بهینه سازی زمان سفربا ناوگان حمل ونقل عمومی شهری با استفاده از مدل‌سازی شبکه‌های پتری

حسین حداد مقدم[1] و عباس دیدبان[2,*]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۰۷

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۲۴

واژگان کلیدی:

بهینه سازی زمان سفر،

حمل ونقل عمومی،

شبکه‌های پتری،

چراغ راهنمایی.

چکیده

رشد سریع جمعیت و شهرنشینی در دهه‌های اخیر مسائل و مشکلات ترافیکی را در زندگی روزمره بشر پررنگ‌ترکرده است. یکی از مهمترین اهداف پژوهش در حوزه ترافیک، بهینه سازی جریان حمل ونقل عمومی است. 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 ورانندگی 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 سفرکلیه مسافرین عبوری از یک تقاطع کمتر می‌شود. به گونه ای که متوسط زمان توقف هر مسافر تقریبا به میزان ۸ درصد در بهترین حالت کاهش می یابد. که این مقدار در شرایط مختلف تردد اتوبوس تغییر می‌کند.

۱- مقدمه

روند رو به رشد شهرنشینی در جهان، به ویژه در دهه‌های اخیر، منجر به ظهور کلان شهرهایی شد که با توجه به مشترکات موجود بین آن‌ها، زوایای جدیدی از معضلات شهرسازی را گشوده است. این دگرگونی‌ها ضرورت ایجاد طرح‌های زیر بنایی در زمینه بهبود وضعیت ترافیک، کاهش تصادفات و رفع آلودگی هوا را بیش از پیش نمایان می‌سازد. ابعاد گسترده و پیچیده این معضلات سبب گردید، تا پرداختن به این زمینه در زمره سیاست‌های اولیه و بنیادین برنامه‌های شهری قرار گیرد. توسعه شبکه‌های حمل و نقل عمومی به عنوان یکی از پارمترهای موثر کنترل ترافیک، می‌تواند یکی از راهکارهای حل این مشکلات باشد.

با ایجاد زیر ساختها در جهت بهینه‌سازی حمل و نقل عمومی و با سازماندهی آن می‌توان از جریان سیال ترافیک کاست و از این طریق حجم ترافیک را کاهش داد. استفاده از مسیرهای ویژه برای اتوبوس، احداث پارکینگ و ارائه‌ی خدمات به شهروندانی که از سیستم‌های حمل و نقل عمومی برای رفتن به مراکز اصلی شهر استفاده می‌کنند، سرمایه‌گذاری برای ایجاد سیستم‌های حمل و نقل عمومی سریع مثل مترو یا اتوبوس‌های تندرو، از راه‌های مدیریت ترافیک هستند. برای میل به این هدف می‌توان از چراغ راهنمایی به عنوان یکی از پارامترهای مهم و پربازده ترافیکی استفاده کرد و از این طریق در جهت کاهش حجم ترافیک گام برداشت و شرایطی را فراهم کرد تا وسایل نقلیه حمل ونقل عمومی نسبت به دیگر وسایل نقلیه ارجحیت پیدا کنند. در نتیجه زمان مسافرت با وسایل حمل و نقل عمومی کم شده و انگیزه استفاده از آن برای مسافرین بیشتر می‌شود.

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: adideban@semnan.ac.ir

۱. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مکاترونیک دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان

۲. دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان

برای بررسی سیستم‌های ترافیکی نیاز به ابزاری جهت مدل سازی است تا با استفاده از آن بتوان سیستم را مدل نموده و رفتار آن را بررسی کرد. با بررسی رفتار سیستمهای ترافیکی می توان راهکارهایی جهت بهبود آن و کاهش مشکلات ترافیکی ارائه کرد.

شبکه‌های پتری ابزاری سودمند در مدلسازی سیستم‌های گسسته پیشامد و البته سیستم‌های پیوسته می‌باشند. از آنجا که بعضی از اجزای سیستم‌های ترافیکی گسسته و برخی پیوسته می‌باشند و هر دو گونه سیستم در شبکه‌های پتری به راحتی قابل مدلسازی می‌باشند، این ابزار در مدلسازی اینگونه سیستم‌ها بسیار سودمند خواهد بود.کارهای مختلفی با استفاده از شبکه‌های پتری پیوسته جهت مدل‌سازی، کنترل و بهینه‌سازی شبکه‌های ترافیک شهری انجام شده است.

در سال ۱۹۸۶ اولین مدل از شبکه‌های پتری مربوط به یک چراغ راهنمایی مطرح شد، که بعد توسط هوایتین و لس بررسی شد[۱]. تولبا و لفبوره[۲] در پژوهشی به وسیله یک مدل از شبکه‌های پتری به کنترل ترافیک یک چهارراه با ترکیب دو دیدگاه ازدحام ترافیکی پرداختند. دتولی و بقیه همکاران[۳] با اعتبار سنجی یک مدل شبکه ترافیک شهری با استفاده از شبکه‌های پتری زمان دار، آن را تجزیه و تحلیل نمود. لیست و سرتین[۴] یک مدل هشت مرحله‌ای از شبکه‌های پتری را برای کنترل یک چراغ راهنمایی ارائه نمودند. هوانگ و چانگ[۵] با ارائه مدلی برای چهارراه پیچیده و تعیین فازبندی برای هر مرحله اقدام به طراحی و تجزیه و تحلیل چراغ راهنمایی با شبکه‌های پتری زماندار کردند. لی جی و لی کیو[۶] با مدل‌سازی و ارائه مفاهیم و تحلیل‌های ریاضی به مدل‌سازی سیستم ترافیک شهری بر اساس شبکه پتری پرداختند. میشل داس و جاس ورانکن در مقاله‌ای یک مدل از یک چهارراه چهار طرفه با گردش ترتیبی رنگ چراغ راهنمایی را مطرح کردند[۷]. جولوز و بوئل[۸] مدل یک چهارراه شهری را با استفاده از شبکه‌های پتری پیوسته ارائه کردند. در این مدل، مکان‌های پیوسته، نشان دهنده خیابان های متناظر با یک ناحیه مشخص می-باشند و گذرگاه‌های پیوسته جهت جداسازی نواحی همسایه از یکدیگر به کار گرفته می‌شوند. جبیرا و احمد [۹] یک چهارراه را با استفاده از روشی شبیه به مدل جولوز و بوئل مدل‌سازی کرده‌اند. در این مقاله زمان‌های بهینه چراغ راهنمایی در هر فاز با پیش بینی تعداد وسایل نقلیه خیابان‌های منتهی به چهارراه در سیکل بعدی با داشتن اطلاعات جریانهای ورودی از دیگر خیابان‌ها به خیابان‌های منتهی به چهارراه در سیکل فعلی، به دست آمده است. هنریکو و رجینه در مقاله‌ای جریان ترافیک یک خیابان را به وسیله شبکه‌های پتری کنترل کردند به گونه‌ای که اطلاعات مکانی از تمامی خودروهای واقع در یک خیابان برداشت شده و به یک کنترل‌کننده واقع در مرکز تقاطع فرستاده می‌شود و از آنجا پس از تجزیه و تحلیل مدل پتری به تک تک خودروها پیامهای ترافیکی ارسال شده و مسیرهای تردد اعلام می‌شود[۱۱]. در مقاله‌ی دیگری تمامی مسیرهای حمل‌ونقل اتوبوس‌های شهری به یک مدل پتری داده شد و مدل پتری با تلفیق یک الگوریتم خاص به گونه‌ای روی آن برنامه ریزی می‌کند که مسافر کمترین زمان را منتظر اتوبوس بماند[۱۲]. نویسندگان مقاله[۱۳] منحصراً روی زمان تغییر چراغ‌های سبز یک چهارراه با بازخورد لحظه به لحظه از ترافیک چهارراه توجه نموده‌که نتایج گویایی کارایی خوب این مدل‌سازی است.

در این مقاله پس از مدلسازی رفتار چراغهای یک چهارراه با استفاده از شبکه‌های پتری، ایده استفاده از اولویت دهی به وسایل حمل و نقل عمومی در این مقاله مطرح شده که ضمن اجرای آن در مدل شبکه پتری اثر این کار در تغییرات ترافیکی بررسی شده است نتایج حاصل، گویای بهبود متوسط زمان سفر و کاهش ترافیک می‌باشد. البته این بهبودی در شرایط شلوغی بیش از حد و خلوتی بیش از حد حاصل نمی‌شود. بازه بهترین زمان تردد اتوبوس معرفی شده در این مقاله، برای کارکرد بهتر این سیستم در نوع خود منحصر به فرد است و یک نوآوری جدید به حساب می آید. در ادامه، در قسمت بعد به بیان مفاهیم پایه‌ای پرداخته می‌شود. سپس در قسمت ۳ پس از ارائه مدلسازی‌های انجام شده قبلی برای چهارراه، مدل اولویت دار را ارائه خواهیم کرد. شبیه سازی مدل ارائه شده و تحلیل نتایج آن در قسمت ۴ انجام می‌شود و در انتها جمع بندی و نتیجه گیری ارائه خواهد شد

۲- مفاهیم پایه

در ادامه با مفاهیم شبکه‌های پتری و چراغ راهنمایی به عنوان دو عنصر اصلی و دو عنصر کنترلی در این تحقیق آشنا می‌شویم. سپس مدل گفته شده شرح داده می‌شود.

۲-۱- چراغ راهنمایی

چراغ راهنمایی بدون شک از آشناترین و مهمترین وسایل

کنترل و تنظیم عبور و مرور وسایل نقلیه و افزایش ایمنی در تقاطع‌ها است. بطورکلی در صورت محاسبه صحیح زمانبندی آن، متوسط تأخیر وسایل نقلیه کمتر از زمانی خواهد بود که تقاطع بدون چراغ راهنمایی باشد.
معمولاً چراغهای راهنمایی را بطور مستقل و جداگانه برای کنترل تقاطع‌ها بکار می‌برند. ولی گاهی بر حسب ضرورت و برای بازدهی بهتر ممکن است چراغهای راهنمایی چند تقاطع یا کلیه تقاطع‌های یک مسیر را، به طریقی به هم ارتباط داد و هماهنگ کرد. این چراغها را از نظر نحوه زمانبندی به دو دسته تقسیم می‌کنند[۴]:

- چراغهای پیش زمانبندی شده
- چراغهای سازگار با ترافیک

۲-۲- شبکه‌های پتری

شبکه‌های پتری ابزارگرافیکی مناسب برای مدل سازی بر پایه منطق ریاضی است. از شبکه‌های پتری می توان برای مدل‌سازی توصیف و تحلیل سیستم‌هایی که ماهیتی همزمان، توزیع شده ، موازی و یا اتفاقی هستند استفاده کرد. از مزایای مهم شبکه‌های پتری سادگی در تحلیل و کارکرد مدل است. از همین ویژگی می‌توان برای ارزیابی رفتار و کارایی یک سیستم به صورت همزمان بهره برد. دارای چهارجزء ،کمان، گذرگاه، نشانه و کمان هستند و کم بودن اجزاء باعث سادگی شبکه پتری شده است.
و بر اساس قانون فعال شدن گذرگاه و اعمال نشانه کار می‌کند[۴][۱۰].

۲-۲-۱- شبکه های پتری زمان دار

شبکه‌های پتری به دو صورت می‌توانند زمان دار شود:

-تاثیر زمان بر مکانها[1]

-تاثیر زمان بر گذرگاهها[2]

در شبکه با مکان‌های زمان دار، مکان‌ها پس از زمان تعیین شده نشانه خود را منتقل می‌کند[۱۰].

۳- کنترل ترافیک

در این تحقیق یک مدل ازشبکه پتری ارائه شده است که به وسیله آن می‌توان شرایطی رابرای وسایل نقلیه حمل و نقل عمومی (توسط کنترل چراغ راهنمایی واقع در یک چهارراه) فراهم کرد که بتوان بدین وسیله مدت زمان سفر با اتوبوس‌های شهری را کاهش داد. در این روش با اولویت دادن به وسایل حمل و نقل عمومی، از زمان انتظار مسافرین اتوبوس‌های هر مسیر کاسته می‌شود. و هر اتوبوس می‌تواند در کمترین زمان ممکن از چهارراه عبور کند و زودتر به مقصد برسد و مسافرین درون شهری به استفاده از اتوبوس عمومی ترغیب شوند و از این طریق حجم ترافیک راکاهش پیدا می‌کند.

۳-۱- مدل سازی چهارراه با استفاده از شبکه‌های پتری

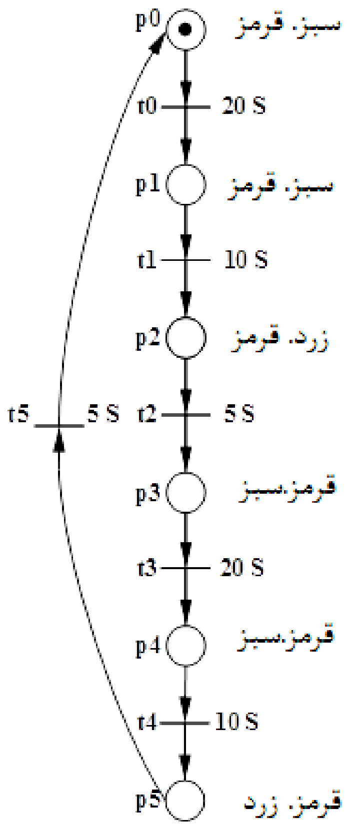
چهارراه در نظر گرفته شده یک چهاراه دو زمانه، با زمان ثابت است که هر یک از چراغها برای به دو مسیر موازی دو طرف خیابان به صورت رفت و برگشتی اختصاص دارد. موقعیت هر چراغ با چراغ بعدی ۹۰ درجه اختلاف دارد. در مرکز هر چهارراه یک گیرنده وجود دارد که پیامهای فرستاده شده توسط اتوبوس‌های هر مسیر را شناسایی، ثبت و به سیستم اعمال می‌کند. مدل پتری با توجه به حالت‌های قبلی و پیام‌های دریافت شده وضعیت بعدی را مشخص می‌کند. مدل ارائه شده دارای ۳ قسمت اصلی می‌باشد. که قسمت اول برای مدل‌سازی چراغ راهنمایی استفاده شده است. و قبلاً در چند تحقیق به کار برده شده است. دو قسمت بعدی که به مدل اول اضافه شده است، نقش اولویت بندی را دارد. و در این تحقیق ارائه شده است که تحت عنوان سیستم اولویت‌دار مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۱-۱-مدل سازی چراغ راهنما

شکل (۱) قسمت اول مدل پتری سیستم مورد نظر است.
مدل اولیه مراحل ترتیبی یک چراغ راهنمایی را نشان می‌دهد. به این صورت که در حالت اولیه[3] ابتدا مکان P_0 نشانه‌دار است و با سپری شدن زمان گذرگاه آن نشانه به مکان P_1 تزریق شده تا رنگ چراغ به رنگ مکان مربوطه تغییر کند. مراحل به همین صورت طی می‌شود. تا یک سیکل گردش رنگ چراغ کامل شود و دوباره به حالت اولیه برگردد[۶][۷].
دو قسمت شدن مکانهای رنگ سبز به کنترل بهتر زمانهای رنگ سبز در صورت وجود اولویت کمک می‌کند. به همین دلیل دو مکان P_0 و P_1 با یک نوع رنگ چراغ راهنمایی به این جهت است که در ۲۰ ثانیه اول نیاز به اعمال اولویت نبوده و در ۱۰ ثانیه انتهایی اندکی به زمان سبز اضافه

[1] P-Time petri nets
[2] T-Time petri nets
[3] Initial marking

می‌شود.



شکل۱-مدل پتری چراغ راهنما

جدول۱-جدول حالت مدل پتری چراغ راهنما

P_0	چراغ سبز مسیر اول و چراغ قرمز مسیر دوم روشن (۲۰ ثانیه)
P_1	چراغ سبز مسیر اول و چراغ قرمز مسیر دوم روشن(۱۰ ثانیه)
P_2	چراغ زرد مسیر اول و چراغ قرمز مسیر دوم روشن(۵ ثانیه)
P_3	چراغ قرمز مسیر اول و چراغ سبز مسیر دوم روشن(۲۰ ثانیه)
P_4	چراغ قرمز مسیر اول و چراغ سبزمسیر دوم روشن(۱۰ ثانیه)
P_5	چراغ قرمز مسیر اول و چراغ زرد مسیر دوم روشن(۵ ثانیه)
T_1	سرریز شدن تایمر۲۰ثانیه
T_2	سرریز شدن تایمر ۱۰ ثانیه
T_3	سرریز شدن تایمر۵ ثانیه
T_4	سرریز شدن تایمر ۲۰ ثانیه
T_5	سرریز شدن تایمر ۱۰ ثانیه
T_6	سرریز شدن تایمر۵ ثانیه

زمانهای مربوط به هر رنگ چراغ راهنمایی در جدول ۲ است.

کارکرد مدل به این صورت است که مدل با زمانهای که از قبل روی گذرگاه‌ها تعیین شده شروع به کار می‌کند و با گذشت این زمانها نشانه به مکان بعدی اعمال می‌شود. رنگ چراغ به رنگ مکان نشانه‌دار تغییر می‌کند. مراحل به همین ترتیب با زمانهای مربوطه طی می‌شود.

جدول۲-زمان بندی چرخش چراغ راهنمایی

	زمان اولویت خیابان دوم	زمان اولویت خیابان اول	زمان چراغ راهنمایی اصلی
سبز- قرمز	۱۵	۳۵	۲۰
سبز- قرمز	۵	۲۰	۱۰
زرد- قرمز	۳	۷	۵
قرمز- سبز	۳۵	۱۵	۲۰
قرمز- سبز	۲۰	۵	۱۰
قرمز زرد	۷	۳	۵

۳-۱-۲- مدل سازی درخواست اولویت

شکل (۲) مدل پتری درخواست اولویت خیابان اول است که در آن، مدل سیستم اولویت دهی خیابان اول، به مدل قبلی اضافه شده است. برای هر رنگ از چراغ در مدل یک مسیرموازی حرکت نشانه وجود دارد تا بتوان زمانها را به این وسیله تغییر داد. در صورتی که به هر یک ازطرفین چهارراه یک اتوبوس یا بیشتر وارد شود، پیام اولویت از طرف آن اتوبوس ارسال می‌شود و توسط سیستم مرکزی شناسایی و دریافت، ثبت شده و با توجه به خیابانی که اعلام اولویت شده(خیابان یک یا خیابان دو) به مدل اعمال می‌شود. با دریافت یک اولویت (فعال شدن گذرگاه T_6) نشانه به مکان P_8 اعمال می‌شود در هر مرحله از مراحل کار مدل،که اولویت دریافت شود. نشانه‌ها بلافاصله ازدو مکان فعال گرفته شده و از طریق گذرگاه مشترک بین دو مکان نشانه‌دار به مکان بعد از اعمال می‌شود. پس از آن، نشانه به مکان بعد اعمال می‌شود.

چون تغییر زمان در رنگ زرد مجاز نمی‌باشد در مکانهایی که رنگ چراغ زرد است درخواست اولویت وجود ندارد. در صورتی که دوباره سیستم اولویت دریافت کند، مشابه مراحل بالا دوباره تکرار می‌شود و در غیر این صورت مدل همان مراحل اصلی را طی می‌کند. به هنگام دریافت اولویت توسط سیستم اولویت دهی، شروط زیر روی اولویت مذکور اعمال و به مدل پتری تحمیل می‌شود.

۱-پس از دریافت یک اولویت توسط سیستم از یک مسیر مدت زمان ۲۰ ثانیه تا دریافت اولویت بعدی از همان

مسیرطول می‌کشد.

۲- در صورت دریافت اولویت از دو مسیر به صورت همزمان، اولویت به مسیری اعمال می‌شود که چراغ آن مسیر سبز یا زرد است.

در صورتی که پیام اولویت در زمانی که نشانه در مکان P_0 است دریافت شود. چون در مرحله بعد از طریق گذرگاه t_1 هنوز ۱۰ ثانیه برای عبور اتوبوس وجود دارد. پیام اولویت در مدل اعمال نمی‌شود و نشانه از طریق گذرگاه t_8 با فعالیت کمان فعال کننده (کمان بین مکان P_0 و گذرگاه t_8 که با رنگ قرمز نشان داده شده است) دفع می‌شود. در صورتی که دوباره سیستم اولویت دریافت کند، مشابه مراحل بالا دوباره تکرار می‌شود و در غیر این صورت مدل همان مراحل اصلی را طی می‌کند.

مدل پتری شکل (۲) مربوط به یک مسیر (دو خیابان موازی) می‌باشد و در ادامه مدل یک مسیر دیگر نیز به مدل اضافه می‌شود.

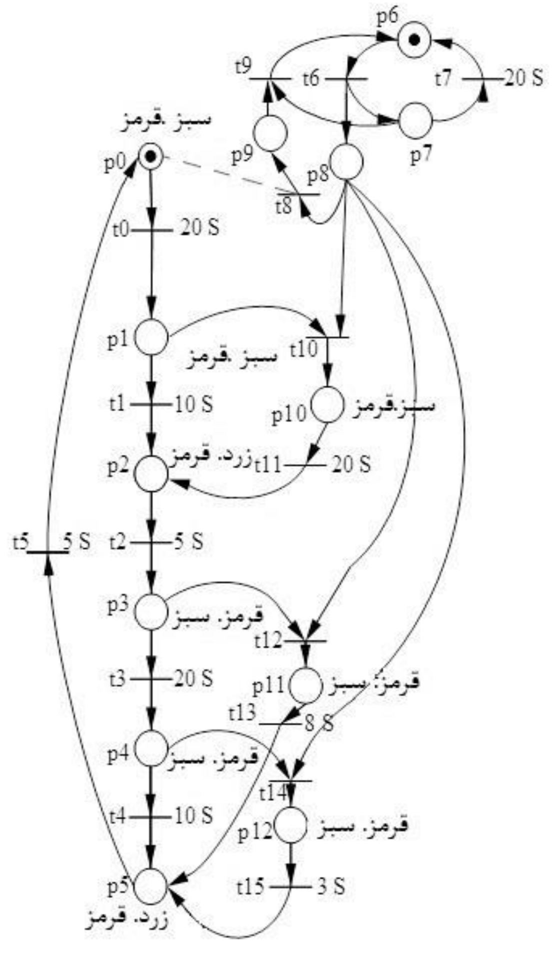
۳-۱-۳- مدل نهایی

شکل (۳) قسمت سوم مدل پتری و تکمیل کننده مدل است و همانند قسمت دوم به مدل اضافه شده نحوه کار آن همانند قسمت دوم است با این تفاوت که در این قسمت زمانهای مربوط به گذرگاه‌ها تغییر می‌کند.

دو کمان غیر فعال کننده به این خاطر در مدل گنجانده شده، که در صورتی که یک پیام اولویت از یک خیابان دریافت شود خیابان دیگر اجازه اعمال اولویت به مدل را نداشته باشد تا زمانی که نشانه از مکانهای مبدا حذف شود. در مکانهای دیگر مدل چون با اعمال اولویت، نشانه از مسیر اصلی خارج شده و به مسیر مدل اولویت آن خیابان برمی‌گردد، به کمان غیر فعال کننده احتیاج نیست.

۴- شبیه‌سازی

در این مرحله میزان کارایی مدل ارائه شده را آزمایش می-کنیم. آزمایش به این ترتیب است که، با دادن مقادیر تصادفی از نوع گوسی به ورودی یک بار به یک سیستم اولویت دار(مدل نهایی) و یک بار به یک سیستم بدون اولویت(بدون در نظر گرفتن اولویتها در حقیقت همان مدل اولیه) و مقایسه مقادیر خروجی این دو سیستم، میزان تاثیر سیستم اولویت دهی مشخص می‌شود. برای رسیدن به این هدف، مدل دو سیستم را در نرم افزار مطلب تعریف کرده‌ایم وبا اعمال مقادیر ورودی و مشاهده خروجی دو سیستم، شاهد کاهش زمان مسافرت‌های شهری هستیم. به منظور سنجش میزان تأثیر سیستم بر ترافیک شهری دو سیستم را در دو حالت خیابان‌های شلوغ و خلوت بررسی می‌کنیم. چون تغییرات عبور و مرور در واحد ثانیه ملموس‌تر است تغییرات در برنامه در هر ثانیه اتفاق می‌افتد. تعداد خودروهای که به هر مسیر اضافه می‌شوند، با یک ماتریس تصادفی که آن هم از جنس گوسین می‌باشد، هستند، که به صورت تعداد خودرو در هر ثانیه در نظر گرفته شده است.



شکل۲-مدل پتری درخواست اولویت

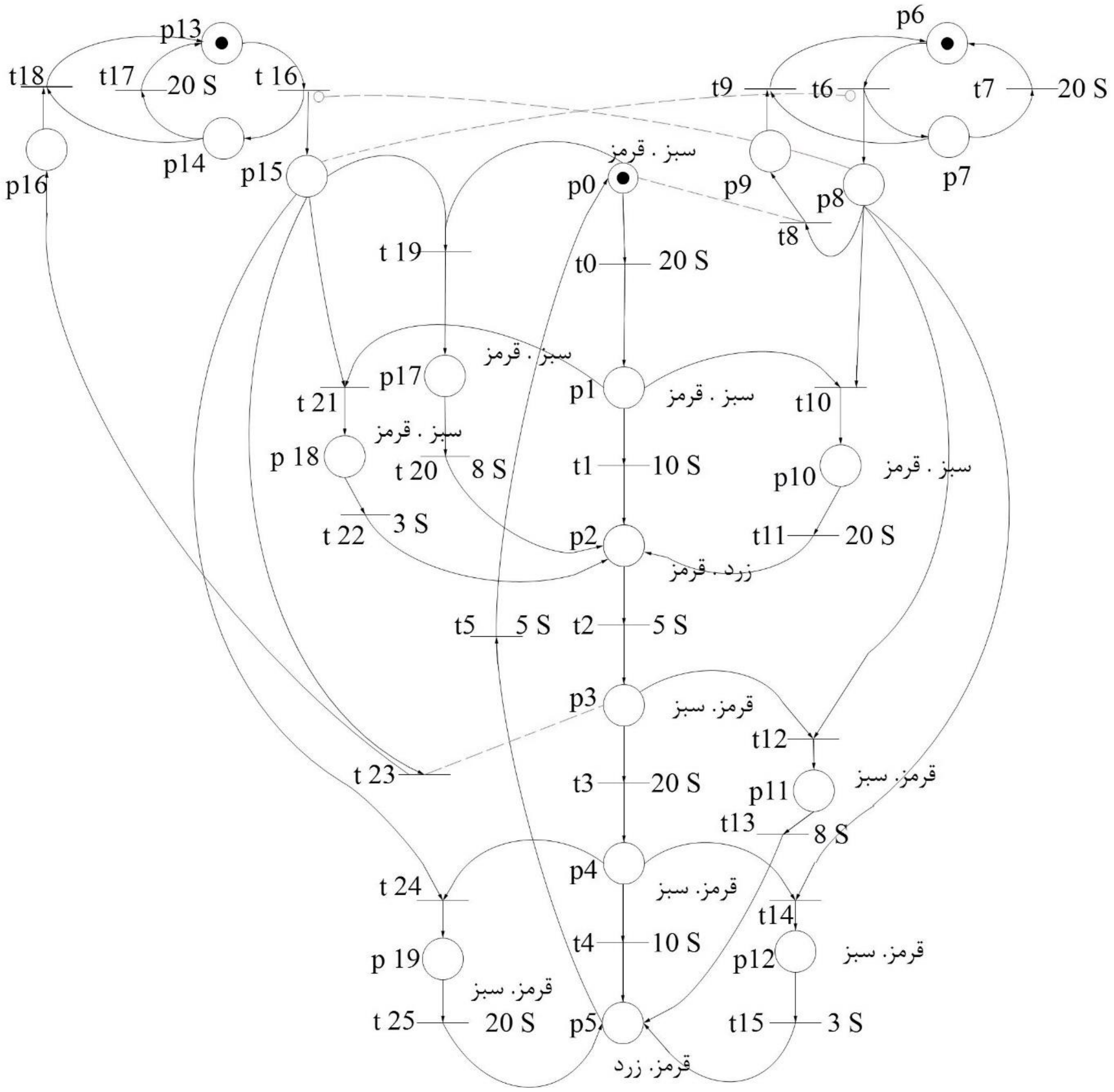
همچنین مقادیر تعداد خودروهای اولیه واقع در هر مسیر از چهارراه نیز به صورت تصادفی است، که در هر دو سیستم با اولویت و بدون اولویت یکی در نظر گرفته شده است تا شرایط کاملاً یکسان باشد. مقادیر مورد نظر در برنامه در طول نیم ساعت رفت آمد خودروها و گردش چراغ راهنمایی مورد بررسی قرار گرفته است. متوسط تعداد مسافر برای هر خودرو شخصی ۲ نفر و هر اتوبوس ۲۵ نفر در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است مقادیر ورودی اعمال شده به سیستم‌ها از مقادیر واقعی برداشت شده از یک چهارراه واقع در شهر مشهد می‌باشند و بسیار به واقعیت نزدیک هستند.

جدول۳-جدول حالت مدل پتری درخواست اولویت

P_6	آماده برای دریافت اولویت خیابان اول
P_7	اولویت خیابان اول دریافت شد تایمر روشن
P_8	دریافت اولویت خیابان اول و آماده برای اعمال به سیستم در هر مرحله از رنگ چراغ
P_9	دریافت اولویت خیابان اول در ۲۰ ثانیه اول رنگ سبز مسیر اول وآماده برای بازگشت به موقعیت دریافت اولویت در مراحل بعد
P_{10}	اولویت خیابان اول دریافت شده چراغ سبز مسیر اول و چراغ قرمز مسیر دوم تایمر روشن
p_{11}	اولویت خیابان اول دریافت شده چراغ قرمز مسیر اول و چراغ سبز مسیر دوم تایمر روشن
p_{12}	اولویت خیابان اول دریافت شده چراغ قرمز مسیر اول و چراغ سبز مسیر دوم تایمر روشن
T_6	دریافت پیام اولویت یک اتوبوس از خیابان اول
T_7	آماده‌سازی سیستم برای دریافت دوباره پیام اولویت خیابان اول سرریزشدن تایمر ۲۰ثانیه
T_8	حذف تقاضای اولویت خیابان اول در ۲۰ ثانیه اول چراغ سبز
T_9	آماده‌سازی سیستم برای دریافت دوباره پیام اولویت خیابان اول بدون وقفه(بدون نیاز به پیشامد)
T_{10}	اعمال تقاضای اولویت با توسعه زمان سبز(بدون نیاز به پیشامد)
T_{11}	سرریز شدن تایمر ۲۰ ثانیه
T_{12}	کوتاه کردن زمان سبز طرف مقابل (بدون نیاز به پیشامد)
T_{13}	سرریز شدن تایمر ۸ ثانیه
T_{14}	کوتاه کردن زمان سبز طرف مقابل (بدون نیاز به پیشامد)
T_{15}	سرریز شدن تایمر ۳ ثانیه

جدول۴-جدول حالت مدل نهایی

p_{13}	آماده برای دریافت اولویت خیابان دوم
p_{14}	اولویت خیابان دوم دریافت شد
p_{15}	دریافت اولویت خیابان دوم و آماده برای اعمال به سیستم
p_{16}	دریافت اولویت خیابان دوم در ۲۰ ثانیه اول رنگ سبز مسیر اول وآماده برای بازگشت به موقعیت دریافت اولویت در مراحل بعد
p_{17}	اولویت خیابان دوم دریافت شده چراغ سبز مسیر اول و چراغ قرمز مسیر دوم تایمر روشن
p_{18}	اولویت خیابان دوم دریافت شده چراغ سبز مسیر اول و چراغ قرمز مسیر دوم تایمر روشن
P_{19}	اولویت خیابان دوم دریافت شده چراغ قرمز مسیر اول و چراغ سبز مسیر دوم تایمر روشن
T_{16}	دریافت پیام اولویت یک اتوبوس از خیابان دوم
T_{17}	آماده سازی سیستم برای دریافت دوباره پیام اولویت خیابان دوم روشن شدن تایمر ۲۰ثانیه
T_{18}	آماده سازی سیستم برای دریافت دوباره پیام اولویت خیابان دوم بدون وقفه(بدون نیاز به پیشامد)
T_{19}	کوتاه کردن زمان سبز طرف مقابل (بدون نیاز به پیشامد)
T_{20}	سرریز شدن تایمر ۸ ثانیه
T_{21}	کوتاه کردن زمان سبز طرف مقابل (بدون نیاز به پیشامد)
T_{22}	سرریز شدن تایمر ۳ ثانیه
T_{23}	حذف تقاضای اولویت خیابان دوم در ۲۰ ثانیه اول چراغ سبز
T_{24}	اعمال تقاضای اولویت با توسعه زمان سبز(بدون نیاز به پیشامد)
T_{25}	سرریز شدن تایمر ۲۰ ثانیه



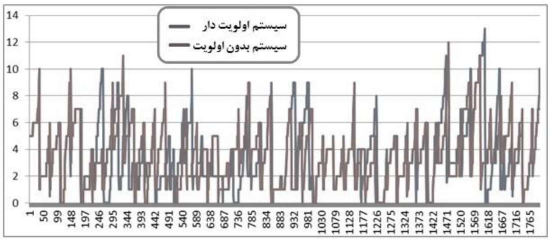
شکل ۳- مدل نهایی پتری

اصطلاح خیابان شلوغ به خیابانی اطلاق می‌شود که میزان تردد خودروها و اتوبوسها نسبت به خیابانهای مشابه و هم عرض بیشتر است. در خیابان خلوت این مقدار کمتر است. نرخ رفت و آمد خودروها در این تحقیق در خیابان شلوغ یک خودرو در هر ۷ ثانیه و یک اتوبوس در هر ۱۱۰ ثانیه در نظر گرفته شده است و در خیابان خلوت این مقادیر یک خودرو در هر ۲۰ ثانیه و یک اتوبوس در هر ۳۰۰ ثانیه می‌باشد. درنیم ساعت گردش رنگ متوالی چراغ راهنمایی، نتایج زیر به دست آمد. همچنین دو سیستم را در دو حالت شلوغ و خلوت بررسی می‌کنیم که نمایانگر یک دو ساعت از شبانه روز با دو زمان متفاوت است. به این ترتیب میزان کارائی مدل در شرایط مختلف و ساعتهای مختلف روز با بار ترافیکی متفاوت مشخص می‌شود.

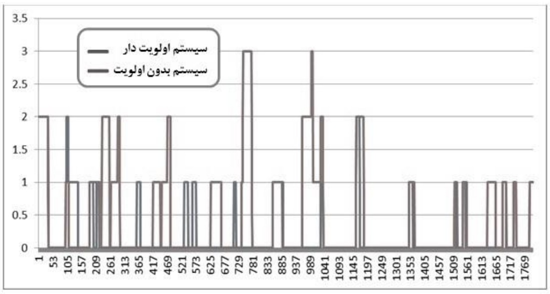
۴-۱- شبیه سازی زمان پر تردد

شکل (۴) نمودار مجموع خودروهای شخصی متوقف شده در خیابانهای یک چهارراه در شرایط شلوغ را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود ترافیک خودروهای شخصی در این مرحله مقداری زیادتر شده است. و زمان انتظار خودرو های شخصی کمی بیشتر شده است که این پدیده دربرابر اولویتی که به اتوبوس داده می‌شود، منطقی است. شکل (۵) نمایانگر مجموع اتوبوس های متوقف‌شده در خیابانهای چهارراه در شرایط فوق است و می‌توان گفت

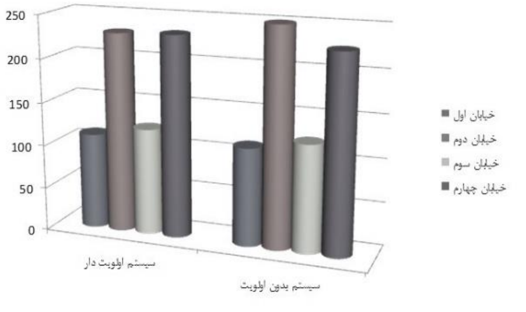
مقدار ترافیک اتوبوسها کمتر شده است. نکته قابل توجه این است که این زیاد شدن ترافیک خودروهای شخصی با کم شدن زمان انتظار اتوبوس‌ها جبران می‌شود. به نحوی که در مجموع زمان انتظار مسافرین به سبب ترافیک کمتر اتوبوس‌ها و زمان انتظار آنها باتوجه به ضرایب مسافران بسیار کمتر می‌شود. شکل‌های (۶) و (۷) نمودار تعداد خودروهای عبور کرده از چهارراه آمده است. جمع خودروهای عبوری از چهار خیابان چهارراه شلوغ در نیم ساعت در سیستم اولویت دار ۶۹۶ عدد و در سیستم بدون اولویت ۷۱۳ عدد است. ملاحظه می‌شود تعداد کل خودروهای عبوری ۱۷ عددکمتر شده است که عامل اصلی آن افزایش ترافیک خودروها در سیستم اولویت دار است.



شکل۴-نمودار مجموع خودروهای متوقف در چهارراه در هر ثانیه در خیابان شلوغ

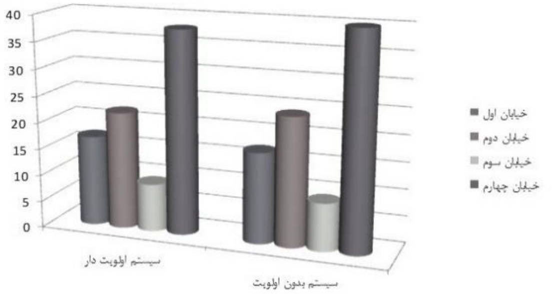


شکل ۵-نمودارمجموع اتوبوس متوقف در چهارراه در هر ثانیه در خیابان شلوغ



شکل۶-نمودارتعداد خودروهای عبور کرده از چهارراه در نیم ساعت در خیابان شلوغ

جمع اتوبوس‌های عبوری از چهار خیابان چهارراه شلوغ در نیم ساعت در سیستم اولویت دار ۹۰ عدد و در سیستم بدون اولویت ۸۶ عدد است. ملاحظه می‌شود تعداد کل خودروهای عبوری ۴ عدد بیشتر شده است که عامل اصلی آن کاهش ترافیک اتوبوسها در سیستم اولویت دار است.



شکل۷-نمودار تعداد اتوبوسهای عبور کرده از چهارراه در نیم ساعت در خیابان شلوغ

در جدول ۴ ملاحظه می‌شود که متوسط مجموع زمانهای توقف برای مسافرین در حالت سیستم اولویت دار به مقدار ۲۸۶۱ نفر مسافر در نیم ساعت کمتر شده است.

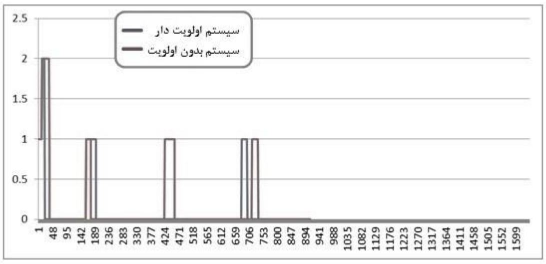
جدول۴-مجموع متوسط زمانهای توقف مسافرین در خیابان شلوغ

مجموع متوسط نفرزمان توقف مسافرین	سیستم اولویت دار	سیستم بدون اولویت
	۳۲۹۰۵	۳۵۷۶۶

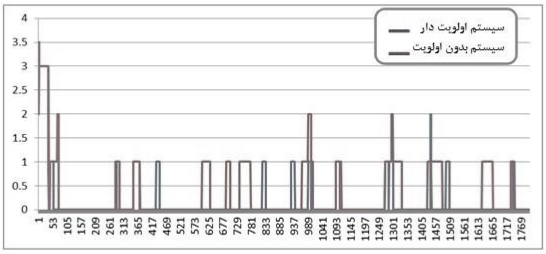
که نفر مسافر صرفه جویی شده در این حالت برابر ۸ درصد است. متوسط مدت زمان صرفه جویی‌شده در جابجایی هر مسافر برابر ۰/۸ ثانیه در توقف متوسط حدود ۱۰ ثانیه ای می‌باشد.

۴-۲- شبیه سازی زمان کم تردد

در این قسمت متوسط تعداد ورود خودرو هر ۲۰ ثانیه یک خودرو و هر ۳۰۰ ثانیه ۱ اتوبوس در نظر گرفته شده است. به اصطلاح خیابان خلوت است. همانطور که ملاحظه می‌کنید ترافیک خوروها و اتوبوس‌ها به مقدارکمی تغییر کرده است و در مجموع زمان توقف به نسبت کمتری نسبت به خیابان شلوغ تغییر می‌کند.

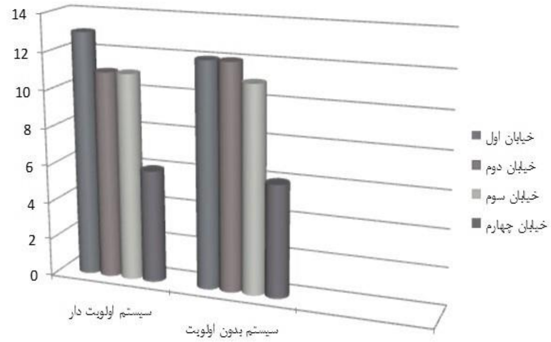


شکل۸-نمودار تعداد خودروهای عبور کرده از چهارراه در نیم ساعت در خیابان خلوت



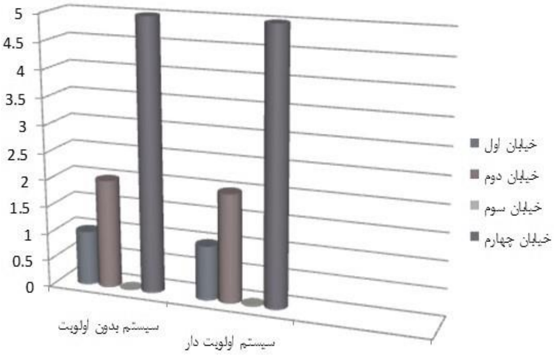
شکل۹-نمودارتعداد اتوبوسها عبور کرده از چهارراه در نیم ساعت در خیابان خلوت

شکلهای (۱۰) و (۱۱) نشان دهنده این است که تعداد خودروهای شخصی و اتوبوس های عبورکرده از چهارراه در دو سیستم تقریبا برابر است.



شکل۱۰-نمودارتعداد خودروهای عبور کرده از چهارراه در نیم ساعت در خیابان خلوت

جمع خودروهای عبوری از چهار خیابان چهارراه خلوت در نیم ساعت در سیستم اولویت دار ۴۱ عدد و در سیستم بدون اولویت ۴۱ عدد است ملاحظه می‌شود تعداد کل خودروهای عبوری نیز تقریبا برابر است.



شکل۱۱-نمودارتعداد اتوبوس عبور کرده از چهارراه در نیم ساعت در خیابان خلوت

جمع اتوبوسهای عبوری از چهار خیابان چهارراه خلوت در نیم ساعت در سیستم اولویت دار ۸ عدد و در سیستم بدون اولویت ۸ عدد است. ملاحظه می‌شود تعداد کل خودروهای عبوری نیز تقریبا برابر است.

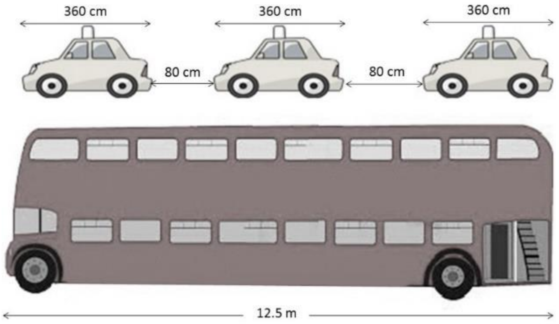
جدول۵-مجموع متوسط زمانهای توقف مسافرین در خیابان خلوت

مجموع متوسط نفرزمان توقف مسافرین	سیستم اولویت دار	سیستم بدون اولویت
	۲۸۰۳۱	۲۹۰۳۴

در جدول ۵ ملاحظه می‌شود که متوسط مجموع زمانهای توقف برای مسافرین در حالت سیستم اولویت دار به مقدار ۱۰۰۳نفر مسافر در نیم ساعت کمتر شده است، که نفر مسافر صرفه‌جویی شده در این حالت برابر۳/۴۵ درصد است. متوسط مدت زمان صرفه جویی شده در جابجایی هر مسافر برابر ۰/۳۴۵ثانیه در توقف متوسط حدود ۱۰ ثانیه‌ای می‌باشد.

۴-۳- ترافیک خودرو

طبق آمار طول هر اتوبوس ۱۲/۵ متر و طول هر خودرو شخصی ۳/۶۰ متر است. مطابق شکل (۱۲) اگر هر خودرو با خودروی جلویی به اندازه ۸۰ سانت فاصله داشته باشد، می‌توان گفت که هر اتوبوس به اندازه ۳ خودرو شخصی فضا اشغال می‌کند. پس با عبور سریعتر هر اتوبوس فضا برای تردد ۳ خودرو شخصی آزاد می‌شود و از ترافیک خودرو نیز بدین وسیله کاسته می‌شود. در نتیجه متوسط زمان توقف خودرو کم می‌شود. همچنین از بار ترافیکی خودروهای ایستاده پشت چراغ قرمز کم می‌شود.

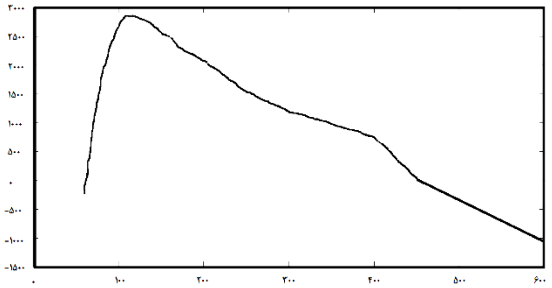


شکل۱۲-هراتوبوس معادل سه عدد خودرو شخصی

۴-۴- بهترین زمان تردد اتوبوس

شکل۱۳ نشانگر تفاوت مقدار متوسط مجموع زمانهای توقف خودروها در دو سیستم گفته شده دریک واحد زمانی مشخص است. همانطور که ملاحظه می‌کنید، زمان مناسب ورود هر اتوبوس به چهارراه تقریبا بین ۹۵ تا ۳۰۰ ثانیه است. که این زمان به طور تقریبی در ۱۱۰ ثانیه به حداکثر خود می‌رسد. تقریبا در زمان کمتر از ۸۰ ثانیه و بیشتر از ۴۶۰ ثانیه سیستم اولویت‌دار نتیجه معکوس نسبت به

سیستم بدون اولویت می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت به جهت موثر بودن سیستم اولویت‌دار، زمان متوسط ورود هر اتوبوس به چهارراه باید ۹۵ تا۳۰۰ ثانیه باشد تا سیستم بتواند در حالت بهینه کار کند.



شکل۱۳-نمودار‌بهترین زمان تردد اتوبوس

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله شیوه کنترل ویژه‌ای برای چراغهای راهنمایی جهت کاهش زمان مسافرت‌های درون شهری ارائه شده است. در این روش با استفاده از مدل‌سازی با شبکه‌های پتری و اعمال مکانیزم اولویت‌دهی به وسایل حمل و نقل عمومی سبب عبور سریعتر این وسایل و در نتیجه سبب کاهش متوسط زمان سفر تا حدود ۸ درصد شده است.

در بیشتر مدلسازی‌های که تاکنون ارائه شده بود، صرفاً کاهش ترافیک و کنترل چراغ راهنمایی مطرح بوده اما در مدل پیشنهادی علاوه بر کنترل چراغ راهنمایی، مدت زمان مسافرت‌های شهری کاهش یافته و به طبع آن ترافیک شهری نیز کاهش می‌یابد.

راه‌کار ارائه شده در این تحقیق، (روش اولویت‌دهی به وسایل حمل‌ونقل عمومی) می‌تواند به صورت چند جانبه در حل مشکل ترافیک نقش داشته باشد. ملاحظه می‌شود که با این روش می‌توان در جهت توسعه بهینه حمل ونقل اتوبوس‌رانی شهری با یک ترافیک متعارف گام برداشت و نیاز به توسعه خطوط اتوبوس از نظرتعداد و از نظر وسعت مسیر کمتر می‌شود چرا که سرعت سیر اتوبوسها افزایش یافته و بر خلاف دیگر سیستم‌های اولویت دهی مانند خطوط ویژه اتوبوسرانی محدودیت زیادی برای اجرای آن وجود ندارد و در خیابان‌های با عرض کم نیز قابل اجرا می‌باشد. در این روش همیشه یک فضا با حجم زیاد (به اندازه عرض دو عدد اتوبوس) اشغال نیست و مسیر برای تردد دیگر خودروها تنگ نمی‌شود. با حرکت سریعتر اتوبوس‌ها، به میزان زیادی زمان انتظار مسافرین پایین آمده و در نتیجه مسافرت با اتوبوس به صرفه‌تر از استفاده از خودروهای شخصی می‌شود. از طرفی به سبب جثه بزرگ هر اتوبوس و فضای اشغال شده توسط آن نسبت به خودروهای شخصی با عبور هر چه سریعتر اتوبوس، به روان شدن ترافیک کمک شایانی می‌شود. با اجرای این سیستم در چهارراه‌های مسیر تردد یک اتوبوس، حتی اگر درصد کمی در زمان کل مسافرت صرفه جویی شود، در کل، شاهد کاهش قابل ملاحظه زمان مسافرت با اتوبوس خواهیم بود.

با استناد به موارد ذکر شده می‌توان گفت نوآوری این مقاله ارائه یک روش کنترل چراغ راهنمایی یک چهارراه است، به گونه‌ای که زمان مسافرت‌های شهری با حمل و نقل اتوبوسرانی کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته و حجم ترافیک نیز هم زمان کاسته می‌شود.

مراجع

[1] H. Wang, G. F. List, and F. DiCesare, "Modeling and evaluation of traffic signal control using timed Petri nets", Proceeding of IEEE Systems Man and Cybernetics, Vol.2, October 1993, pp.180-185.

[2] C. Tolba, P. Thomas, A. ElMoudni, and D. Lefebvre, "Performances evaluation of the traffic control in a single crossroad by Petri nets", Emerging Technologies and Factory Automation,Vol. 2, October 2003, pp. 157-160.

[3] M. Dotoli M. P. Fanti, and G. Iacobellis "Validation of an urban traffic network model using colored timed Petri nets", Proceeding of IEEE Systems Man and Cybernetics, Vol.2, 2005, pp. 1347-1352.

[4] G. F. List, and M.Certin, "Modeling Traffic Signal Control Using Petri Nets" IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems., Vol. 5, No. 3, 2004, pp.177-178.

[5] Y. S. Huang, T. H. Chung, and J. H. Lin, "A timed coloured Petri net supervisor for urban traffic networks", Computational Engineering in Systems Application, 2006, pp. 2151-2156.

[6] J. Li, and Q. Li, "Modeling Of Urban Traffic System Based On Dynamic Stochastic Fluid Petri Net" Workshop on Power Electronics and Intelligent Transportation System, 2008, pp. 485-491.

[7] M.S. Soares, and J.L.M. Vrancken, "Road Traffic Signals Modeling and Analysis with Petri nets and Linear Logic", Proceedings of the IEEE International Conference on Networking Sensing and Control (ICNSC 2007), London UK, 2007, pp. 169-174.

[8] J. Julvez, and R. Boel, "A Continuous Petri Net Approach for Model Predictive Control of Traffic Systems", IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. Syst. Humans, Vol. 40, No. 4, Jul 2010, pp. 686-697.

[9] M. K. Jbira, and M. Ahmad, "Computer Simulation: A Hybrid Model for traffic Signal Optimization", Journal of Information Processing Systems, Vol. 7, No. 1, 2011, pp. 1-16.

[10] K. Salimifard, and M. Ansari, "Modeling and simulation of urban traffic using Colored Petri Nets", Journal of Industrial Management, Vol.8, 2016, pp. 381-404.

[11] H. Dezani, R. D. S. Bassi, N. Marranghello, L. Gomes, F. Damiani, and I. N. D. Silva, "Optimizing urban traffic flow using Genetic Algorithm with Petri net analysis as fitness function", Neuro computing, Vol.124, 2014, PP. 162-167 .

[12] Y. Zhang, W. Qiang, and Z. Yang, "A New Traffic Signal Control Method Based on Hybrid Colored Petri Net in Isolated Intersections", International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, Vol.15, No. 2, 2017, pp. 98-107.