف سناریوهایی جهت کاهش تاخیرات و درنتیجه کاهش زمان سفر با اتوبوس اقدام نموده و سناریوهای مطرح را در نرم‌افزار شبیه‌سازی می‌نماییم و در آخر نتایج، تحلیل و مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. در ادامه به تفصیل کلیه مراحل شرح داده می‌شود.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه ٤ شهرداری تهران بزرگترین منطقه شهری تهران بوده و طیف گسترده فرهنگی و اقتصادی را در خود جای داده است، دربین خطوط اتوبوسرانی که مبدأ و مقصد آنها هردو در منطقه ٤ واقع شده‌اند باتوجه به حجم مسافر و مسیر آن خط، خط ۳۸۳ اتوبوسرانی (مسیر رفت) انتخاب شد تا در برگیرنده طیف مناسبی از سفرها باشد. این خط در مسیر خود از ایستگاه مترو فرهنگسرا که ایستگاه ابتدایی خط ۲ مترو تهران می‌باشد عبور می‌کند و مقصد آن میدان رسالت که یکی از مهمترین میدان‌های شرق تهران از لحاظ قابلیت دسترسی به سایر نقاط شهر تهران است، می‌باشد.

۲-۲- عوامل موثر در تاخیر اتوبوس

در ابتدا پرسشنامه‌ای مطابق با پیوست با عنوان "عوامل مؤثر در تأخیر اتوبوس" تهیه شد، که شامل ۱۷ عامل افزایش زمان

سفر با اتوبوس و نارضایتی مسافران می‌باشد، لازم به توضیح که پرسشنامه مذکور با مطالعه تحقیقات پیشین انجام شده در این حوزه و نیز نظرسنجی از کاربران اتوبوس تهیه شد و شامل مهمترین علل‌های ایجاد تأخیر و به‌دنبال آن نارضایتی کاربران می‌باشد و صرفاً درخصوص بخش مورد نظر پژوهش حاضر، یعنی زمان سفر داخل اتوبوس نمی‌باشد؛ در نتیجه استفاده از نتایج آن در پژوهش‌های آتی امکان‌پذیر می‌باشد. پرسشنامه تهیه شده در اختیار کاربران اتوبوسرانی قرارداد شد تا مهمترین عوامل از دید مسافران شناسایی گردد.

نتایج مطابق جدول (۱) بدست آمد.

جدول ۱. نتایج پرسشنامه "عوامل مؤثر در تأخیر اتوبوس"

ردیف	عوامل تأخیر	۱- بسیار کم اهمیت	۲-کم اهمیت	۳-متوسط	٤-با اهمیت	٥-بسیار با اهمیت	جمع	جمع ٤ و ٥
۱	مسیر مشترک با سایر وسایل نقلیه.	۱۸	۱۸	۱۰	۱۱	٤۳	۱۰۰	٥٤
۲	طولانی شدن زمان سوار و پیاده‌شدن مسافران.	۷	۱۸	۳٦	۲٥	۱٤	۱۰۰	۳۹
۳	پرداخت کرایه بصورت پول نقد.	۱۸	۱۰	۱۸	۲۹	۲٥	۱۰۰	٥٤
٤	مستهلک بودن اتوبوس و خرابی‌های اتفاقی.	۱٤	۱۸	۲۹	۱۰	۲۹	۱۰۰	۳۹
٥	توقف در ایستگاه‌هایی که متقاضی ندارند.	۲۱	٥/۲٥	٥/۲٥	۷	۲۱	۱۰۰	۲۸
٦	سوار یا پیاده‌کردن مسافر خارج از ایستگاه.	۱۸	۲۱	۱٤	۱۱	۳٦	۱۰۰	٤۷
۷	تصادفات خیابانی.	۱٤	۲۹	۳٦	۷	۱٤	۱۰۰	۲۱
۸	توقف‌های طولانی در پشت چراغ راهنمایی.	7	۱٤	۳۲	۱۸	۲۹	۱۰۰	٤۷
۹	عدم تامین تعداد مورد نیاز اتوبوس.	۱۱	٤	۳	۱٤	٦۸	۱۰۰	۸۲
۱۰	عدم رعایت سرفاصله‌های زمانی ارسال اتوبوس.	۷	۷	۷	۲۹	٥۰	۱۰۰	۷۹
۱۱	تاثیرات شرایط جوی.	۱۱	۱٤	۳۹	٤	۳۲	۱۰۰	۳٦
۱۲	عدم تناسب ارسال ناوگان با ساعات شلوغی (پرتقاضا).	۱۱	۳	۷	۱۷	٦۱	۱۰۰	۷۹
۱۳	عدم تناسب ارسال ناوگان با روزهای خاص (پرتقاضا).	۷	۱۱	۷	۲۹	٤٦	۱۰۰	۷٥
۱٤	عدم تناسب نوع اتوبوس با حجم مسافر خط مورد نظر.	۱۱	۷	۷	۳۲	٤۳	۱۰۰	۷٥
۱٥	عدم تناسب نوع اتوبوس با شرایط مسیر خط مورد نظر (مانند استفاده از اتوبوس‌های بزرگ در مسیرهای کم عرض).	۱۱	۱۸	۱۸	۳۹	۱٤	۱۰۰	٥۳
۱٦	جانمایی نامناسب ایستگاه‌ها.	۱۱	٤۰	۲۱	۱٤	۱٤	۱۰۰	۲۸
۱۷	مسیرهای نامناسب برای خطوط.	۷	۲۹	۳٦	۱٤	۱٤	۱۰۰	۲۸

به منظور رسیدن به طرح مورد نظر، این پژوهش از طریق مقایسه پارامترهای هندسی و ترافیکی، نظیر میزان تراکم، زمان سفر، تأخیرات و ... می‌تواند زمان سفر ناوگان اتوبوسرانی را محاسبه نماید. این پارامتر از خروجی‌های نرم‌افزار AIMSUN بدست خواهد آمد.

۲-۳- شبیه سازی

بعد از انجام مراحل برداشت، کلیه داده‌های برداشت شده جهت ورود به شبیه‌سازی نرم افزاری AIMSUN بررسی و دسته بندی شد. بعد از انجام دستورالعمل کالیبراسیون داده‌ها در شرایط موجود اتوبوسرانی، اقدام به صحت سنجی و بررسی دقت خروجی‌ها صورت گرفت. برای این منظور داده‌های بدست آمده زمان سفر خط اتوبوسرانی موردنظر (منطقه مورد مطالعه) که قبلاً از جمع‌آوری میدانی داده‌ها و شرکت اتوبوسرانی بدست آمده بود با نتایج زمان سفر خط اتوبوسرانی حاصل از شبیه‌سازی مقایسه گردید.

۲-٤- ترسیم شبکه در وضع موجود

در این مرحله خط ۳۸۳ اتوبوسرانی واقع در منطقه ٤ شهرداری تهران ترسیم گردید. مطالعه موردی بر روی مسیر پایانه زین‌الدین – میدان رسالت انجام گردید. طبق آمارهای دریافتی طول مسیر این خط ۱۰۵٦۱ متر می‌باشد. اولین ایستگاه پایانه زین‌الدین (بهار آزادی) و آخرین ایستگاه میدان رسالت نام دارد. بین ایستگاه‌های مبدأ و مقصد ١٦ ایستگاه وجود دارد که مجموعاً ۱۸ ایستگاه در خط ۳۸۳ تعریف گردید. در جدول (۲) ایستگاه‌های تعبیه شده در شبکه به ترتیب نشان داده شده است.

جدول ۲. ایستگاه‌های تعبیه شده در مسیر شبکه

ردیف	نام ایستگاه	کد ایستگاه
۱	پایانه بهار آزادی	۲٦۸۵
۲	انقلاب	۲٦۸۷
۳	بوستان آلاله	۲٦۹۱
٤	مسجد یک	۲٦۹۵
۵	حسینی یک	۲٦۹۹
٦	شریعتی یک	۲۷۰۱
۷	والفجر	۲۷۰۵
۸	پرورشگاه	۲۵۵۹
۹	شاهد	۲۵٦۱
۱۰	سیدالشهدا	۲۵٦۷
۱۱	چهارراه اشراق	۲۵۷۱
۱۲	زرین	۲۵۷۹
۱۳	رشید	۲۵۸۱
١٤	هنرستان	۲۵۸۷
۱۵	ولی عصر	۲۵۹۱
١٦	خاور	۲۵۹۷
۱۷	سید	۲٦۱۱
۱۸	رسالت	۲۸۰۱

در این شبکه ترسیم شده اتوبوس از پایانه زین‌الدین شروع به حرکت کرده و وارد خیابان زهدی می‌شود، در ادامه مسیر به خیابان ناهیدی و پس از آن وارد فرجام می‌شود و در آخرین ایستگاه واقع در خیابان هنگام مسیر خود را به پایان می‌رساند. در مسیر شبکه ۷۳ تقاطع وجود دارد. ۱۱ تقاطع با استفاده از چراغ راهنمایی کنترل می‌شود. زمانبندی چراغ‌های راهنمایی در ساعت اوج با مطالعه میدانی بدست آمده است. در جدول ۳ تقاطعات و اطلاعات مربوط به زمانبندی آن نشان داده شده است. در این جدول خطوط عبور و زمانبندی چراغ‌های راهنمایی در تقاطعات ترسیم نشان داده شده است.

جدول ۳. زمانبندی چراغ و اطلاعات هندسی مسیر

ردیف	نام ایستگاه/مسیر	تعداد خط	عرض خط	تعداد خط عبوری از این ایستگاه	نوع مسیر عابر پیاده	پارک حاشیه‌ای
۱	کنار گذر اتوبان زین‌الدین – ایستگاه دو راهی رهبر	۲		۲	پیاده رو	بله
۲	کنار گذر اتوبان زین‌الدین – ایستگاه انقلاب	۲		۲	پیاده رو	بله
	گردش به راست ورود به زهدی – عبور از میدان ابوذر					
۳	زهدی–ایستگاه بوستان آلاله	۲		۲	پیاده رو	بله
A	چراغ راهنمایی– بدون تایمر– ابتدای نوروزی	سبز	٤٥	قرمز	۳۵	
٤	زهدی– ایستگاه مسجد	۲		۲	پیاده رو	بله
B	چراغ راهنمایی– بدون تایمر– ابتدای شریعتی	سبز	۳٦	قرمز	۳۲	متغیر
٥	زهدی– ایستگاه حسینی	۲		۲	پیاده رو	بله
C	چراغ راهنمایی– بدون تایمر– ابتدای ۲۰ متری ولیعصر	سبز	٤۳	قرمز	۲٦	
٦	زهدی– ایستگاه شریعتی	۲		۲	پیاده‌رو	بله
	ورود به میدان والفجر					
۷	میدان والفجر– ایستگاه والفجر	۲		۲	پیاده‌رو	بله
	میدان اشراق– خروجی اول ورود به ناهیدی					
۸	ناهیدی– ایستگاه پرورشگاه	۳		٤	پیاده‌رو	بله
۹	ناهیدی– ایستگاه شاهد	۳		٤	پیاده‌رو	بله
D	چراغ راهنمایی– با تایمر– چهارراه سیدالشهدا– تقاطع پروین	سبز		قرمز		متغیر
	عبور از چهارراه سیدالشهدا					
۱۰	ناهیدی– ایستگاه سیدالشهدا	۳		۳	پیاده‌رو	بله
E	چراغ راهنمایی– با تایمر– تقاطع سجده‌ای	سبز		قرمز		
۱۱	ناهیدی– ایستگاه چهارراه اشراق	۳		۳	پیاده‌رو	بله
F	چراغ راهنمایی– با تایمر – تقاطع خ تهرانپارس	سبز	٤۱	قرمز	۱۱۷	

ردیف	نام ایستگاه/مسیر	تعداد خط	عرض خط	تعداد خط عبوری از این ایستگاه	نوع مسیر عابر پیاده	پارک حاشیه‌ای
	عبور از چهارراه اشراق- ورود به خ فرجام غربی					
۱۲	فرجام غربی- ایستگاه زرین	۳		۳	پیاده رو	بله
G	چراغ راهنمایی- بدون تایمر- تقاطع گلشنی	سبز	٦٥	قرمز	۲٤	
۱۳	فرجام غربی- رشید	۳		۳	پیاده رو	بله
	ورود به اتوبان باقری، دوربرگردان اول - ورود به فرجام					
۱٤	فرجام غربی- ایستگاه هنرستان	۳		۳	پیاده رو	بله
H	چراغ راهنمایی- با تایمر- تقاطع سراج	سبز	٦٥	قرمز	۲٤	
I	چراغ چشمک زن- ابتدای عبادی					
۱٥	فرجام غربی- ایستگاه ولی عصر	۳		۱	پیاده رو	بله
J	چراغ راهنمایی- بدون تایمر- تقاطع برادران باقری	سبز	۳۳	قرمز	۲٥	
K	چراغ راهنمایی- با تایمر- تقاطع حیدرخانی	سبز	۳٦	قرمز	۲۹	
۱٦	فرجام غربی- ایستگاه خاور	۲		۱	پیاده رو	بله
L	چراغ راهنمایی- با تایمر- تقاطع آیت (میدان ۱۰۰)	سبز	۳۹	قرمز	۳۹	
	به سمت پایین ورود به دکتر آیت					
۱۷	آیت - ایستگاه سید	۳		۳	پیاده رو	بله
	گردش به راست ورود به قزوینی					
	گردش به راست ورود به هنگام					
۱۸	هنگام-ایستگاه رسالت	۳			پیاده رو	بله

با توجه به اطلاعات در اختیار گذاشته توسط شرکت اتوبوسرانی تهران زمان سفر برای یک اتوبوس در مسیر شبکه ۵۱ دقیقه می‌باشد. همچنین میانگین سرعت برای هر اتوبوس در زمان حرکت در مسیر، ۱۸ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. در شبکه ترسیم شده برای شبیه‌سازی، برای تعیین وضع موجود کالیبراسیون سرعت و زمان سفر انجام شد. بدین صورت که سرعت میانگین برای اتوبوس در شبکه ۱۷/۵ در نظر گرفته شد. با این سرعت در ترافیک ساعت اوج مسیر، ۵۳ دقیقه زمان سفر برای اتوبوس بدست آمد. اطلاعات مربوط به سرفاصله زمانی حرکت اتوبوس در ساعت اوج و نیز اطلاعات مربوط به زمانبندی حرکت اتوبوس در شبکه از شرکت اتوبوسرانی دریافت گردید. این اطلاعات مربوط به ۱ ماه (آبان ۱۳۹۸) می‌باشد. بدست آوردن زمانبندی سرفاصله زمانی حرکت اتوبوس در ساعت اوج با همپوشانی اتوبوس‌های به حرکت در آمده بدست آمد. با تقریب زیاد ۳ اتوبوس در هر ساعت به فاصله‌های ۲۰ دقیقه به حرکت درمی‌آید. زمان توقف در هر ایستگاه ۱ دقیقه در نظر گرفته شد. همچنین انحراف معیار برای زمان توقف در هر ایستگاه ۱۵ ثانیه اعمال شد. در شکل ۱ شبکه ترسیم شده نشان داده است.

شکل ۱. شبکه ترسیم شده در وضعیت موجود

در شکل ۲ شبکه ترسیم شده بصورت خطی نشان داده شده است.

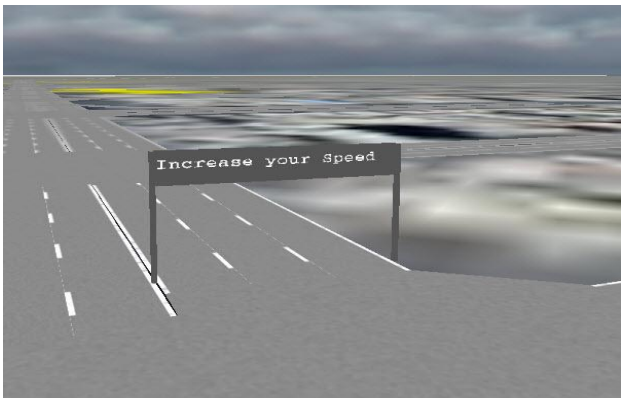
شکل۲. شبکه کامل ترسیم شده در نرم افزار

۲-۵- سناریوی های تعریف شده

بعد از اعمال شرایط موجود سناریوهای تعریف شده به صورت زیر بر شبکه ترسیم شده، اعمال می‌گردد.

سناریو یکم: با توجه به برداشت‌های میدانی اولین سناریو، مربوط به کاهش تعداد توقف در ایستگاه‌ها می‌باشد. در سناریوی اول با توجه به حجم کم مسافر در برخی ایستگاه‌ها در مرحله اول توقف اتوبوس در ۳ ایستگاه و در مرحله بعدی در ۵ ایستگاه حذف می‌گردد. این سناریو با این فرض می‌باشد که مسیر طراحی شده به سیستم هوشمند مجهز می‌باشد و راننده از قبل اطلاع دارد که در چه ایستگاه‌هایی نباید توقف کند.

سناریو دوم: با استفاده از تابلوهای پیام متغیر به راننده اعلام می‌شود، امکان این را دارد برای کاهش زمان سفر سرعت خود را در مقاطعی بالا ببرد؛ به جز حالت پایه که با سرعت ۱۷/۵ کیلومتر در ساعت طراحی و شبیه‌سازی شد، در دو مرحله سرعت متوسط مسیر به ۲۲/۵ و ۲۷/۵ کیلومتر در ساعت رسید. در شکل ۳ تابلوی پیام متغیر خبری تعبیه شده در مقطعی از مسیر نشان داده است.



شکل۳. تابلوی پیام متغیر خبری برای افزایش سرعت

در شکل ٤ تابلوی پیام خبری در حالتی قرار دارد که به سایر رانندگان در شبکه اعلام می‌کند که در تقاطعات حق تقدم برای اتوبوس می‌باشد.

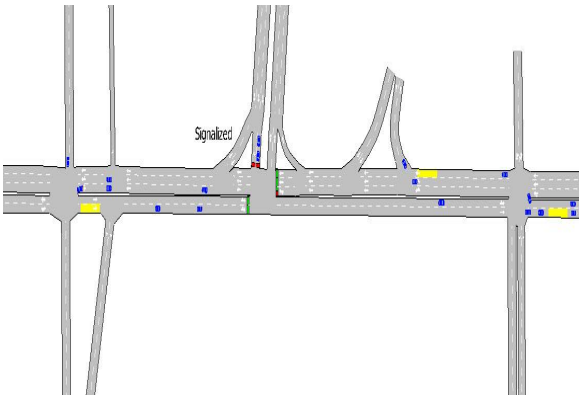
شکل٤. تابلوی پیام متغیر خبری برای اعلام حق تقدم اتوبوس در تقاطعات

در شکل ٥ نمایی از شبیه‌سازی در مقطعی از شبکه ترسیم شده نشان داده است.

شکل٥. نمایی از شبیه سازی در مقطعی از شبکه

سناریوی سوم: در این سناریو سناریوهای یک و دو با هم ترکیب شده و شبیه‌سازی انجام شد. در این مرحله براساس شرایط اپتیمم شبکه، در سرعت ۲۷/٥ کیلومتر بر ساعت، تعداد توقف در ایستگاه‌ها کاهش یافت؛ در مرحله اول ۳ ایستگاه و در مرحله بعدی ٥ ایستگاه برای توقف کم شد.

سناریو چهارم: در این سناریو زمان توقف در ایستگاه‌ها با فرض اینکه تهیه بلیط برای تمامی مسافرین بصورت الکترونیک تهیه شده باشد، کاهش یافت. با توجه به اطلاعات دریافتی از شرکت اتوبوسرانی، ۳۰ الی ٤٠ درصد مسافرین برای ورود به اتوبوس از بلیط الکترونیکی استفاده نمی‌کنند. لذا زمان توقف در ایستگاه ٢٤ ثانیه کم شد و مقدار توقف در هر ایستگاه به ٣٦ ثانیه رسید. همچنین مقدار انحراف معیار برای هر توقف ١٥ ثانیه در نظر گرفته شد. در شکل ٦ مقطعی از مسیر شبکه نشان داده است.



شکل ٦. مقطعی از مسیر

حجم ورودی در شبکه برای ساعت اوج ۱۷۰۰۰ وسیله در نظر گرفته شد. در این بخش بعد از اعمال ورودی‌های شبکه شبیه‌سازی انجام شد. زمان سفر برای رسیدن به نتیجه مهمترین خروجی برای این پژوهش می‌باشد. در بخش آتی پیرو نتایج شبیه‌سازی نشان داده می‌شود که هوشمند کردن شبکه می‌تواند زمان سفر اتوبوس را کاهش داد. در پژوهش حاضر برای تحلیل و بررسی پارامترهای ترافیکی و برنامه‌ریزی‌های حمل و نقلی که حاصل از حرکت خطوط اتوبوسرانی معمولی شهری می‌باشد از اطلاعات جمع‌آوری شده در شرکت اتوبوسرانی تهران و بطور اخص خط اتوبوسرانی (پایانه شهید زین‌الدین- میدان رسالت) برای نمونه مطالعاتی و برداشت‌های میدانی که در ادامه به تفصیل توضیح داده شده، استفاده گردید، در ادامه نیز به مشخصات خط اتوبوسرانی مورد نظر و داده‌های ترافیکی وسایل نقلیه پرداخته می‌شود. شکل ۷ نحوه و مراحل این تحلیل را نشان می‌دهد.

شکل ۷. روند انجام تحلیل، مطالعات و شبیه سازی سناریوها

۲-٦- متغیرهای مستقل و وابسته مدل رگرسیونی

در مدل خطی تک جمله‌ای با یک متغیر مستقل و یک متغیر وابسته، حجم ورودی اتوبوس‌ها و وسایل نقلیه هنگام ساعت اوج جریان ترافیک چون شرایط ثابت شبیه‌سازی در کلیه سناریوها در نظر گرفته می‌شود وارد مدلسازی نمی‌گردد. اما پارامتر تعداد ایستگاه‌های فعال و غیرفعال (اتوبوس نمی‌ایستد)، مدت زمان توقف اتوبوس در هر ایستگاه و سرعت حرکت اعمال شده با فرض استفاده از تابلوهای VMS به عنوان متغیرهای مستقل وارد می‌شوند و پارامتری که قرار است مقدار بهینه آن در سناریوهای مختلف بدست بیاید که همان زمان سفر اتوبوسرانی می‌باشد، به عنوان متغیر وابسته شناخته می‌شود.

جدول ٤. متغیرهای مستقل و وابسته در مدل رگرسیونی هدف

متغیر مستقل (سناریوهای کلی)	متغیر وابسته
تعداد ایستگاه حذف شونده،	**زمان سفر**
زمان توقف ایستگاه‌ها بدلیل استفاده از کارت بلیت الکترونیک	**زمان سفر**
سرعت حرکت اتوبوس (تحت فرمان (VMS)	**زمان سفر**

شکل ۸. تصاویر برداشت شده برای جانمایی بهتر و دقیق ایستگاه‌ها در شبیه‌سازی ترافیکی

شکل ۹. تصاویر برداشت شده برای جانمایی بهتر و دقیق ایستگاه ها در شبیه‌سازی ترافیکی

۳- نتایج

در این بخش به ارائه نتایج حاصل از پژوهش انجام شده پرداخته می‌شود.

۳-۱- شبیه سازی

کلیه احجام پیش فرض و ضرایب فنی کالیبراسیون نرم افزار وارد شبیه‌ساز گردیدند. همچنین حجم‌های برداشت شده و موارد مربوط به برداشت‌های میدانی برای سنجش صحت خروجی‌ها در مطالعه موردی (خط اتوبوسرانی پایانه شهید زین‌الدین- میدان رسالت) استفاده گردیدند. به طور کلی پنج حالت اصلی زیر تعریف گردید که هر کدام دارای ۱ تا ۳ زیرسناریو می‌باشند.

حالت اول: شبیه سازی در حالت پایه (برداشت‌های میدانی و وضع موجود اتوبوسرانی)

حالت دوم: شبیه‌سازی در حالت استفاده از کارت بلیت‌های الکترونیکی

حالت سوم: شبیه‌سازی در حالت استفاده از تابلوهای پیام متغیر خبری (VMS) برای رانندگان

حالت چهارم: شبیه‌سازی در حالت حذف هوشمند ایستگاه‌های فاقد تقاضای خط اتوبوسرانی

حالت پنجم: شبیه‌سازی در حالت ترکیبی (حالت بیشینه استفاده از VMS و تغییر در تعداد حذف هوشمند ایستگاه‌ها)

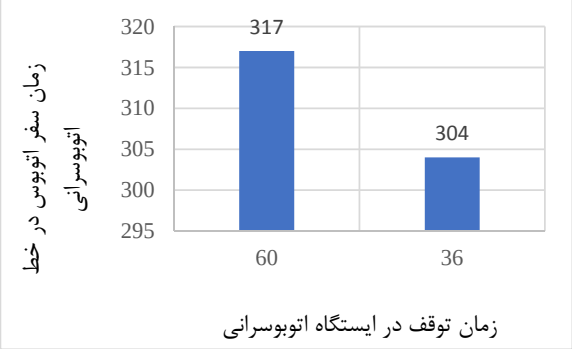
حالتی است که با استفاده از برداشت میدانی زمان سفر برای مسیر رفت خط اتوبوسرانی پایانه شهید زین‌الدین- رسالت برابر با ۳۱۲ ثانیه در هر کیلومتر بدست آمده است. بعد از اعمال شرایط کالیبراسیون با توجه به موارد عنوان شده، بر مبنای خروجی‌های شبیه‌سازی مقدار زمان سفر برابر با ۳۱۷ ثانیه بدست آمد که این مقدار اختلاف ۵ ثانیه‌ای نشان می‌دهد کالیبراسون به درستی انجام گرفته است. همچنین مبنای تغییرات سناریوها بر اساس ۳۱۷ ثانیه در هر کیلومتر پیمایش شده توسط ناوگان اتوبوسرانی مد نظر قرار می‌گیرد.

۳-۲- شبیه‌سازی در حالت استفاده از کارت بلیت‌های الکترونیکی

با در نظر گرفتن سرعت میانگین حرکت ناوگان اتوبوسرانی برابر ۱۷/۵ (کیلومتر بر ساعت)، در صورت اجبار شدن و الزام به استفاده از کارت بلیت الکترونیکی یا پرداخت به صورت QR-Code در ناوگان اتوبوسرانی که طبق مطالب گفته شده موجب کاهش ۲۶ ثانیه‌ای زمان توقف در هر ایستگاه می‌شود، مطابق با جدول ۵ و شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که نتایج شبیه‌سازی مقدار ۱۳ ثانیه کاهش زمان سفر در هر کیلومتر پیمایش شده توسط اتوبوسرانی را نشان می‌دهد.

جدول ۵. مقدار کاهش زمان توقف به دلیل استفاده از کارت بلیت الکترونیکی

سناریوها	حالت پایه	الزام استفاده از کارت بلیت الکترونیکی
مقدار زمان سفر (ثانیه در هر کیلومتر)	۳۱۷	۳۰۴



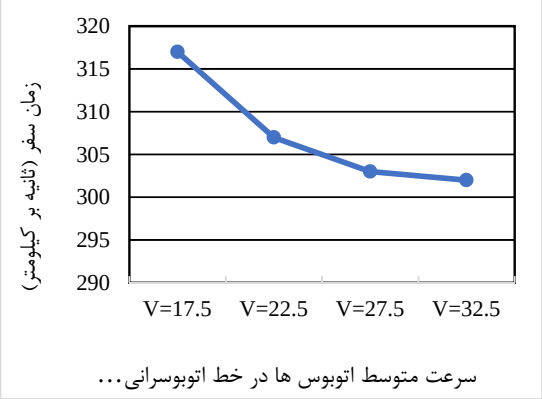
شکل ۱۰. مقایسه تغییرات زمان سفر با اعمال کارت بلیت الکترونیکی

۳-۲- شبیه سازی در حالت استفاده از تابلوهای پیام متغیر خبری (VMS) برای رانندگان

با در نظر گرفتن سرعت میانگین حرکت ناوگان اتوبوسرانی برابر با ۱۷/۵ (کیلومتر بر ساعت)، به عنوان سناریوی پایه و افزایش سرعت ناوگان ناشی از برنامه‌ریزی و مدیریت لحظه‌ای ناوگان با فرض اعمال پیام به رانندگان و افزایش سرعت اتوبوس در سناریوهای مختلف (برای بررسی روند تغییرات، سرعت حرکت ناوگان تا ۳۲/۵ کیلومتر بر ساعت برای ساعت اوج جریان ترافیک اعمال گردید)، مطابق با جدول ٦ و شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که کاهش زمان سفر در ابتدا به صورت قابل توجه و سپس به سمت ۳۰۲ ثانیه در هر کیلومتر میل می‌کند.

جدول ٦. تغییرات زمان سفر در سناریوهای مختلف در اثر تغییرات سرعت بر روی VMS

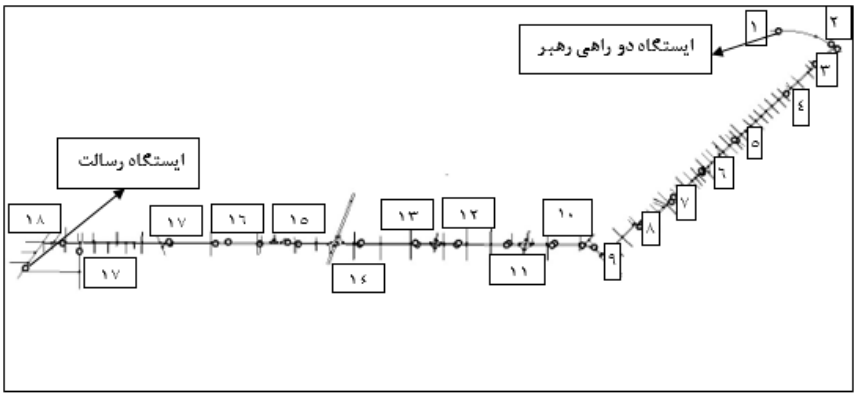
سناریوها	حالت پایه V=17.5 (Km/h)	V_{VMS}=22.5 (Km/h)	V_{VMS}=27.5 (Km/h)	V_{VMS}=32.5 (Km/h)
مقدار زمان سفر (ثانیه در کیلومتر)	۳۱۷	۳۰۷	۳۰۳	۳۰۲



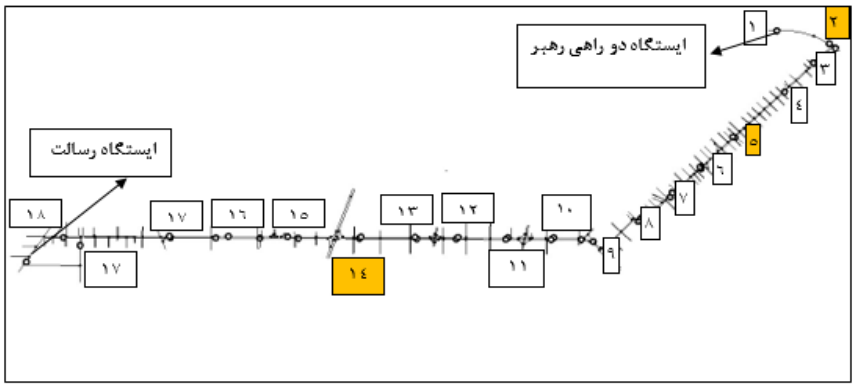
شکل ۱۱. مقایسه تغییرات زمان سفر تحت اثر تغییرات سرعت بر تابلوهای VMS

۳-۳- شبیه‌سازی در حالت حذف هوشمند ایستگاه‌های خلوت خط اتوبوسرانی

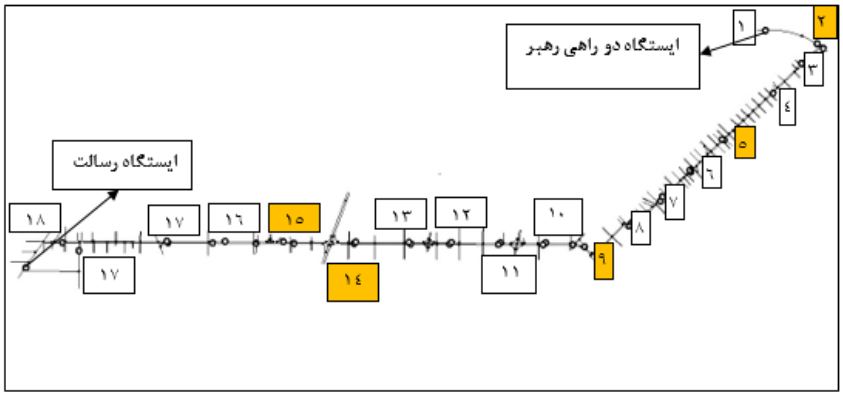
با در نظر سرعت میانگین حرکت ناوگان اتوبوسرانی برابر ۱۷/۵ (کیلومتر بر ساعت) به عنوان سناریوی پایه و کاهش تعداد ایستگاه‌های خلوت و بدون مسافر (N) برای کاهش زمان سفر خط اتوبوسرانی، حذف ایستگاه‌ها در شبیه‌سازی این سناریوها، به صورت شکل‌های ۱۲ تا ۱٤ انجام شد. همچنین نتایج شبیه سازی به صورت جدول ۷ و شکل ۱۵ بدست آمد. نتایج نشان می‌دهد که کاهش تعداد ایستگاه‌های توقف در ساعت اوج ترافیک، تأثیر مناسب و قابل توجهی (۲۳ ثانیه در هر کیلومتر پیمایش اتوبوسرانی) بر روی کاهش زمان سفر ناوگان اتوبوسرانی می‌گذارد.



شکل ۱۲. شماره بندی تمام ایستگاه‌های خط اتوبوسرانی مورد مطالعه



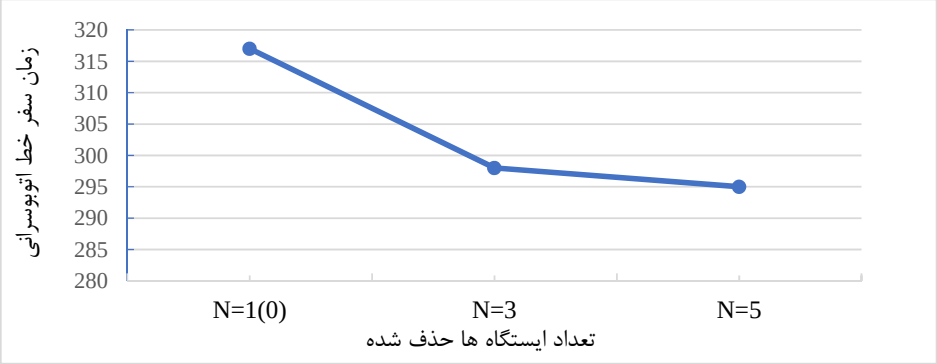
شکل ۱۳. شماره‌بندی تمام ایستگاه‌های خط اتوبوسرانی مورد مطالعه با در نظر گرفتن N=3



شکل ۱۴. شماره بندی تمام ایستگاه‌های خط اتوبوسرانی مورد مطالعه با در نظر گرفتن N=5

جدول ۷. تغییرات زمان سفر در سناریوهای مختلف در اثر تغییر در حذف هوشمند تعداد ایستگاه‌ها

سناریوها	حالت پایه N=18	حذف۳ ایستگاه N=3	حذف۵ ایستگاه N=5
مقدار زمان سفر (ثانیه در هر کیلومتر)	۳۱۷	۲۹۸	**۲۹۵**



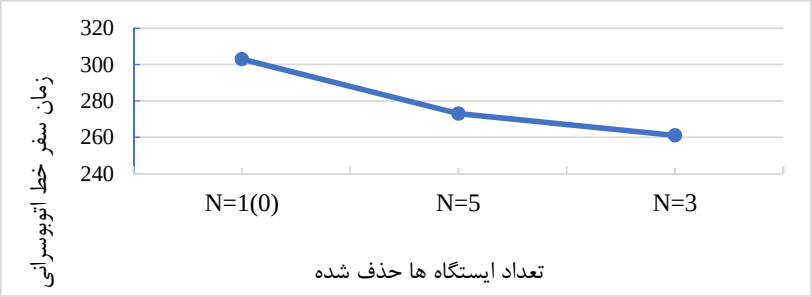
شکل۱۵. مقایسه تغییرات زمان سفر تحت اثر تغییرات حذف هوشمند تعداد ایستگاه‌ها

۳-٤- شبیه‌سازی در حالت ترکیبی (استفاده از حالت بهینه استفاده از VMS و تغییر در تعداد حذف هوشمند ایستگاه‌ها)

باتوجه به اینکه در سناریوهای استفاده از تابلوهای پیام متغیر خبری (VMS)، حالت بهینه و قابل اجرا، افزایش سرعت تا ۲۷/۵ کیلومتر در ساعت می‌باشد، برای تأثیر توام استفاده از VMS و حذف هوشمند ایستگاه‌ها، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی در این حالت ترکیبی بهبود بیشتر (کاهش زمان سفر) را نسبت به سایر سناریوهای شبیه‌سازی نشان می‌دهد (جدول ۸ و شکل ۹).

جدول۸. تغییرات زمان سفر در سناریوهای مختلف در اثر تغییر در حذف هوشمند تعداد ایستگاه‌ها

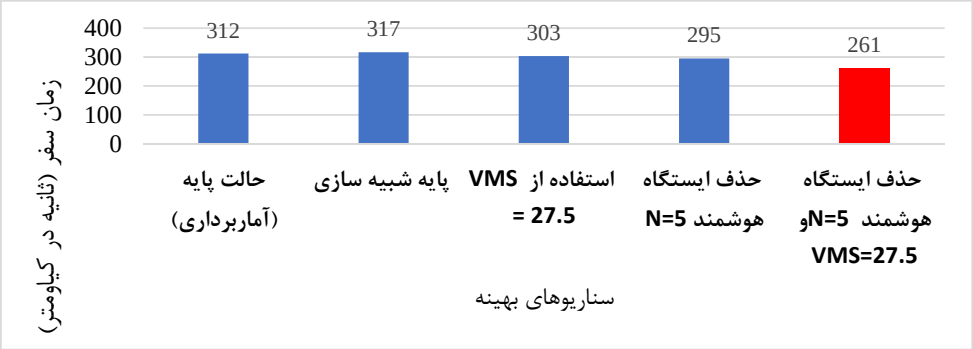
سناریوها	حالت پایه N=18	حذف۳ ایستگاه N=3	حذف۵ ایستگاه N=5
مقدار زمان سفر (ثانیه در هر کیلومتر)	۳۰۳	۲۷۳	۲٦۱



شکل۱٦. مقایسه تغییرات زمان سفر تحت اثر تغییرات حذف هوشمند تعداد ایستگاه‌ها و همچنین استفاده از توام از سناریو بهینه سرعت تابلوی VMS برابر با ۲۷,۵ کیلومتر

٤-۳- مقایسه و تحلیل حالت‌ها و سناریوهای مختلف شبیه سازی

مقایسه پنج سناریو اصلی که به عنوان سناریوهای اصلی شناخته می‌شوند، نشان می‌دهد که باتوجه به آماربرداری‌های انجام شده اتوبوس‌ها به طور میانگین در مدت زمان ۵۲ دقیقه برای مسیر رفت خط اتوبوسرانی (پایانه شهید زین‌الدین- میدان رسالت) زمان سفر خواهند داشت. با تبدیل این مقدار به ثانیه و تقسیم حاصل آن به ۱۰ کیلومتر (طول تقریبی مسیر بر روی نرم‌افزار Google Earth) عددی معادل ۳۱۲ ثانیه در هر کیلومتر بدست می‌آید. برای همین سناریوی پایه بعد از عملیات کالیبراسیون نرم‌افزار شبیه‌ساز AIMSUN، مقدار ۳۱۷ ثانیه بدست آمده و سپس کلیه سناریوهای هوشمند سازی و مدیریتی بر روی خط اتوبوسرانی اعمال شد که نتایج آن را می‌توان در نمودار شکل ۱۷ ملاحظه نمود. مطابق این شکل سناریوی ترکیبی حذف هوشمند ایستگاه‌ها به تعداد ۵ تا در ساعت اوج جریان ترافیک و استفاده از تابلوی پیام متغیر خبری برای افزایش سرعت ناوگان به طور متوسط تا ۲۷,۵ کیلومتر در ساعت، زمان سفر ۲٦۱ ثانیه را نشان می دهد که کمترین مقدار زمان سفر را در بین سناریوهای دیگر ارائه می‌دهد.



شکل ۱۷. مقایسه تغییرات زمان سفر تحت اثر ۵ سناریوی اصلی تعریف شده (هوشمند سازی و مدیریتی)

۳-٤- مدلسازی رگرسیونی پیش بینی زمان سفر خط اتوبوسرانی محل مورد مطالعه

در این قسمت با توجه به اینکه سناریوهای بهینه که دارای کمترین زمان سفر بدست آمده برای خط اتوبوسرانی هستند، شناسایی شدند، مدل سازی رگرسیونی برای بدست آوردن متغیر وابسته زمان سفر از روی متغیرهای مستقل سرعت حرکت ناوگان اتوبوسرانی تحت اثر VMS (V) و تعداد ایستگاه حذف شونده به صورت هوشمند (N)، بدست آمد. رابطه ۱ این مدل دو متغیره خطی را نشان می‌دهد. مطابق با جداول ۹ تا ۱۱، مقدار ضریب تعیین ۰/۸۱، معناداری (P-Value) کمتر از ۰/۰۵ برای سطح اطمینان ۹۵ درصد، بازه‌های مناسبی را برای دقت مدل نشان می‌دهند.

$$\text{Travel Time (TT)} = -2.43(V) - 5.25(N), \quad R^2=0.81 \qquad (۱)$$

جدول ۹. نتایج کلی مدل و ضریب تعیین مدل

Regression Statistics	
Multiple R	0.90
R Square	0.81
Adjusted R Square	0.74
Standard Error	8.84
Observations	9.00

نتایج آزمون‌های t تست و f تست مطابق با جداول زیر بدست آمد.

جدول ۱۰. نتایج تست ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	2.00	1937.29	968.65	12.39	0.01
Residual	6.00	468.93	78.15		
Total	8.00	2406.22			

جدول ۱۱. ضرایب ساخت مدل خطی دو متغیره و نتایج تست اعتبار سنجی آزمون t

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*
Intercept	363.21	16.94	21.44	0.00
V	-2.43	0.72	-3.37	0.02
N	-5.25	1.43	-3.66	0.01

مطالعه موردی انجام پذیرفته بر روی مسیر رفت خط شماره ۳۸۳ اتوبوسرانی شهر تهران درخصوص کاهش زمان سفر بوسیله بهره‌گیری از سیستم‌های حمل و نقل هوشمند مطابق با نتایج شبیه‌سازی و مدل رگرسیونی که جهت اعتبارسنجی ارائه گردیده و نیز نتایج آزمون‌ها، اثری مثبت را نشان می‌دهد.

٤- نتیجه‌گیری

هدف اصلی در این پژوهش بهینه‌سازی زمان سفر اتوبوس‌های عادی با بکارگیری سیستم‌های هوشمند می‌باشد؛ که در نتیجه تحقق آن انتظار می‌رود مسافرین بالقوه به مسافرین بالفعل سیستم اتوبوسرانی تبدیل شده و در واقع مد حمل و نقل عمومی جای مد حمل و نقل با وسیله نقلیه شخصی را بگیرد که درآن‌صورت شاهد کاهش تراکم در معابر شهری، کاهش مصرف سوخت، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، کنترل شبکه اتوبوسرانی، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری شبکه در بلندمدت، استفاده از معیارها و شاخص‌های سیستم حمل و نقل هوشمند در شبکه اتوبوسرانی و نیز افزایش قابلیت اعتماد به اتوبوسرانی خواهیم بود. در ادامه ۵ حالت شبیه‌سازی آورده شده است. حالت پایه صرفاً برای کالیبراسیون مورد استفاده قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که زمان سفر به میزان ۳۱۷ ثانیه در هر کیلومتر بدست می‌آید که در مقایسه با حال

برداشت میدانی تنها ۵ ثانیه بیشتر خواهد بود (حالت میدانی ۳۱۲ ثانیه می‌باشد). اختلاف ۱/۵۷ درصدی نشان از کالیبراسیون مورد قبول در این تحقیق را دارد. لازم به ذکر است که در این سناریو سرعت حرکت ناوگان خط اتوبوسرانی با توجه به برداشت‌های میدانی و داده‌های شرکت اتوبوسرانی ۱۷/۵ کیلومتر در ساعت در ساعت اوج در نظر گرفته شد. نتایج شبیه سازی در حالت استفاده از کارت بلیت‌های الکترونیکی نشان می‌دهد که با الزام استفاده تمامی مسافران از کارت بلیط الکترونیک و یا پرداخت پول با استفاده از QR code مقدار توقف در ایستگاه‌ها را می‌تواند ٤٠ درصد کاهش دهد. بنابراین مدت زمان میانگین توقف در هر ایستگاه از ٦٠ ثانیه به ٣٦ ثانیه کاهش پیدا کرد. با این فرض و ورود آن به شبیه سازی مشاهده می‌شود که زمان سفر ناوگان از ۳۱۷ ثانیه در حالت پایه به ۳۰٤ ثانیه در هر کیلومتر کاهش پیدا می‌کند. با این نتایج کاهش زمان سفر ٤/١ درصدی را می توان مشاهده کرد. در حالت استفاده از تابلوهای پیام متغیر خبری (VMS) برای رانندگان که به ٤ زیر سناریو تبدیل شد، با فرض اینکه استفاده از تابلوهای پیام متغیر خبری در بلند مدت هم برای رانندگان اتوبوسرانی و هم سایر وسایل نقلیه باعث افزایش سرعت خط اتوبوسرانی شود. به ترتیب با در نظر گرفتن سرعت اتوبوس‌ها برابر ۲۲/۵، ۲۷/۵ و ۳۲/۵ کیلومتر در ساعت مقادیر زمان سفر معادل ۳۰۷،۳۰۳ و ۳۰۲ ثانیه در هر کیلومتر نتیجه می‌شود که نسبت به سناریو پایه که با سرعت ۱۷/۵ کیلومتر در ساعت بدست آمده بود به ترتیب ۳/۱ درصد، ٤/٤ درصد و ۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد. با توجه به اجرایی شدن موضوع سرعت حداکثر با میانگین ۲۷/۵ کیلومتر در ساعت را برای این مسیر می توان متصور بود.

در حالت حذف هوشمند ایستگاه‌های خلوت خط اتوبوسرانی که شامل دو زیر سناریوی دیگر می‌شود با نصب دوربین در هر ایستگاه برای مرکز کنترل ناوگان در صورت تشخیص خالی بودن ایستگاه از مسافر پیام خالی بودن ایستگاه برای راننده صادر می‌شود. برای بررسی اثرگذاری حذف ایستگاه‌ها به صورت هوشمند دو سناریو یکبار با حالت حذف ۳ و یکبار با حالت حذف ۵ در نظر گرفته شد. خروجی‌های شبیه سازی به ترتیب زمان سفرهای ۲۹۸ و ۲۹۵ ثانیه در هر کیلومتر را نشان می دهد. این بدان معناست که به ترتیب ٦ و ۹،۸ درصد کاهش در زمان سفر اتفاق افتاده است. با توجه به سناریو های مربوط به حالت چهارم و حالت سوم این نتیجه برآورد شد که زیر سناریوهای بهینه برای هردو حالت شناسایی و تأثیر توام آن‌ها وارد شبیه سازی گردد. برای این منظور حالت حذف ایستگاه به صورت هوشمند(حذف ۵ ایستگاه) و حالت استفاده از تابلوی پیام متغیر خبری (برای سرعت ۲۷/۵کیلومتر در ساعت) در این حالت استفاده گردید. نتایج شبیه‌سازی در این حالت نشان می‌دهد که زمان سفر از ۳۱۷ ثانیه به ۲٦۱ ثانیه کاهش قابل توجهی (۱۷/۷ درصد) خواهد یافت.

بررسی ۵ حالت کلی نشان داده است که اعمال توام دو راهکار حذف هوشمند ایستگاه ها و استفاده از تابلوی پیام متغیر خبری می‌تواند به لحاظ عملکرد ناوگان اتوبوسرانی در شبیه‌سازی زمان سفر را کاهش دهد به همین منظور مدل رگرسیون خطی دو متغیره برای محاسبه زمان سفر از روی دو پارامتر مستقل N و V بدست می آید، که این مدل می‌تواند برای حالت‌های مختلف جایگشت حذف ایستگاه‌ها بدون نیاز به زمان و هزینه برای ساخت شبیه‌سازی و برداشت‌های میدانی استفاده قرار گیرد.

۵- مراجع

-Abdi, A., Mosadeq, Z., & Bigdeli Rad, H., (2020). Prioritizing Factors Affecting Road Safety Using Fuzzy Hierarchical Analysis. *Journal of Transportation Research*, 17(3), 33-44.

-Afandizadeh Zargari, S., Bigdeli Rad, H., & Shaker, H., (2019). Using Optimization and Metaheuristic Method to Reduce the Bus headway (Case Study: Qazvin Bus Routes). *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, 10(4), 833-849.

-Afandizadeh, S., & Bigdeli Rad, H., (2021). Developing a Model to Determine the Number of Vehicles Lane Changing on Freeways by Brownian Motion Method. *Nonlinear Engineering*, 10(1), 450-460.

-Alsobky, A., Hrkút, P., & Mikušová, M., (2018). A Smart Application for University Bus Routes Optimization. In Intelligent Transport Systems–From Research and Development to the Market Uptake: First International Conference, INTSYS 2017, Hyvinkää, Finland, November 29-30, 2017,

-Iliopoulou, C., & Kepaptsoglou, K., (2019). Combining ITS and Optimization in Public Transportation Planning: State of the Art and Future Research Paths. *European Transport Research Review*, 11(1), 1-16.

-Jenelius, E., (2018). Public Transport Experienced Service Reliability: Integrating Travel Time and Travel Conditions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 117, 275-291.

-Milkovits, M. N., (2008). Modeling the Factors Affecting Bus Stop Dwell Time: Use of Automatic Passenger Counting, Automatic Fare Counting, and Automatic Vehicle location Data. *Transportation Research Record*, 2072(1), 125-130.

-Nikitas, A., Michalakopoulou, K., Njoya, E. T., & Karampatzakis, D., (2020). Artificial Intelligence, Transport and the Smart City: Definitions and Dimensions of a New Mobility Era. *Sustainability*, 12(7), 2789.

-Saharan, S., Bawa, S., & Kumar, N., (2020). Dynamic Pricing Techniques for Intelligent Transportation System in Smart Cities: A Systematic Review. *Computer Communications*, 150, 603-625.

-Shalaby, A., & Farhan, A., (2004). Prediction Model of Bus Arrival and Departure Times Using AVL and APC Data. *Journal of Public Transportation*, 7(1), 41-61.

-Wan, S., Xu, X., Wang, T., & Gu, Z., (2020). An Intelligent Video Analysis Method for Abnormal Event Detection in Intelligent Transportation Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(7), 4487-4495.

-Yan, J., Liu, J., & Tseng, F. M., (2020). An Evaluation System Based on the Self-Organizing System Framework of Smart Cities: A Case Study of Smart Transportation Systems in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 153, 119371.

-Zhang, W., Xia, D., Liu, T., Fu, Y., & Ma, J., (2021). Optimization of Single-line Bus Timetables Considering Time-dependent Travel Times: A Case Study of Beijing, China. *Computers & Industrial Engineering*, 158, 107444.

Proceedings 1 (pp. 12-20). *Springer International Publishing.*

-Ameri, A., Bigdeli Rad, H., Shaker, H., & Ameri, M., (2021). Cellular Transmission and Optimization Model Development to Determine the Distances Between Variable Message Signs. *Journal of Transportation Infrastructure Engineering*, 7(1), 1-16.

-Arena, F., Pau, G., & Severino, A., (2020). A Review on IEEE 802.11 p for Intelligent Transportation Systems. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 9(2), 22.

-Bargegol, I., Ghorbanzadeh, M., Ghasedi, M., & Rastbod, M., (2017, October). Evaluation of Effective Factors on Travel Time in Optimization of Bus Stops Placement Using Genetic Algorithm. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 245, No. 4, 042002-042003. *IOP Publishing.*

-Chen, C., Liu, B., Wan, S., Qiao, P., & Pei, Q., (2020). An Edge Traffic Flow Detection Scheme Based on Deep learning in an Intelligent Transportation System. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(3), 1840-1852.

-Chen, M., Liu, X., Xia, J., & Chien, S. I., (2004). A Dynamic Bus-Arrival Time Prediction Model Based on APC Data. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 19(5), 364-376.

-Galkin, A., & Sysoyev, A., (2020). Formalizing Criteria of Intelligent Transportation and logistics systems functioning. *Transportation Research Procedia*, 45, 514-521.

-Guerrero-Ibáñez, J., Zeadally, S., & Contreras-Castillo, J., (2018). Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems. *Sensors*, 18(4), 1212.

-Haddad Moghaddam, H., & Dideban, A., (2018). Optimization of Urban Public Transport Travel Times Using Petri Nets Modeling. *Journal of Modeling in Engineering*, 16(54), 83-93.

-Hajisoleimani, M. M., Abdi, A., & Bigdeli Rad, H., (2021). Intermodal Non-Motorized Transportation Mode Choice; Case Study: Qazvin City. *Space Ontology International Journal*, 10(3), 31-46.

Travel Time Optimization Model in Public Bus Transportation by Using ITS

Shahriar Afandizadeh, Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Zahra Zaheiri Bidhendi, M.Sc., Student, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

Hamid Bigdeli Rad, Ph.D., Candidate, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: zargari@iust.ac.ir

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

The development of roads to meet the demand of cities has lost its efficiency in the modern world. Experts have found a solution to traffic problems, managing travel demand and increasing the efficiency of the transportation system. One of the ways to increase the efficiency of the transportation system is to use intelligent transportation systems. In this research, the causes of dissatisfaction of bus passengers are determined by a questionnaire, so that appropriate smart solutions can be selected based on that; Then, information is collected through Tehran Bus Company and field observations, and the current state of the network is calibrated using the information available in the pedestrian simulator software and according to the field observations. Finally, scenarios are defined to reduce delays and, as a result, reduce bus travel time. The proposed scenarios are simulated in the software. In this study, the impact of ITS as a tool to reduce bus travel time has been investigated. By intelligently removing stops at undemanding stations, using variable message signs (VMS) for drivers to increase speed, and eliminating cash fare payment, travel time can be saved by 9.8, 4.4 and 4.1 percent, respectively. The results obtained from this research show that by combining the two scenarios of intelligent elimination of stops at stations with no demand and the use of VMS signs to increase the speed, the bus travel time on the desired line from 317 seconds per kilometer to 261 seconds per kilometer. (17.7 percent) decreases.

Keywords: Public Transportation Travel Time, Bus System Upgrade, Intelligent Transportation System, Optimization Model