ive of SID

شبیه‌سازی سناریومحور عملکرد خطوط سامانه اتوبوس‌های تندرو

(مقاله پژوهشی)

اشکان کیهانی[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۸ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۶**

چکیده

با توجه به آثار معضل ترافیک شهری بر ابعاد مختلف زندگی شهروندان، سیاست‌گذاری برای کنترل ترافیک اهمیت فراوانی دارد. سامانه اتوبوس‌های تندرو یک سیستم حمل‌ونقل سریع با عملکرد بالا و انعطاف‌پذیر است. ازآن‌جاکه اجرای سیاست‌های ترافیکی نیازمند به‌صرف هزینه و زمان زیادی است، حصول اطمینان از کارکرد صحیح این سیاست‌ها قبل از اجرا بسیار ضروری است و شبیه‌سازی رایانه‌ای یکی از رایج‌ترین و محبوب‌ترین راه‌ها جهت حصول اطمینان از کارکرد این سیاست‌ها است. این تحقیق با ایجاد یک مدل شبیه‌سازی میکروسکوپی ترافیک از خط ۱ سامانه اتوبوس‌های تندروی تهران و اعتبارسنجی آن به پیاده‌سازی این طرح‌ها و ایده‌ها در قالب دو سناریوی مختلف بر روی این مدل پرداخته است. نتایج پژوهش نشان داد که از نظر قابلیت اطمینان، استفاده از زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی و رانندگی باعث ایجاد بهبود نسبی در سیستم اولویت‌دهی در تقاطع‌ها بر عملکرد خط ۱ سامانه اتوبوس‌های تندرو تهران در طول خیابان‌های دماوند، انقلاب و آزادی می‌شود.

کلیدواژه‌ها: اتوبوس‌های تندرو، شبیه‌سازی ترافیک، اولویت‌دهی در تقاطع‌ها، نرم‌افزار AIMSUN، سرفاصله زمانی.

۱. کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گرایش آینده پژوهی، دانشگاه علوم و فنون مازندران،
ashkan_kihani@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

موضوع حمل‌ونقل ترافیک به‌عنوان یک پدیده سیاسی- اجتماعی نقش بسیار مهمی در توسعه پایدار یک جامعه در حال رشد ایفا می‌کند. حمل‌ونقل شهری بخشی از کل یک سامانه حمل‌ونقل است که هدف اساسی آن دسترسی آسان و راحت شهروندان در محدوده شهر است (هوانگ و تانگ، لی، ژو و آی[1]، ۲۰۰۸: ۱۰۲۹). با توجه به آثار معضل ترافیک شهری بر ابعاد مختلف زندگی شهروندان سیاست‌گذاری برای کنترل ترافیک اهمیت فراوانی دارد. از آن‌جاکه اجرای سیاست‌های ترافیکی نیازمند به‌صرف هزینه و زمان زیادی است، حصول اطمینان از کارکرد صحیح این سیاست‌ها قبل از اجرا بسیار ضروری است و شبیه‌سازی رایانه‌ای یکی از رایج‌ترین و محبوب‌ترین راه‌ها جهت حصول اطمینان از کارکرد این سیاست‌ها است. هم‌چنین با استفاده از ابزار شبیه‌سازی رایانه‌ای می‌توان با اقدام به شناسایی و رفع گلوگاه‌های موجود در سامانه‌های ترافیکی، بهره‌وری و اثربخشی تجهیزات و امکانات موجود را به حداکثر رساند (افندی‌زاده، معمارنژاد و دهقانی، ۱۳۹۳). سامانه اتوبوس‌های تندرو یک روش سریع حمل‌ونقل همگانی است که با به‌کارگیری ایستگاه‌ها، وسایل‌نقلیه چرخ لاستیکی، برنامه سرویس‌دهی، مسیرهای حرکتی و سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند[2] در یک سیستم ترکیبی، یک مجموعه قدرتمندی را برای جابه‌جایی مناسب مسافران تشکیل می‌دهد. اجزای سامانه اتوبوس‌های تندرو با نوع محل به‌کارگیری آن قابل تطبیق است و این سیستم می‌تواند در مناطق گوناگون به‌صورت مناسب اجرا شود (فلفلانی و صفاریان، ۱۳۹۴).

اخیراً استفاده از ابزار شبیه‌سازی جریان ترافیک به‌عنوان یکی از روش‌های مفید مدیریت، کنترل، تصمیم‌گیری و انتخاب راهبرد بهینه در جهت بهبود ترافیک، روزبه‌روز بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد؛ بنابراین شناخت عمیق مدل‌های به‌کاررفته در شبیه‌سازی رایانه‌ای ضرورت دارد و عدم درک صحیح از این‌گونه مدل‌ها ممکن است

1. Huang, Tang, Li, Zhu & Ai
2. ITS (intelligent Transportation Systems)

www.SID.ir

ive of SID

منجر به استفاده نامناسب و تولید نتایج نادرست شود (بهبهانی، ندیمی و علوی، ۱۳۹۰). شبیه‌سازی جریان ترافیک یکی از ابزارهایی است که می‌تواند برای تخصیص کارآمد فضای راه‌ها، کاهش آلودگی در شهرها، افزایش ایمنی در جاده‌ها و جهت توجه نیازمندی‌های استفاده‌کنندگان در مراحل تصمیم‌گیری به‌کار گرفته شود. هم‌اکنون این فکر، فراگیر شده است که اگر پیش از پیاده‌سازی تصمیمات در زمینه مدیریت ترافیک آنها را شبیه‌سازی کنیم، هزینه کمتری به‌همراه خواهد داشت. به کمک شبیه‌سازی شبکه معابر می‌توان از صرف وقت و هزینه زیاد جلوگیری کرده و امکان بروز اشتباه‌ها را کم کرد. امروزه تصمیم‌گیران به اهمیت شبیه‌سازی از جهت نمایش واقعی وضعیت ترافیک پی برده‌اند (پورسولا[1]، ۱۹۹۹). با توجه به این‌که سفرهای سریع درون‌شهری مدنظر مسافران است، لیکن سفرهای سریع همراه با کاهش ترافیک مدنظر کارشناسان امر است. در نتیجه متخصصان امر باید راه‌حل‌هایی را مورد توجه قرار دهند که از نظر مسافران، زمان سفر، دسترسی و سایر شاخص‌ها عملکرد مطلوبی داشته باشند و از نظر کارشناسان، کاهش ترافیک که خود موجب کاهش آلایندگی و ... است را در پی داشته باشد. هدف این مطالعه، ارائه راه‌کارهایی است که با کمترین تأثیر بر ترافیک خودروهای شخصی، عملکرد خطوط سامانه اتوبوس‌های تندرو را بهبود بخشد. این پژوهش به‌دنبال یافتن پاسخ برای این سوال است که آیا سیستم اولویت‌دهی در تقاطع‌ها بر میانگین سرعت حرکت اتوبوس‌ها و زمان طی مسیر تأثیر خواهد داشت؟

پیشینه و مبانی نظری تحقیق

سامانه اتوبوس‌های تندرو یک مدل سامانه‌های حمل‌ونقل سریع انعطاف‌پذیر، با کارآیی بالا که از اجزای مختلف فیزیکی، عملیاتی و عناصر سیستمی که به‌صورت دائم یک‌پارچه و دارای یک سطح کیفیت مشخص هستند و به‌صورت یک واحد منحصربه‌فرد شناخته می‌شوند. اجزای اصلی سامانه اتوبوس‌های تندرو از: مسیر ویژه اتوبوس،

1. pursula

www.SID.ir

Archive of SID

ایستگاه‌های اختصاصی، اتوبوس مناسب، سامانه پرداخت بلیت (پرداخت بلیت در زمان ورود به ایستگاه انجام می‌شود) تشکیل شده است (دیاز[1]، ۲۰۰۴). سیستم اولویت‌دهی در تقاطع‌ها یک راهبرد عملیاتی است که با هدف کاهش هزینه سفر ایجاد شده است. در نوع ساده این سیستم که اولویت‌دهی تأثیرپذیر[2] نامیده می‌شود، عملیات‌های اولویت‌دهی به‌صورت پیوسته و براساس اطلاعات موجود از شرایط ترافیکی مسیر و پارامترهای موجود انجام می‌شود. در این نوع از اولویت‌دهی، نیازی به سیستم‌های جمع‌آوری داده یا هیچ نوع سخت‌افزار و نرم‌افزار خاص و ویژه‌ای نیست. هم‌چنین این نوع از اولویت‌دهی در زمانی‌که جریان ترافیک قابل پیش‌بینی باشد، بسیار مؤثر خواهد بود. روش کلی در این سیستم بر این اساس است که با تشخیص زمان عبور اتوبوس از تقاطع در صورت قرمز بودن چراغ، وضعیت چراغ را به نفع اتوبوس تغییر می‌دهیم. برای اجرای سیستم اولویت‌دهی در فاصله مناسبی قبل از تقاطع ابزار تشخیص‌دهنده‌ای جهت تشخیص عبور اتوبوس و محاسبه زمان رسیدن اتوبوس به تقاطع تعبیه می‌شود. پس از عبور اتوبوس از مقابل این دستگاه و محاسبه زمان عبور اتوبوس از تقاطع موردنظر در صورت قرمز بودن، چراغ در زمان رسیدن اتوبوس به تقاطع، وضعیت چراغ به نفع اتوبوس تغییر کرده و سبز می‌شود. برای دادن اولویت سه روش چرخش فاز، تقسیم فاز و گسترش زمان چراغ سبز وجود دارد که در این مدل از روش گسترش زمان چراغ سبز استفاده شده است (ما و یانگ[3]، ۲۰۰۷: ۴۱۶). می‌توان برای افزایش سرعت و قابلیت اطمینان در زمان‌بندی حرکت اتوبوس‌ها از روش زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی و رانندگی استفاده کرد. در این روش، هیچ تغیری در نسبت زمان فاز سبز و قرمز چراغ‌ها ایجاد نمی‌شود، هم‌چنین در زمان رسیدن اتوبوس‌ها به تقاطع نیز تغییری در عملکرد چراغ‌ها ایجاد نمی‌شود، در این روش، فقط زمان‌بندی اجرای فازها به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که فاصله زمانی بین دو تقاطع به‌اندازه اختلاف‌زمانی شروع فاز سبز

1. Diaz
2. passive TSP
3. Ma & Yang

www.SID.ir

ive of SID

باشد؛ یعنی وقتی اتوبوس در تقاطع اول از چراغ سبز عبور می‌کند، در زمان رسیدن به تقاطع بعدی نیز با چراغ سبز مواجه شود. برای این امر لازم است سیکل چراغ‌ها در دو تقاطع برابر باشد و اختلاف‌فاز آنها به‌اندازه زمان لازم جهت طی مسافت بین دو تقاطع باشد. اجرای این طرح در تقاطع‌های شلوغ و پر رفت‌وآمد مشکلی ایجاد نمی‌کند، زیرا فقط لازم است زمان فاز چراغ‌ها مدیریت شود و زمان سیکل تقاطع‌ها یکسان شود که این امر اخلالی در عملکرد چراغ ایجاد نمی‌کند (ژائو و زنگ[1]، ۲۰۰۶: ۷۱۲).

اصفهانی و حیدری (۱۳۹۷)، به بررسی وضع موجود اتوبوس‌های تندرو، پیشنهادهای هوشمندسازی، ارزیابی و اولویت‌بندی آنها پراختند. نتایج پژوهش نشان داد که چراغ‌های هوشمند در راس وزن‌دهی قرار داشته و اطلاع از محل اتوبوس، شارژ هوشمند بلیط، اطلاع از تعداد مسافران و محاسبه عادلانه کرایه، در رده‌های بعدی قرار دارند. فائزی و ساسانی (۱۳۹۸)، به ارزیابی عملکرد سیستم اتوبوس تندرو (بی‌آرتی) پراختند. نتایج پژوهش نشان داد از میان ۲۳ معیار شناسایی‌شده، ده معیار در عملکرد بی‌آرتی موثر است که مهم‌ترین معیار، ازدحام جمعیت با وزن (۰/۲۵۹) است. در بین معیارهای مورد بررسی، معیارهای سرفاصله زمانی با وزن (۰/۲۲۵)، زمان سفر با وزن (۰/۱۸۴) در اولویت بعدی قرار گرفت.

ابدی و هلینگا[2] (۲۰۱۱) مدلی برای تخمین میزان اثرگذاری سیستم اولویت‌دهی در تقاطع‌ها ارائه دادند. این مدل، تقاطع‌ها را به‌صورت جداگانه بررسی می‌کند. اگرچه این مدل نسبت به وضعیت خیابان بر روی زمان رسیدن اتوبوس حساس است ولی توانایی بررسی تأثیر اجرای سیستم اولویت‌دهی در تقاطع (TSP[3]) را در تقاطع بعدی ندارد. مارتین و زلاتکویچ[4] (۲۰۱۰) معتقدند سیستم اولویت‌دهی در تقاطع، معمولاً برای پشتیبانی از سامانه اتوبوس‌های تندرو مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیستم باعث

1. Zhao & Zeng
2. Abdy & Hellinga
3. Transit Signal Priority (TSP)
4. Martin & Zlatkovic

www.SID.ir

Archive of SID

ایجاد اولویت برای اتوبوس‌های این سامانه در تقاطع‌های چراغ‌دار می‌شود. از طرف دیگر دادن اولویت به یک مسیر، باعث ایجاد ترافیک در مسیر مقابل می‌شود و ایجاد یک تعادل بهینه بین سیستم حمل‌ونقل عمومی و ترافیک خودروهای شخصی برای هر سیستم اولویت‌دهی در تقاطع بسیار ضروری است. پیتر مارتین و همکارش در این مطالعه بین گسترش و جلو انداختن فاز سبز از یک‌طرف و چرخش فاز سبز از طرف دیگر مقایسه‌ای انجام می‌دهد و به‌وسیله شبیه‌سازی نشان می‌دهد چرخش یا جلو انداختن فاز سبز اثر بیشتری دارد. زلاتکویچ و مارتین[1] (۲۰۱۵) یک نرم‌افزار برای شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل اجرای سیستم اولویت‌دهی بر روی سامانه اتوبوس‌های تندرو ارائه دادند. دو مزیت خاص در این نرم‌افزار ایجاد شد؛ این نرم‌افزار بر پایه ویژگی‌های سیستم اولویت‌دهی در تقاطع‌ها ایجاد شده و کنترلر آن بر پایه راهبرد اولویت‌دهی پیش‌بینی‌شده عمل می‌کند. این نرم‌افزار توانایی ارائه راهبردهای کنترل ترافیکی فراتر از حد استاندارد را دارد. هدف اصلی این مطالعه، ارائه نرم‌افزاری است که به‌صورت هم‌زمان اطلاعات را از کنترلرهای ترافیکی دریافت کند و پس از شبیه‌سازی ترافیک، بهینه‌ترین حالت ممکن را برای کنترلرهای ترافیکی ارسال کند و از این‌جهت دارای نوآوری بسیار ارزشمندی است. بی، لی و لو[2] (۲۰۱۱) یک روش کنترل سیستم اولویت‌دهی در تقاطع‌ها با استفاده از منطق فازی را ارائه دادند. در روش آنها، کنترل طول صف به‌عنوان ورودی کنترلر فازی انتخاب شده است؛ قواعد کنترلر فازی و ساختار آن بر پایه میزان تأخیر خودروها ایجاد شده است. در این مطالعه، شبیه‌سازی برای مقایسه بین میزان تأخیر در روش جدید و سنتی در شرایط پراکندگی زمان رسیدن به تقاطع مطرح شده است و نتایج آزمایش نشان می‌دهد که روش کنترل پیشنهادشده می‌تواند تأخیر اتومبیل‌ها را در تقاطع به‌طور موثرکاهش دهد. آنکورا، نلی و پترلی[3] (۲۰۱۲) با استفاده از ابزار شبیه‌سازی گسسته پیش‌آمد یک مدل میکروسکوپی برای

1. Zlatkovic & Martin
2. Bi, Li & Lu
3. Ancora, Nelli & Petrelli

www.SID.ir

ive of SID

بررسی تأثیر سیستم اولویت‌دهی در تقاطع‌ها بر روی ظرفیت و قابلیت اطمینان سامانه اتوبوس‌های تندرو ارائه کردند که در آن، جهت ارزیابی ظرفیت و قابلیت اطمینان از میانگین و واریانس زمان کل سفر و میانگین سرعت و تعداد مسافران جابه‌جاشده استفاده شده است. هم‌چنین درصد استفاده‌شده از فضای اتوبوس نیز در ارزیابی‌ها مدنظر قرار گرفته است. البته در اکثر موارد به‌علت ماهیت پویای مسائل ترافیک، از شبیه‌سازی داینامیک برای شبیه‌سازی‌های ترافیکی استفاده می‌شود و استفاده از شبیه‌سازی گسسته پیشامد یکی از ضعف‌های اصلی این مطالعه است. هم‌چنین از نقاط ضعف دیگر این مطالعه می‌توان به عدم توجه به ترافیک خودروهای شخصی تأثیر این فرض بر روی نتایج مدل ارائه‌شده اشاره کرد. کیم، پارک و چون[1] (۲۰۱۲) در این مقاله یک دیدگاه اولویت‌دهی چندجانبه را مطرح می‌کنند و نتایج به‌کارگیری راهبردهای مختلف اولویت‌دهی را در شرایط مختلف شبکه با استفاده از ابزار شبیه‌سازی تجزیه‌وتحلیل می‌کنند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد این روش برای شبکه‌های متمرکز مؤثر بوده ولی ممکن است اثر منفی بر روی سایر جریان‌های ترافیکی داشته باشد. یانگ، وانگ و سان[2] (۲۰۱۲) یک راهبرد اولویت‌دهی در تقاطع ارائه داده‌اند که با توجه به یک چرخه قبل از رسیدن اتوبوس به تقاطع سعی در تنظیم فاز چراغ راهنمایی دارد. نتایج اجرای این راهبرد در مدل شبیه‌سازی‌شده یک خط اتوبوس تندرو در چین نشان می‌دهد این روش ضمن اولویت‌دهی به حمل‌ونقل عمومی در تقاطع‌ها تأثیر منفی کمتری بر روی ترافیک خودروهای شخصی دارد. سان، لو و وو[3] (۲۰۱۳) سامانه اولویت‌دهی در تقاطع‌ها را یکی از مهم‌ترین مباحث حمل‌ونقل هوشمند معرفی می‌کنند که هدف آن ایجاد اولویت برای سامانه‌های حمل‌ونقل عمومی است. آنها ضمن معرفی فنون پیشرفته استفاده از سیستم تشخیص شئ در حمل‌ونقل هوشمند یک الگوریتم تشخیص اتوبوس خودکار ارائه کرده و آن را بر روی سیستم اولویت‌دهی در تقاطع‌ها

1. Kim, Park & Chon
2. Yang, Wang & Sun
3. Sun, Lu & Wu

www.SID.ir

Archive of SID

اعمال کردند. ما، لیو و هان[1] (۲۰۱۴) بر روی یک‌پارچه‌سازی عملیات کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی و سرعت اتوبوس‌ها جهت ایجاد اولویت‌بندی در تقاطع‌ها تمرکز کردند. در اکثر کارهای قبلی سرعت اتوبوس به‌عنوان یک متغیر ثابت فرض می‌شود و بهینه‌سازی فقط بر روی زمان‌بندی چراغ انجام می‌شد. تحلیل مطالعات نشان می‌دهد که مدل یک‌پارچه مطرح‌شده باعث کاهش زمان تأخیر اتوبوس‌ها، اصلاح پراکندگی زمان‌بندی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و حداقل‌کردن ترافیک عمومی می‌شود؛ هم‌چنین تجزیه و تحلیل‌های بیشتر نشان از پتانسیل دیدگاه مطرح‌شده برای اعمال سیستم اولویت‌دهی در تقاطع‌ها تحت ترافیک و تقاضاهای متفاوت است.

در اغلب مطالعات انجام‌شده، شاخص‌هایی مانند زمان انتظار، تعداد مسافران جابه‌جاشده و ... مورد توجه قرار گرفته و به شاخص‌هایی که نشان‌دهنده قابلیت اطمینان مثل پراکندگی در توزیع آماری سرفاصله زمانی بین اتوبوس‌ها و فرکانس ورود اتوبوس‌ها به ایستگاه‌های مختلف است، توجه نشده است. از طرف دیگر به زمان رسیدن اتوبوس‌های بعدی به تقاطع موردنظر و وضعیت چراغ راهنمایی در صورت دادن یا ندادن اولویت به اتوبوس حاضر در تقاطع توجه نمی‌شود. ازاین‌رو می‌توان نتیجه گرفت که مطالعات انجام‌شده فاقد یک دیدگاه کل‌نگر به‌کل مسیر سامانه اتوبوس‌های تندرو است و همواره تقاطع‌ها به‌صورت جداگانه مورد بحث قرارگرفته‌اند.

روش تحقیق

بسیاری از سیستم‌های واقعی چنان پیچیده‌اند که حل ریاضی مدل‌هایشان در عمل ناممکن است. در این‌گونه موارد به‌منظور تقلید رفتار سیستم، با گذشت زمان، می‌توان از شبیه‌سازی عددی رایانه‌ای استفاده کرد. با شبیه‌سازی، چنان داده‌هایی فراهم می‌آید که گویی سیستم واقعی را مشاهده می‌کرده‌ایم. از داده‌های به‌وجود آمده از شبیه‌سازی برای واردکردن معیارهای سنجش عملکرد سیستم استفاده می‌کنند.

1. Ma, Liu & Han

www.SID.ir

ive of SID

مدل سامانه: مدل به‌منزله معرف هر سیستم است که به‌منظور بررسی آن تعریف می‌شود. در اکثر بررسی‌ها، در نظر گرفتن همه جزئیات سیستم لازم نیست؛ بدین ترتیب، مدل، نه‌تنها جانشینی برای سیستم است، بلکه ساده‌سازی سیستم نیز هست. مدل ارائه‌شده در این تحقیق شامل دو زیرمدل است، مدل ترافیکی با نرم‌افزار AIMSUN و مدل ریاضی با نرم‌افزار MATLAB و نحوه عملکرد مدل در نمودار شماره ۱ نشان داده شده است.

نمودار شماره ۱- مدل ریاضی تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار AIMSUN: در این مرحله، هدف ایجاد مدلی با قابلیت پیاده‌سازی فرضیه‌های مورد بحث در این مطالعه برای ارزیابی آنها است. با توجه به خردنگر بودن متغیرهای مورد بحث در این مطالعه از مدل میکروسکوپی شبیه‌سازی ترافیک استفاده شده است.

الف) مطالعه موردی بر روی خط یک سامان اتوبوس‌های تندروی تهران: در این تحقیق با انجام مطالعه موردی بر روی خط ۱ سامانه اتوبوس‌های تندروی تهران اثرات اجرای فرضیه‌های این مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرد. مسیر حرکت اتوبوس‌های تندرو شهر تهران در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.

شکل ۱- سیر حرکت خطوط اتوبوس‌های تندرو شهر تهران

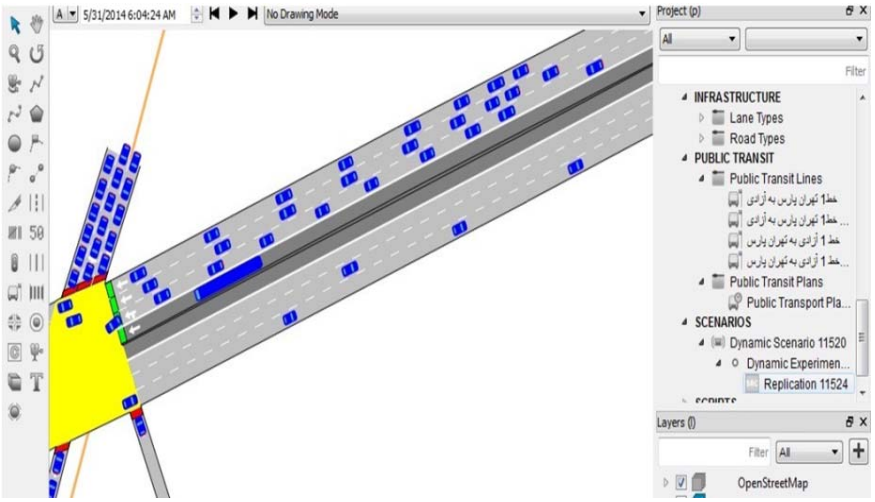
خط ۱ سامانه اتوبوس‌های تندروی تهران که در شکل شماره ۱ با رنگ قرمز مشخص شده است، در طول خیابان‌های دماوند، انقلاب و آزادی قرار دارد. این خط به طول ۱۸ کیلومتر در امتداد شرقی- غربی برخی از شلوغ‌ترین میدان‌ها و چهارراه‌های تهران مثل میدان آزادی، میدان انقلاب، چهارراه ولیعصر، میدان فردوسی، میدان امام‌حسین و سه‌راه تهران‌پارس را به یکدیگر متصل می‌کند. این خط ۱۸ تقاطع هم‌سطح، ۲۷

www.SID.ir

ive of SID

ایستگاه در مسیر حرکت به سمت شرق و ۲۶ ایستگاه در مسیر حرکت به سمت غرب را شامل می‌شود. در طول ۱ روز کاری حدود بیش از ۲۵۰،۰۰۰ مسافر به‌وسیله این خط جابه‌جا می‌شوند. تمام طول این مسیر به‌جز تقاطع‌های هم‌سطح، پل‌ها و میدان‌ها برای اتوبوس‌ها به‌صورت اختصاصی است و به‌همین دلیل سرعت حرکت اتوبوس‌ها تقریباً یکنواخت است، لیکن به‌دلیل وجود چراغ‌قرمزهای طولانی، ترافیک در تقاطع‌ها، مدت‌زمان توقف نامشخص در ایستگاه‌ها و توزیع نامنظم فاصله زمانی ارسال اتوبوس به خط باعث عدم وجود یک سرفاصله زمانی یکنواخت بین اتوبوس‌ها در طول مسیر می‌شود، به‌طور مثال، برای مدت ۵ دقیقه، هیچ اتوبوسی وارد ایستگاه نمی‌شود و بعد ۲ اتوبوس به‌صورت هم‌زمان به ایستگاه می‌رسند، این اتفاق نیز باعث افزایش میانگین زمان انتظار و تراکم بیش از اندازه در بعضی از اتوبوس‌ها می‌شود.

ب) مدل اولیه: در این مرحله، هدف، ایجاد مدلی با قابلیت پیاده‌سازی فرضیه‌های مورد بحث در این مطالعه برای ارزیابی آنها است. با توجه به خردنگربودن متغیرهای مورد بحث در این مطالعه از مدل میکروسکوپی شبیه‌سازی ترافیک استفاده شده است.



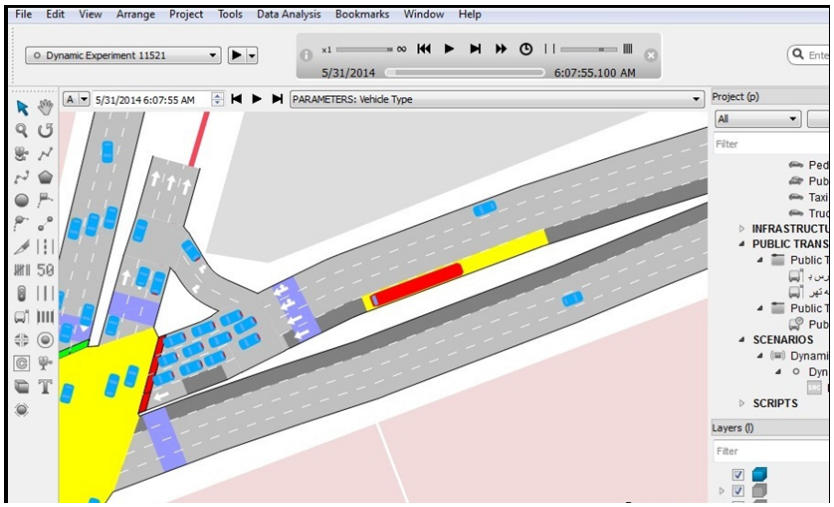
شکل شماره ۲- مسیر حرکت

www.SID.ir

Archive of SID

در مدل مسیر حرکت (شکل شماره ۲) به ۲ صورت اختصاصی (۱ خطه بدون قابلیت سبقت در حالت اولیه) و مسیر مشترک با ترافیک خودروهای شخصی در تقاطع‌ها، میدان‌ها و پل‌ها در نظر گرفته شده است. حداقل، متوسط و حداکثر سرعت مجاز در مقاطع مختلف مسیر به‌صورت جداگانه در نظر گرفته شده است.

در مدل، ایستگاه‌ها (شکل شماره ۳) در طول‌های ۱۸ متر با ۳ در، ۳۶ متر با ۶ در و ۵۴ متر با ۹ در جهت پهلوگیری ۱، ۲ یا ۳ اتوبوس به‌صورت هم‌زمان در نظر گرفته شده‌اند. توزیع آماری نرخ ورود مسافر به ایستگاه‌ها و توزیع آماری مقاصد مختلف برای هر ایستگاه به‌صورت جداگانه از طریق آماربرداری اندازه‌گیری و در مدل، لحاظ شده است. زمان پیاده و سوارشدن مسافران در هر ایستگاه به‌صورت جداگانه مشخص شده است، البته زمان انتظار متناسب با جمعیت مسافران پیاده و سوار شده نیست.



شکل شماره ۳- ایستگاه اتوبوس

در ادامه، جدول داده‌های خروجی از مدل ترافیکی و اطلاعات جدول شماره ۱ مبدأ- مقصد وارد مدل ریاضی شده تا نتایج حاصل از اجرای مدل با نتایج حاصل از آماربرداری در زمینه تعداد افراد درون اتوبوس در مقاطع مختلف در هر ایستگاه مقایسه شود.

www.SID.ir

جدول شماره ۱- مبدا و مقصد

نام ایستگاه	تهرانپارس	داریوش	خاقانی	ابوریحان	آیت	پل	وحیدیه	سبلان	فرودگاه	فتحنای	بوعلی	منتظری
آزادی	7.9	8.6	3.6	8.9	3.2	8.8	6.7	5.8	6.5	8.0	11.5	3.7
پایانه آزادی	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
استاد معین	2.0	0.7	0.9	1.1	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.4	0.2	0.6
شریف	2.2	0.7	0.7	1.1	0.2	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4
بهبودی	1.3	0.7	0.7	0.6	0.3	0.1	0.3	4.8	0.5	6.7	0.2	0.2
توحید	0.7	0.4	0.4	2.2	0.6	1.5	0.9	1.0	1.1	1.1	8.0	1.9
دکتر قریب	0.9	0.7	0.7	0.6	0.1	0.3	0.4	0.2	3.2	0.3	1.1	0.2
انقلاب	6.6	4.3	8.6	5.6	7.5	4.4	6.7	9.6	9.7	1.3	6.9	3.7
دانشگاه تهران	4.4	2.9	5.0	2.2	9.7	4.4	9.4	7.7	6.5	10.7	6.0	11.2
ولیعصر	14.8	15.1	19.4	23.3	22.6	24.9	22.9	16.4	18.3	17.3	14.9	29.9
فردسی	8.3	9.4	10.0	8.9	10.8	10.2	10.8	12.5	10.8	16.0	21.8	18.1
دروازه دولت	5.7	6.5	5.7	6.7	11.8	10.2	16.2	14.4	8.6	10.7	10.3	18.7
شریعتی	3.9	5.0	2.9	3.3	3.8	5.9	3.1	11.5	8.6	8.0	10.3	9.3
پل چوبی	3.5	3.6	5.7	10.0	4.6	4.4	1.7	2.3	2.2	4.3	6.0	1.9
امام حسین	9.2	10.1	9.3	12.2	9.7	17.6	4.0	6.3	18.3	13.3	2.3	0.4
منتظری	3.1	0.1	0.1	1.1	5.5	0.4	2.0	2.9	3.2	0.4	0.1	
بوعلی	0.9	0.7	5.4	1.1	0.1	0.1	1.2	1.0	1.8	1.3		0.0
شهید فتحنانی	1.3	1.9	1.4	2.2	0.5	0.6	4.4	3.1	0.2		0.0	1.0
فرود گاه	2.6	1.2	2.2	2.2	0.4	0.6	1.9	0.2		0.0	2.8	1.0
سبلان	3.1	2.7	4.3	2.2	3.4	3.4	6.7		13.9	4.3	8.5	4.0
وحیدیه	2.6	4.3	2.9	3.3	3.4	1.5		4.2	11.1	3.4	8.5	20.2
پل	1.3	0.7	0.7	1.1	1.1		0.0	4.2	11.1	3.4	9.3	5.1
آیت	7.9	10.1	8.6	0.0		18.8	35.5	37.5	19.4	34.4	19.8	22.2
ابوریحان	0.9	2.9	0.7		0.0	6.3	3.2	2.1	2.8	2.9	2.8	6.1
خاقانی	4.8	6.5		0.0	17.4	31.3	16.1	10.4	11.1	14.3	14.2	8.1
داریوش	0.4		10.0	33.3	4.3	6.3	9.7	4.2	8.3	8.6	8.5	10.1
تهرانپارس		100.0	90.0	66.7	78.3	37.5	35.5	37.5	22.2	28.7	25.5	22.2

ive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

نام ایستگاه	امام حسین	پل چوبی	شریعتی	دروازه دولت	فردوسی	ولیعصر	دانشگاه تهران	انقلاب	دکتر قریب	توحید	بهبودی
آزادی	5.4	23.8	30.6	41.2	35.3	44.2	33.3	49.2	76.9	42.9	50.0
پایانه آزادی	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
استاد معین	0.2	2.4	2.3	3.1	9.4	15.6	13.3	9.1	7.7	28.6	37.5
شریف	0.2	1.2	1.5	2.1	2.4	5.2	15.0	3.8	7.7	14.3	12.5
بهبودی	0.2	1.2	4.6	2.1	2.4	15.6	15.0	15.2	7.7	14.3	
توحید	1.4	11.9	23.0	6.2	11.8	1.3	3.3	11.4	0.0		2.9
دکتر قریب	0.2	2.4	1.5	2.1	5.9	2.6	20.0	11.4		2.1	8.7
انقلاب	0.5	11.9	12.3	10.3	17.6	15.6	0.2		6.2	9.4	13.6
دانشگاه تهران	10.2	6.0	2.8	2.1	11.8	0.0		0.0	1.5	5.2	4.9
ولیعصر	25.1	23.8	15.3	20.6	3.5		0.5	12.2	9.9	11.5	8.7
فردوسی	24.2	11.9	4.6	10.3		2.7	12.5	7.8	8.6	7.3	7.8
دروازه دولت	17.9	2.4	1.5		1.6	2.1	6.7	1.1	2.5	2.1	2.9
شریعتی	14.0	1.2		0.0	1.6	7.0	1.0	1.1	2.5	1.0	1.9
پل چوبی	0.5		0.0	4.1	3.1	6.4	1.4	1.1	1.2	2.1	1.9
امام حسین		9.1	18.9	20.3	14.1	11.8	11.5	6.7	9.9	8.3	3.9
منتظری	0.0	1.4	11.3	8.1	7.8	6.4	3.8	1.1	4.9	3.1	2.9
بوعلی	4.4	0.9	1.5	2.0	4.7	4.3	2.9	5.6	3.7	3.1	1.9
شهید فتحائی	2.2	0.9	0.8	1.6	4.7	2.7	1.0	1.1	2.5	2.1	1.9
فرود گاه	1.8	1.4	0.8	1.2	4.7	3.2	5.8	1.1	3.7	2.1	1.9
سبلان	8.8	4.5	1.5	2.0	4.7	4.8	2.9	11.1	3.7	3.1	3.9
وحیدیه	7.9	4.5	2.6	1.6	4.7	2.1	2.9	5.6	3.7	2.1	2.9
پل	8.8	5.5	2.3	4.1	6.3	3.2	1.9	5.6	2.5	3.1	2.9
آیت	17.6	15.9	15.1	12.2	10.9	8.6	6.7	11.1	7.4	7.3	6.8
ابوریحان	4.4	3.6	3.8	4.1	4.7	3.7	6.7	3.3	3.7	3.1	1.9
خاقانی	6.6	13.6	7.5	10.2	4.7	8.6	5.8	4.4	8.6	7.3	6.8
داریوش	11.0	13.6	11.3	8.1	6.3	4.8	9.6	5.6	7.4	6.3	4.9
تهران‌پارس	26.4	25.0	22.6	20.3	15.6	17.6	16.3	14.4	6.2	8.3	4.9

www.SID.ir

ive of SID

نام ایستگاه	دانشگاه شریف	استاد معین	آزادی	پایانه آزادی
تهران‌پارس	6.8	8.0	8.7	8.7
داریوش	3.4	3.2	2.9	2.9
خاقانی	6.1	2.1	2.2	2.2
ابوریحان	2.7	1.6	1.4	1.4
آیت	4.8	4.3	2.9	2.9
پل وحیدیه	2.7	2.7	0.7	0.7
سبلان	3.4	2.7	0.7	0.7
فرودگاه	2.7	2.1	1.4	1.4
شهید فتحائی	2.0	1.6	0.7	0.7
بوعلی	1.4	2.1	0.7	0.7
منتظری	2.0	2.7	1.1	1.1
امام حسین	2.7	3.2	5.8	5.8
پل چوبی	4.8	6.4	1.4	1.4
شریعتی	2.7	2.7	1.8	1.8
دروازه دولت	1.4	2.1	4.7	4.7
فردسی	3.4	3.7	10.5	10.5
ولیعصر	8.2	7.5	11.6	11.6
دانشگاه تهران	9.6	8.6	4.3	4.3
انقلاب	6.1	4.8	9.4	9.4
دکتر قریب	8.9	10.2	6.5	6.5
توحید	4.8	4.8	9.4	9.4
بهبودی	8.2	8.0	9.4	9.4
شریف	1.0	3.7	6.9	6.9
استاد معین	16.7	1.1	1.4	1.4
پایانه آزادی	0	0	2.2	2.2
آزادی	83.3	100	0	0

اعتبارسنجی مدل ترافیکی در نرم‌افزار AIMSUN: ابتدا اطلاعات زیر را که از طرح آماربرداری به‌دست‌آمده‌اند را وارد مدل کرده و سپس خروجی مدل شامل زمان رسیدن اتوبوس‌ها به هر ایستگاه را مجدداً با اطلاعاتی که از آماربرداری به‌دست‌آمده مقایسه می‌شود.

۱. برنامه زمانی ارسال اتوبوس از ایستگاه اول: براساس اعلام شرکت واحد در زمان اوج تقاضا سرفاصله زمانی ارسال اتوبوس به خط، ۹۰ ثانیه است.

۲. سرعت حرکت در مقاطع مختلف مسیر: براساس آماربرداری انجام‌شده، سرعت حرکت اتوبوس‌ها در طول مسیر به‌طور میانگین در طول کل مسیر با احتساب تمام توقف‌ها در طول مسیر، ۲۰/۵۰ کیلومتر بر ساعات است.

۳. برنامه زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی و رانندگی: برنامه زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی و رانندگی مطابق جدول ۲ است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول شماره ۲- زمان سیکل چراغ‌های راهنمایی

نام تقاطع	مدت سیکل	مدت فاز سبز	مدت فاز قرمز	نام تقاطع	مدت سیکل	مدت فاز سبز	مدت فاز قرمز
جاجرود	۱۲۰	۷۰	۵۰	دانشگاه	۱۰۰	۵۰	۵۰
آیت	۱۴۰	۷۰	۷۰	۱۶ آذر	۱۱۰	۶۰	۵۰
منوچهری	۱۴۰	۷۰	۷۰	میدان انقلاب	-	-	-
وحیدیه	-	-	-	دکتر قریب	۱۰۰	۵۰	۵۰
سبلان	۱۲۰	۸۵	۳۵	اسکندری	۱۲۰	۶۰	۶۰
منتظری	-	-	-	توحید	۲۴۰	۱۲۰	۱۲۰
فردوسی	۱۸۰	۹۰	۹۰	رودکی	۱۲۰	۶۰	۶۰
ولیعصر	۲۴۰	۱۲۰	۱۲۰	بهبودی	۳۰۰	۱۵۰	۱۵۰
فلسطین	۱۴۰	۷۰	۷۰	آزادی*	۳۰۰	۱۵۰	۱۵۰
وصال	۱۲۰	۶۰	۶۰				

آزادی*: منظور تقاطع ورودی بزرگراه محمدعلی جناح به میدان آزادی است که اتوبوس‌های مسیر آزادی به تهران‌پارس باید از آن عبور کنند.

۴. مدت‌زمان توقف در ایستگاه‌های مختلف: مدت‌زمان توقف در ایستگاه‌ها ثابت و برابر میانگین زمان توقف‌های ثبت‌شده برای هر ایستگاه در نظر گرفته می‌شود؛ جدول ۳ مدت زمان توقف اتوبوس‌ها در ایستگاه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۳- زمان توقف در هر ایستگاه

نام ایستگاه	مدت توقف	نام ایستگاه	مدت توقف	نام ایستگاه	مدت توقف	نام ایستگاه	مدت توقف	نام ایستگاه	مدت توقف
تهران‌پارس	۹۰	پل	۲۰	منتظری	۲۵	ولیعصر ش	۳۰	توحید غ	۲۰

www.SID.ir

ive of SID

نام ایستگاه	مدت توقف	نام ایستگاه	مدت توقف	نام ایستگاه	مدت توقف	نام ایستگاه	مدت توقف	نام ایستگاه	مدت توقف
داریوش	۱۶	وحیدیه	۲۱	امام حسین	۲۹	ولیعصر (ع)	۳۰	بهبودی	۱۸
خاقانی	۲۰	سبلان	۲۲	پل چوبی	۲۲	دانشگاه	۲۰	شریف	۱۹
ابوریحان	۱۸	فرودگاه	۱۷	شریعتی	۱۸	انقلاب	۲۷	استاد معین	۱۹
آیت ش	۲۶	فتحائی	۱۹	دروازه دولت	۲۱	دکتر قریب	۲۱	آزادی	۲۰
آیت غ	۲۸	بوعلی	۲۲	فردوسی	۲۸	توحیدش	۲۵	میدان آزادی	۹۰

* ش علامت شرق و غ علامت غرب است

۵. ترافیک خودروهای شخصی: ترافیک خودروهای شخصی در تقاطع‌ها، میدان‌ها و پل‌هایی که مسیر به‌صورت مشترک است، در زمان آماربرداری تخمین زده شده برای هرچه نزدیک‌تر شدن مدل به شرایط واقعی وارد مدل می‌شود.

یافته‌ها

نتایج اجرای سناریو اول: هدف این سناریو، بررسی اثرات استفاده از سامانه اولویت‌دهی در تقاطع‌ها بر عملکرد خط ۱ سامانه اتوبوس‌های تندروی تهران است.

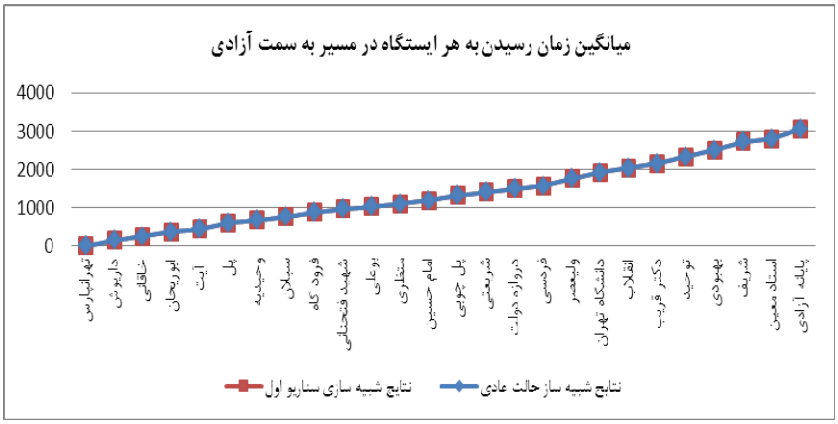
۱- سرعت متوسط: سرعت در مسیر تهران‌پارس به آزادی ۲۱/۶۸ کیلومتر بر ساعت است که نسبت به ۲۰/۵۰ کیلومتر بر ساعت در حالت عادی افزایش قابل‌ملاحظه‌ای را

www.SID.ir

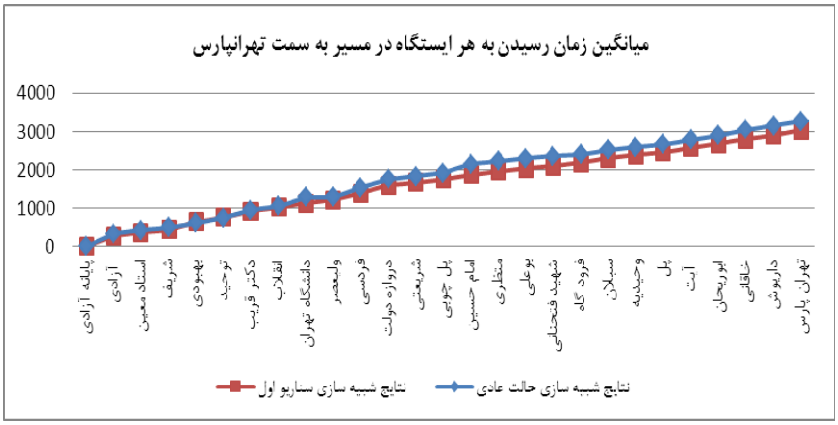
Archive of SID

نشان نمی‌دهد. البته به‌علت تعداد کم و سیکل کوتاه تقاطع‌هایی که از سیستم اولویت‌دهی استفاده کردند، این مسئله قابل پیش‌بینی بود. در مسیر آزادی به تهران‌پارس سرعت ۲۱/۴۱ کیلومتر بر ساعت به‌دست آمده است که نسبت به ۱۹/۸۴ کیلومتر بر ساعت در حالت عادی، افزایش بیشتری را نشان می‌دهد.

۲- میانگین زمان رسیدن اتوبوس‌ها به هر ایستگاه: نمودارهای زمان رسیدن اتوبوس‌ها به هر ایستگاه در نمودار ۲ و ۳ نشان داده شده است.



نمودار شماره ۲- میانگین زمان رسیدن به هر ایستگاه در مسیر به سمت آزادی



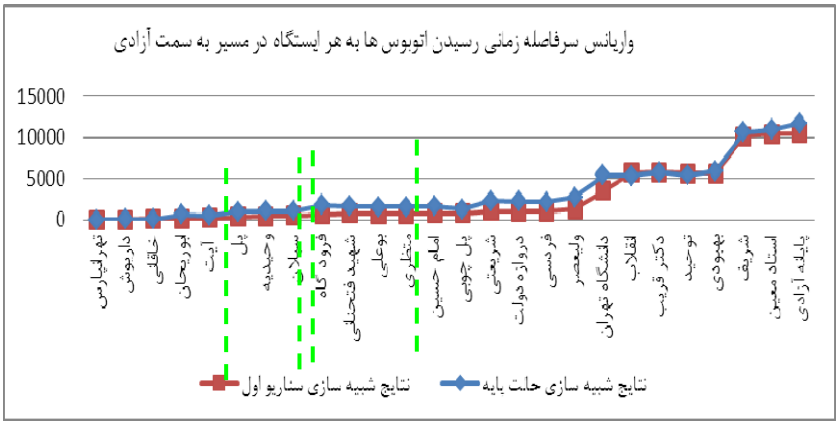
نمودار شماره ۳- میانگین زمان رسیدن به هر ایستگاه در مسیر به سمت تهران‌پارس

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در مسیر حرکت به سمت آزادی بهبود قابل‌ذکری به چشم نمی‌خورد و در مسیر به سمت تهران‌پارس نیز این بهبود اندک است.

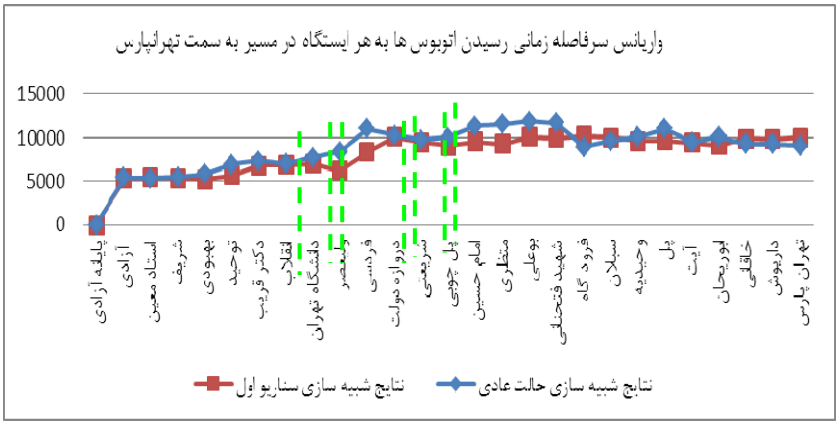
www.SID.ir

ive of SID

۳- واریانس سرفاصله زمانی رسیدن اتوبوس‌ها به هر ایستگاه: واریانس سرفاصله زمانی رسیدن هر اتوبوس به هر ایستگاه در دو جهت مسیر در نمودار ۴ و ۵ نشان داده شده است.



نمودار شماره ۴- واریانس سرفاصله زمانی رسیدن اتوبوس‌ها به هر ایستگاه در مسیر به سمت آزادی



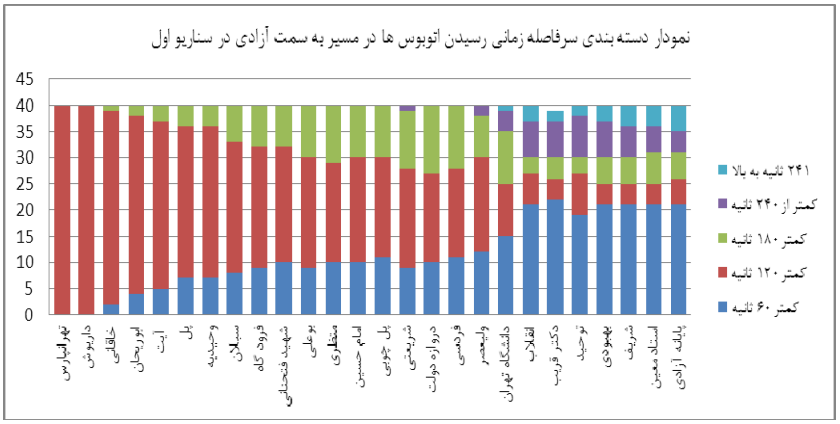
نمودار شماره ۵- واریانس سرفاصله زمانی رسیدن اتوبوس‌ها به هر ایستگاه در مسیر به سمت تهران‌پارس

خط‌چین‌های سبز، نشان‌دهنده محل تقاطع‌های دارای سیستم اولویت‌دهی در تقاطع‌ها هستند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در محل این تقاطع‌ها، واریانس سرفاصله زمانی اتوبوس‌ها نسبت به حالت عادی کمتر افزایش‌یافته و یا در بعضی موارد کاهش پیدا کرده و در مسیر به سمت آزادی بعد از آخرین تقاطع دارای سیستم اولویت‌بندی تا زمان رسیدن به تقاطع‌های قسمت غربی مسیر، این اختلاف واریانس حفظ شده است.

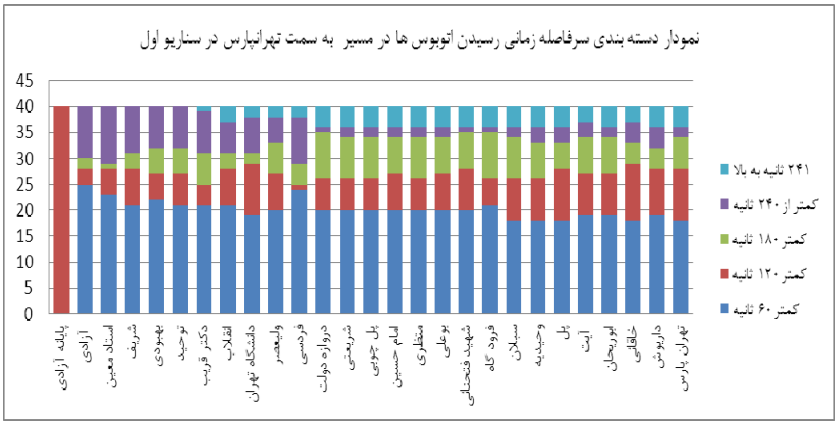
www.SID.ir

Archive of SID

۴- نمودار دسته‌بندی سرفاصله زمانی رسیدن اتوبوس‌ها به هر ایستگاه: در نمودارهای ۶ و ۷ نشان داده شده‌اند؛ اگر این نمودار را با نمودار مشابه در حالت عادی برای مسیر به سمت آزادی مقایسه کنید بهبود قابل ملاحظه‌ای را مشاهده می‌کنید. علت عدم مشاهده بهبود در مسیر به سمت تهران‌پارس را می‌توان افزایش شدید واریانس در ابتدای مسیر و ایجاد به‌هم‌ریختگی شدید در نظم زمان‌بندی اتوبوس‌ها دانست، به‌نحوی‌که این به‌هم‌ریختگی تا انتهای مسیر ادامه خواهد داشت.



نمودار شماره ۶- نمودار دسته‌بندی سرفاصله زمانی رسیدن اتوبوس‌ها در مسیر به سمت آزادی (سناریو اول)



نمودار شماره ۷- نمودار دسته‌بندی سرفاصله زمانی رسیدن اتوبوس‌ها در مسیر به سمت تهران‌پارس (سناریو اول)

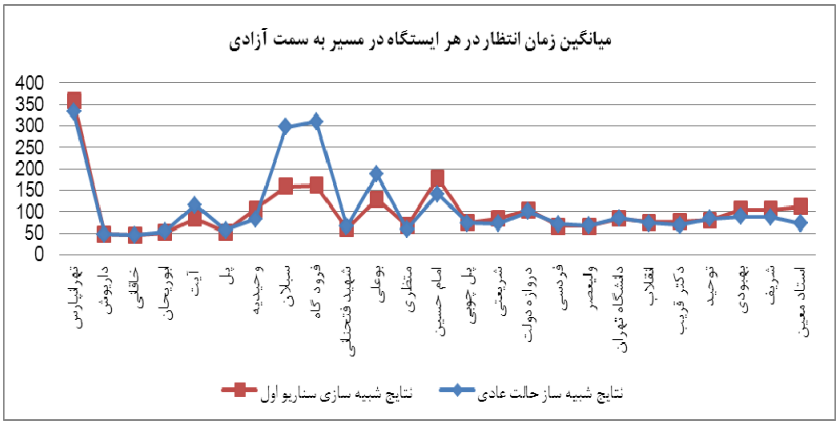
www.SID.ir

ive of SID

۵- کیلومتر نفر صندلی خالی: شاخص کیلومتر نفر صندلی خالی در مسیر به سمت آزادی از ۶۵۷۳/۵۹ به ۵۷۴۳/۶۹ و در مسیر به سمت تهران‌پارس از ۲۴۵۴/۵۸ به ۲۲۷۰/۵۷ کیلومتر نفر صندلی خالی کاهش پیداکرده، این ۱۳/۳درصد کاهش در مسیر به سمت آزادی و ۸درصد کاهش در مسیر به سمت تهران‌پارس به‌طور مستقیم به یکنواخت شدن سرفاصله زمانی رسیدن اتوبوس‌ها به ایستگاه ربط دارد، زیرا در حالتی که اتوبوس به‌صورت پشت سر هم یا با فاصله خیلی کم از یکدیگر حرکت می‌کنند، اغلب اتوبوس‌های جلویی دارای تراکم بیشتر و اتوبوس‌های عقبی دارای تراکم کمتری هستند.

۶- شاخص مطلوبیت سفر: این سناریو در مسیر به سمت آزادی بهبودی در شاخص مطلوبیت سفر ایجاد نکرده و در مسیر به سمت تهران‌پارس نیز حداکثر در سطح ۵درصد بهبود ایجاد کرده است.

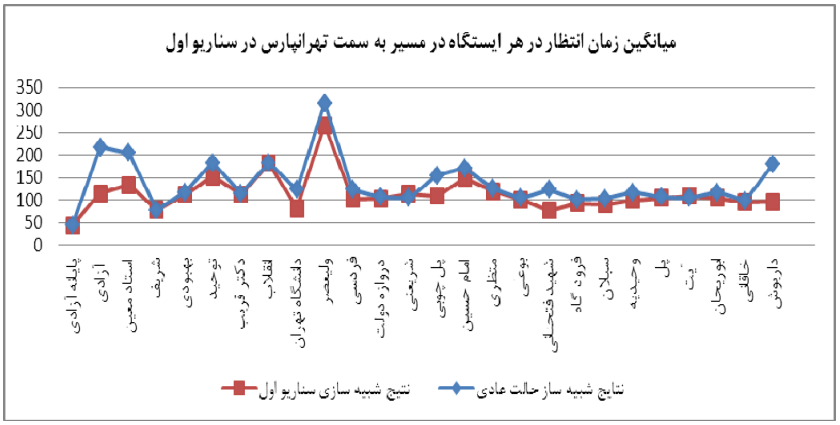
۷- میانگین زمان انتظار در هر ایستگاه: میانگین زمان انتظار در هر ایستگاه در نمودارهای ۸ و ۹ نشان داده شده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود در برخی از ایستگاه‌های ابتدای مسیر کاهش میانگین زمان انتظار رخ داده است که می‌توان دلیل این کاهش را به کاهش واریانس سرفاصله زمانی رسیدن اتوبوس‌ها به هر ایستگاه نسبت داد. هم‌چنین میانگین زمان انتظار در مسیر به سمت تهران‌پارس از ۱۳۸ به ۱۱۶ کاهش یافته است؛ در مسیر به سمت آزادی با جود کاهش زمان انتظار در ایستگاه‌های ابتدایی به دلیل تعداد کم ورودی به این ایستگاه‌ها نسبت به سایر ایستگاه‌ها کاهش قابل ملاحظه‌ای در میانگین کلی ایجاد نشده است.



نمودار شماره ۸- میانگین زمان انتظار در هر ایستگاه در مسیر به سمت آزادی (سناریو اول)

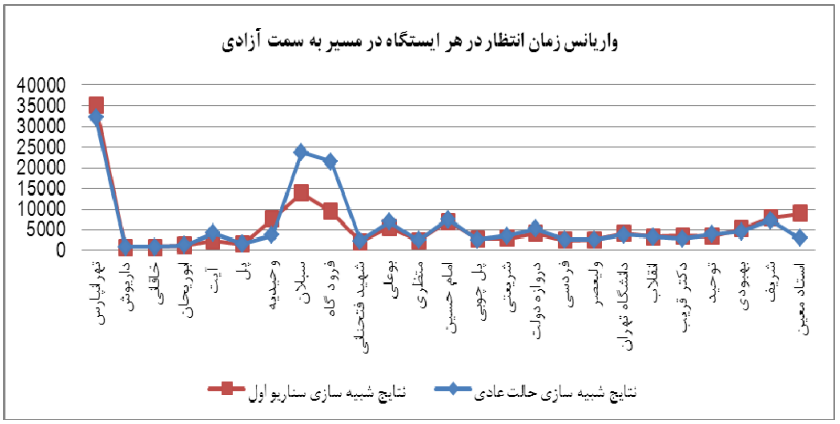
www.SID.ir

Archive of SID



نمودار شماره ۹- میانگین زمان انتظار در هر ایستگاه در مسیر به سمت تهران‌پارس (سناریو اول)

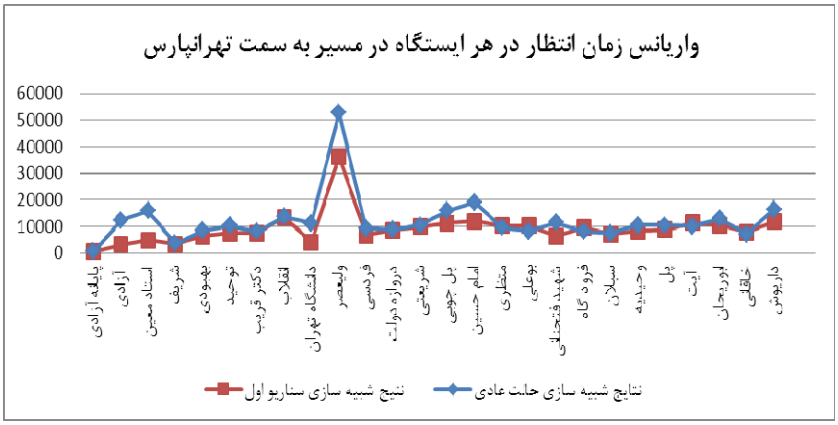
۸- واریانس زمان انتظار در هر ایستگاه: نمودار ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده‌اند، شاخص واریانس و میانگین زمان انتظار از هم‌بستگی بالایی برخوردار هستند و در همان ایستگاه‌هایی که میانگین کاهش پیداکرده، واریانس نیز کاهش‌یافته است که این به معنی افزایش قابلیت اطمینان از نظر زمان انتظار است.



نمودار شماره ۱۰- واریانس زمان انتظار در هر ایستگاه در مسیر به سمت آزادی (سناریو اول)

www.SID.ir

ive of SID



نمودار شماره ۱۱- واریانس زمان انتظار در هر ایستگاه در مسیر به سمت تهران‌پارس (سناریو اول)

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، استفاده از سیستم اولویت‌دهی در تقاطع‌ها تأثیر چندانی بر میانگین سرعت حرکت اتوبوس‌ها و زمان طی مسیر نخواهد داشت زیرا در اغلب موارد امکان اعمال این سیستم در تقاطع‌های پرترافیک و با سیکل طولانی وجود ندارد و هم‌چنین اعمال این سیستم در تقاطع‌های با سیکل کوتاه‌تر اثر چندانی نخواهد داشت، لذا اجرای این سیستم، بهبود مختصری در شاخص‌های مربوط به قابلیت اطمینان یعنی واریانس زمان سفر و شاخص مطلوبیت سفر ایجاد می‌کند، هم‌چنین بهبودی کمی هم در شاخص‌های زمانی یعنی زمان انتظار و زمان طی مسیر ایجاد می‌کند، از طرفی، اجرای این سیستم باعث افزایش شدید زمان توقف خودروهای شخصی می‌شود. در نتیجه و با توجه به بهبود اندک حاصل‌شده برای حمل‌ونقل عمومی و تأخیر شدید ایجاد شده در مسیر خودروهای شخصی، این روش فقط زمانی کاربرد دارد که اهمیت حمل‌ونقل عمومی بسیار بیشتر از حمل‌ونقل شخصی است.

نتایج اجرای سناریوی اول: هدف سناریوی دوم بررسی امکان زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی و رانندگی و تحلیل اثرات استفاده از این روش بر عملکرد خطوط سامانه اتوبوس‌های تندرو است.

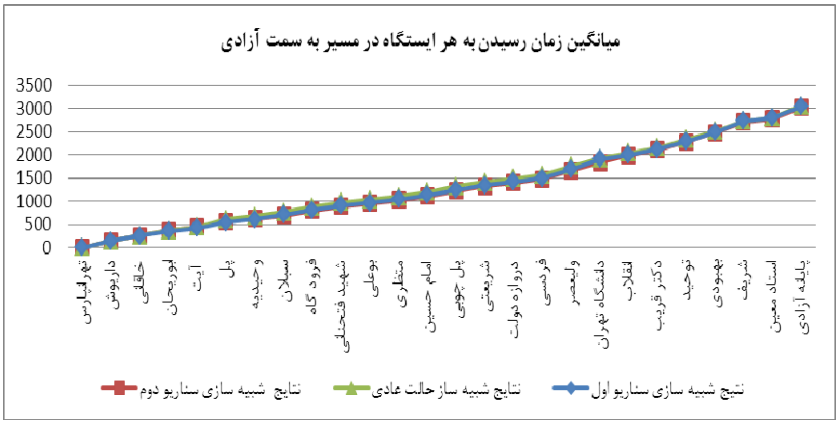
سرعت متوسط: در مسیر به سمت آزادی سرعت ۲۱/۳۸ کیلومتر بر ساعت به‌دست‌آمده است که نسبت به ۲۰/۵۰ کیلومتر بر ساعت در حالت اولیه بهتر است و با

www.SID.ir

Archive of SID

وجود اختلاف بسیار کم، حدود ۰/۳ کیلومتر در ساعت از سرعت در سناریو اول کمتر است. در مسیر به سمت تهران‌پارس سرعت ۲۳/۳۳ کیلومتر بر ساعت به‌دست آمده است که نسبت به ۱۹/۸۴ کیلومتر بر ساعت در حالت عادی افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا کرده است و به‌طور محسوسی از سناریو اول نیز بهتر است.

۲- میانگین زمان رسیدن اتوبوس‌ها به هر ایستگاه: نمودارهای ۱۲ و ۱۳ زمان رسیدن اتوبوس‌ها به هر ایستگاه را نشان داده است. همان‌طور ملاحظه که می‌کنید در مسیر حرکت به سمت تهران‌پارس بهبود قابل‌ملاحظه‌ای ایجاد شده است.



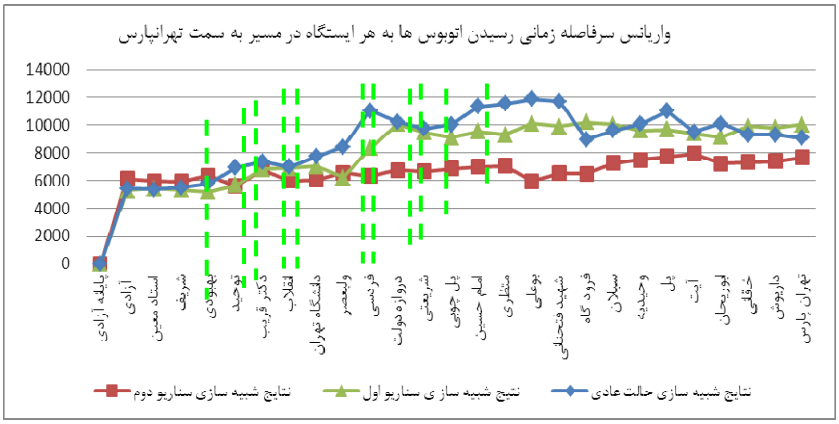
نمودار۱۲ شماره - میانگین زمان رسیدن به هر ایستگاه در مسیر به سمت آزادی (سناریو دوم)

نمودار شماره ۱۳- میانگین زمان رسیدن به هر ایستگاه در مسیر به سمت تهران‌پارس (سناریو دوم)

www.SID.ir

ive of SID

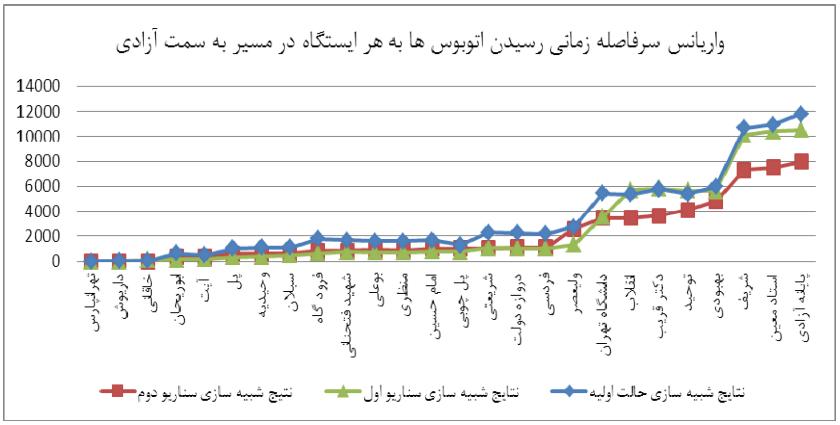
۳- واریانس سرفاصله زمانی رسیدن اتوبوس‌ها به هر ایستگاه: نمودارهای ۱۴ و ۱۵ واریانس سرفاصله زمانی رسیدن هر اتوبوس به هر ایستگاه را نشان می دهد و خط‌چین‌های سبز، نشان‌دهنده محل تقاطع‌ها هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مسیر به سمت تهران‌پارس واریانس سرفاصله زمانی اتوبوس‌ها نسبت به حالت عادی و اجرای سناریو اول کمتر افزایش یافته و یا در بعضی موارد کاهش پیدا کرده است. ولی در مسیر به سمت آزادی شرایط مشابه سناریوی اول است فقط در ایستگاه‌های انتهایی مسیر واریانس سرفاصله زمانی رسیدن اتوبوس‌ها کاهش داشته که علت آن کوتاه‌شدن سیکل بعضی از تقاطع‌های آن مقطع از مسیر است. با توجه به این دو شاخص بررسی‌شده، اثر اجرای این سناریو در مسیر به سمت آزادی مشابه اثر اجرای سناریو اول است، (البته بدون ایجاد هیچ نوع تأخیر در مسیر خودروهای شخصی) و بهبود بیشتری حاصل نمی‌شود، لذا در ادامه جهت خلاصه‌سازی از ذکر نتایج آن خودداری می‌شود.



نمودار شماره ۱۴- واریانس سرفاصله زمانی رسیدن اتوبوس‌ها به هر ایستگاه در مسیر به سمت تهران‌پارس (سناریو دوم)

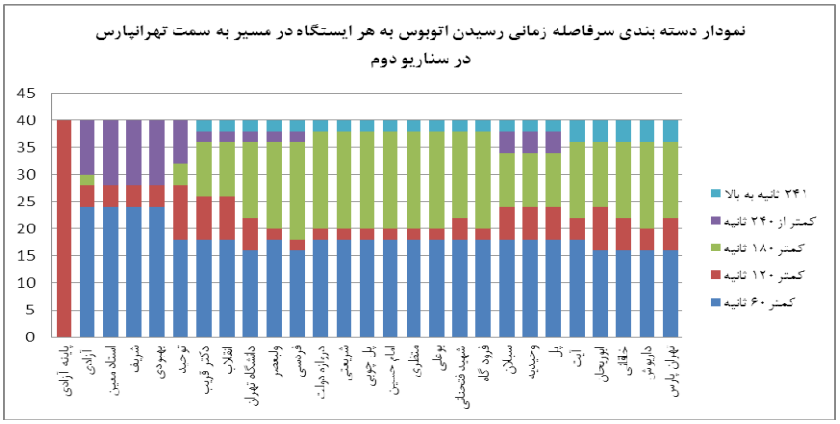
www.SID.ir

Archive of SID



نمودار شماره ۱۵- واریانس سرفاصله زمانی رسیدن اتوبوس‌ها به هر ایستگاه در مسیر به سمت آزادی (سناریو دوم)

۴- دسته‌بندی سرفاصله زمانی رسیدن اتوبوس‌ها به هر ایستگاه: نمودار ۱۶ مسیر به سمت تهران‌پارس نشان می‌دهد؛ اگر این نمودار را با نمودار مشابه در حالت عادی و سناریو اول مقایسه کنیم بهبود قابل‌ملاحظه‌ای به چشم می‌خورد.



نمودار شماره ۱۶- دسته‌بندی سرفاصله زمانی رسیدن اتوبوس به هر ایستگاه در مسیر به سمت تهران‌پارس (سناریو دوم)

۵- کیلومتر نفر صندلی خالی: این سناریو شاخص کیلومتر نفر صندلی خالی در مسیر به سمت تهران‌پارس را از ۲۴۵۴/۵۸ در حالت پایه و ۲۲۷۰/ ۵۷ در سناریوی اول

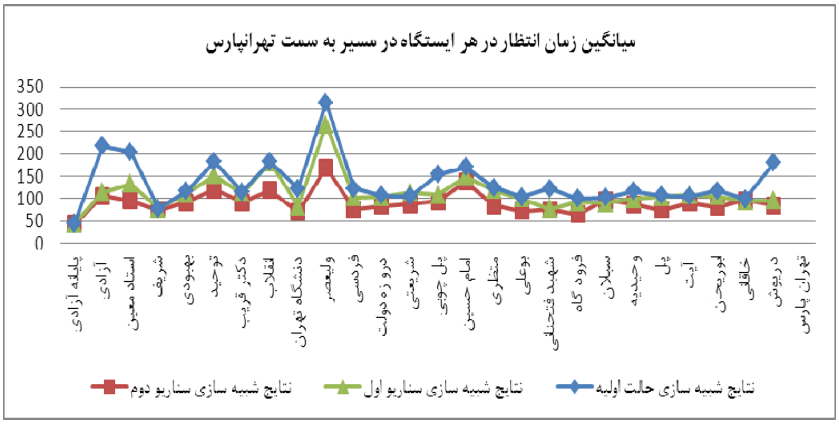
www.SID.ir

ive of SID

به ۱۹۳۴/۴۵ کیلومتر نفر صندلی خالی کاهش داده است؛ که علت این کاهش مانند سناریوی قبل است.

۶- شاخص مطلوبیت سفر: این سناریو تأثیر افزایش کمی حدود ۰/۱ واحد نسبت به حالت اولیه در شاخص مطلوبیت سفر در مسیر به سمت تهران‌پارس ایجاد می‌کند.

۷- میانگین زمان انتظار در هر ایستگاه: نمودار ۱۷ میانگین زمان انتظار در هر ایستگاه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در اغلب ایستگاه‌ها به‌خصوص ایستگاه‌های ابتدای مسیر، کاهش میانگین زمان انتظار رخ داده است که دلیل این کاهش را نیز مانند سناریوی قبل باید به کاهش واریانس سرفاصله زمانی رسیدن اتوبوس‌ها به هر ایستگاه نسبت داد. هم‌چنین میانگین زمان انتظار در کل سیستم در مسیر به سمت تهران‌پارس از ۱۳۸ ثانیه در حالت اولیه و ۱۱۶ ثانیه در سناریو اول به ۹۱ ثانیه در این سناریو کاهش یافته است.



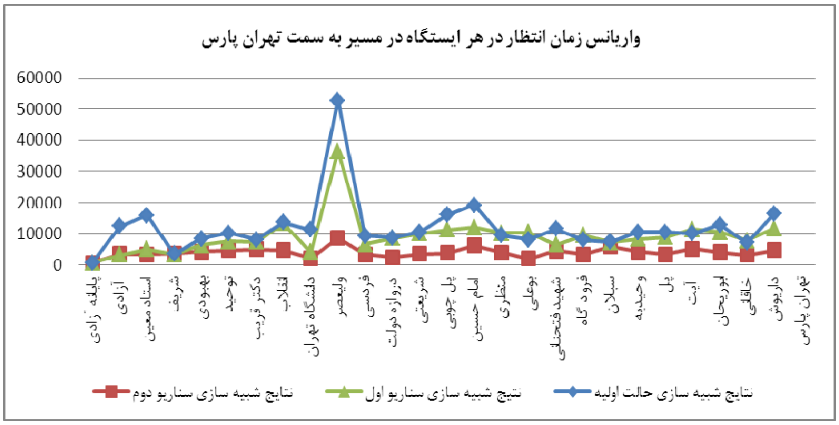
نمودار شماره ۱۷- میانگین زمان انتظار در هر ایستگاه در مسیر به سمت تهران‌پارس (سناریوی دوم)

۸- واریانس زمان انتظار در هر ایستگاه: نمودار ۱۸ نشان می‌دهد، مانند سناریوی قبل، شاخص واریانس و میانگین زمان انتظار از هم‌بستگی بالایی برخوردار هستند، لیکن چون واریانس زمان انتظار هم از میانگین زمان انتظار و در واقع شلوغی ایستگاه و هم از واریانس زمان رسیدن اتوبوس‌ها تأثیر می‌پذیرد، تغییرات آن شدیدتر است. این

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش واریانس زمان انتظار باعث افزایش قابل‌ملاحظه قابلیت اطمینان از نظر زمان انتظار می‌شود.



نمودار شماره ۱۸- واریانس زمان انتظار در هر ایستگاه در مسیر به سمت تهران‌پارس (سناریوی دوم)

نتیجه‌گیری

نتیجه‌گیری سناریوی اول: با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، استفاده از سیستم اولویت‌دهی در تقاطع‌ها تأثیر چندانی بر میانگین سرعت حرکت اتوبوس‌ها و زمان طی مسیر نخواهد داشت؛ زیرا در اغلب موارد، امکان اعمال این سیستم در تقاطع‌های پرترافیک و با سیکل طولانی وجود ندارد؛ هم‌چنین اعمال این سیستم در تقاطع‌هایی با سیکل کوتاه‌تر اثر چندانی نخواهد داشت، لذا اجرای این سیستم بهبود مختصری در شاخص‌های مربوط به قابلیت اطمینان یعنی واریانس زمان سفر و شاخص مطلوبیت سفر ایجاد می‌کند؛ هم‌چنین بهبودی کمی هم در شاخص‌های زمانی یعنی زمان انتظار و زمان طی مسیر ایجاد می‌کند؛ از طرفی، اجرای این سیستم باعث افزایش شدید زمان توقف خودروهای شخصی می‌شود. در نتیجه و با توجه به بهبود اندک حاصل‌شده برای حمل‌ونقل عمومی و تأخیر شدید ایجادشده در مسیر خودروهای شخصی، این روش فقط زمانی کاربرد دارد که اهمیت حمل‌ونقل عمومی بسیار بیشتر از حمل‌ونقل شخصی باشد.

www.SID.ir

ive of SID

نتیجه‌گیری سناریوی دوم: بررسی اثرات استفاده از زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی و رانندگی تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر مسیر حرکت به سمت آزادی ایجاد نکرد، دلیل عدم ایجاد اخلال در تقاطع‌های مسیر که باعث افزایش شدید زمان و تعداد توقف خودروهای شخصی می‌شود. در مسیر به سمت تهران‌پارس شاخص واریانس زمان انتظار بهبود قابل ملاحظه‌ای پیداکرد. پس می‌توان نتیجه گرفت از نظر قابلیت اطمینان، استفاده از زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی و رانندگی باعث ایجاد بهبود نسبی در سیستم اولویت‌دهی در تقاطع‌های رانندگی بر عملکرد خط ۱ سامانه اتوبوس‌های تندرو تهران که در طول خیابان‌های دماوند، انقلاب و آزادی قرار دارد، است؛ هم‌چنین در زمان طی مسیر و زمان کل سفر نیز بهبود قابل ملاحظه‌ای ایجاد شده است؛ درنتیجه می‌توان گفت از نظر شاخص‌های زمانی نیز بهبود در سیستم حاصل ده و در مورد شاخص کیلومتر نفر صندلی خال که مربوط کارآیی و بازده سیستم می‌شود بهبودی هرچند اندک حاصل شده است. در مجموع می‌توان گفت این سناریو نسبت به سناریوی قبل بهتر است.

سناریوی دوم نیز مانند سناریو اول تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر مسیر حرکت به سمت آزادی ایجاد نکرد، لیکن به‌دلیل عدم ایجاد اخلال در تقاطع‌های مسیر که باعث افزایش شدید زمان و تعداد توقف خودروهای شخصی می‌شود، به سناریوی اول ترجیح دارد. در مسیر به سمت تهران‌پارس، شاخص واریانس زمان انتظار، بهبود قابل ملاحظه‌ای پیدا کرده و در شاخص مطلوبیت سفر نیز عملکردی مشابه سناریو اول داشته است، پس می‌توان نتیجه گرفت از نظر قابلیت اطمینان، این سناریو باعث ایجاد بهبود نسبی در سیستم شده است؛ هم‌چنین در زمان طی مسیر و زمان کل سفر نیز بهبود قابل ملاحظه‌ای ایجاد شده است؛ درنتیجه می‌توان گفت از نظر شاخص‌های زمانی نیز بهبود در سیستم حاصل شده و در مورد شاخص کیلومتر نفر صندلی خال که مربوط کارآیی و بازده سیستم می‌شود بهبودی هرچند اندک حاصل شده است. در مجموع می‌توان گفت این سناریو نسبت به سناریوی قبل بهتر است.

www.SID.ir

Archive of SID

پیشنهادها

ارائه یک روش، جهت تفکیک اتوبوس‌ها و دادن اولویت به بعضی از آنها که از نظر زمان‌بندی با تأخیر بیشتری مواجه هستند، از یک‌سو می‌تواند باعث کاهش آثار نامطلوب این روش بر ترافیک خودروهای شخصی شود و از طرف دیگر باعث افزایش امکان عملیاتی شدن این سیستم در تقاطع‌های شلوغ می‌شود.

با توجه به این مطلب که در این مطالعه هماهنگی ایجادشده در یک‌جهت اعمال‌شده است، ارائه مدلی جهت تعیین زمان‌بندی بهینه با هدف حداقل کردن زمان توقف در دو جهت مسیر به‌صورت هم‌زمان می‌تواند مفید باشد.

منابع

ابوطالبی اصفهانی، محسن؛ حیدری، علی‌رضا. (۱۳۹۷)، بررسی وضع موجود اتوبوس‌های تندرو، پیشنهادهای هوشمندسازی، ارزیابی و اولویت‌بندی آنها، فصلنامه علمی مطالعات مدیریت ترافیک، شماره ۵۰، صفحه ۱-۳۰. بازیابی از:

http://tms.jrl.police.ir/article_91360.html.

افندی‌زاده، شهریار؛ معمارنژاد، امیرمسعود؛ دهقانی، نازلی. (۱۳۹۳). مکان‌یابی ایستگاه‌های اتوبوس در تقاطع‌های متوالی با بهره‌گیری از نرم‌افزار Aimsun، مطالعه موردی: تهران، خیابان دلاوران حدفاصل تقاطع سراج تا میدان الغدیر، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، بابل: دانشگاه صنعتی نوشیروانی. بازیابی از:

https://www.tpbin.com/article-landing-page/15829/article

بهبهانی، حمید؛ ندیمی، نوید؛ ناصرعلوی، سیدصابر. (۱۳۹۰). شبیه‌سازی ترافیک و کاربرد آن در مطالعات ترافیک، مدل تعقیب خودرو، یازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل ترافیک. تهران: معاونت و سازمان حمل‌ونقل ترافیک. بازیابی از:

https://www.tpbin.com/article-landing-page/15829/article

فائزی، سیدفرزین؛ ساسانی، مصطفی. (۱۳۹۸). ارزیابی عملکرد سیستم اتوبوس تندرو (بی آرتی)، فصلنامه علمی مطالعات مدیریت ترافیک، شماره ۵۰، صفحه ۸۱-۱۰۰.

http://tms.jrl.police.ir/article_93140.html

www.SID.ir

ive of SID

فلفلانی، محمدرضا؛ صفاریان، محسن. (۱۳۹۴). تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی پارامترهای موثر بر سیستم اتوبوس‌های BRT به‌وسیله تکنیک شبیه‌سازی گسسته- پیشامد، پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران: معاونت و سازمان حمل‌ونقل ترافیک. بازیابی از: https://www.civilica.com/Paper-TTC15-TTC15_197.html

Abdy, Z.R.; Hellinga, B.R. (2011). Analytical method for estimating the impact of transit signal priority on vehicle delay. Journal of Transportation Engineering, 137(8), 589-600. DOI: 10.1061/ (ASCE) TE.1943-5436.0000242.

Ancora, V.; Nelli, C.; Petrelli, M. (2012). A microsimulation model for BRT systems analysis. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 54, 1250-1259. DOI: org/10.1016/j.sbspro.2012.09.839.

Bi, Y.; Li, J.; Lu, X. (2011). Single intersection signal control and simulation based on fuzzy logic. In 2011 Third International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (Vol. 2, pp. 87-89). IEEE. DOI: 10.1109/ IHMSC.2011.91.

Diaz, R. (Ed.). (2004). Characteristics of bus rapid transit for decision-making. Federal Transit Administration. https://trid.trb.org/view/743246.

Kim, S.; Park, M.; Chon, K.S. (2012). Bus signal priority strategies for Multi-directional bus routes. KSCE Journal of Civil Engineering, 16(5), 855-861. DOI: org/10.1007/s12205-012-1507-7.

Ma, W.; Yang, X. (2007). A passive transit signal priority approach for bus rapid transit system. In 2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (pp. 413-418). IEEE. DOI: 10.1109/ITSC.2007.4357625.

Ma, W.; Liu, Y.; Han, B. (2014). A rule-based model for integrated operation of bus priority signal timings and traveling speed. Journal of Advanced Transportation, 47(3), 369-383. DOI: org/10.1002/atr.1213.

Martin, P.T.; Zlatkovic, M. (2010). Evaluation of Transit Signal Priority Strategies for Bus Rapid Transit on 5600 West Street in Salt Lake County, Utah (No. MPC Report No. 09-213A). Mountain-Plains Consortium.
https://pdfs.semanticscholar.org/8aa9/79e58b5fbfe07d90867a6b33b8d01739e7c9.

www.SID.ir

Archive of SID

Sun, X.; Lu, H.; Wu, J. (2013). Bus detection based on sparse representation for transit signal priority. Neurocomputing, 118, 1-9. DOI: org/10.1016/j.neucom.2013.02.006.

Yang, M.; Wang, B.; Sun, G. (2012). Bus Rapid Transit Signal Priority Using Advanced Detection. In Advances in Mechanical and Electronic Engineering (pp. 529-533). Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: org/10.1016/B978-0-12-397041-1.00011-X. org/10.1007/978-3-642-31507-7_84.

Zlatkovic, M.; Martin, P.T.; Tasic, I. (2015). Implementation of transit signal priority and predictive priority strategies in ASC/3 software-in-the-loop simulation. In Advances in Artificial Transportation Systems and Simulation (pp. 203-218). Academic Press. DOI: org/10.1016/B978-0-12-397041-1.00011-X.

Pursula, M. (1999). Simulation of traffic systems-an overview. Journal of geographic information and decision analysis, 3(1), 1-8. https://pdfs.semanticscholar.org/0db6/cf137c23768f0087dffcdb496f6697fc3835.

Huang, W.; Tang, S.; Li, Z.; Zhu, F.; Ai, Y. (2008). A hierarchical bus rapid transit system based on wireless sensor networks. In 2008 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (pp. 1027-1031). IEEE. DOI: 10.1109/ITSC.2008.4732717.

Zhao, F.; Zeng, X. (2006). Optimization of transit network layout and headway with a combined genetic algorithm and simulated annealing method. Engineering Optimization, 38(6), 701-722. DOI: org/10.1016/j.sbspro.2012.09.839.

www.SID.ir