# عملکرد تقاطعهای هوشمند متصل به سیستم کنترل مرکزی SCATS تحت تأثیر اولویت‌دهی به خودروهای امدادرسان و ناوگان حمل‌ونقل همگانی به کمک سیستم DSRC

**مقاله پژوهشی - کاربردی**

حمید میرزاحسین*، استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
سپیده عکاسی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، شرکت کنترل ترافیک تهران، تهران، ایران
وحید نوفرستی، دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
مسعود شکیبایی‌فر، دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mirzahossein@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۸/۱۵- پذیرش: ۹۸/۰۲/۱۵
صفحه ۴۹-۳۷

**چکیده**

*امروزه باتوجه به توسعه زیرساخت‌های ارتباطی، فرصتی مناسب جهت بهبود شرایط حمل‌ونقل شهری با توجه به ساختارهای حمل‌ونقل هوشمند فراهم آمده است. کنترل هوشمند تجهیزات و وسایل حمل‌ونقلی یکی از جنبه‌های این قبیل از ساختارهای حمل‌ونقل هوشمند تلقی می‌شود. یکی از مزایای این سیستم‌ها، کنترل هوشمند مرکزی چراغ‌های راهنمایی در جهت اولویت‌دهی به خودروهای امدادرسان و ناوگان حمل‌ونقل همگانی است که موجب تسریع عملیات امدادرسانی و افزایش مطلوبیت استفاده از حمل‌ونقل همگانی برای شهروندان می‌شود.از سویی دیگر، فناوری نوین ارتباطات خودرویی در قالب امواج اختصاصی برد کوتاه (DSRC) برقراری ارتباطات خودروها با یکدیگر (V2V) و با تجهیزات کنار مسیر (V2I) را امکان‌پذیر ساخته است. از تلفیق این فناوری با سیستم کنترل مرکزی هوشمند چراغ‌های راهنمایی، امکان تخصیص زمان سبز در هنگام عبور خودروهای امدادرسان و ناوگان حمل‌ونقل همگانی از تقاطعات هوشمند و تمدید آن تا زمان عبور از تقاطع وجود دارد. هرچند این اولویت‌دهی موجب تأخیر در تخلیه بار ترافیکی سایر رویکردها می‌شود. این مقاله به بررسی میزان تأخیر و توقف در رویکردهای اصلی و فرعی تقاطع نلسون ماندلا-حقانی در زمان عبور خودروهای آتش‌نشانی و همچنین میزان حجم عبوری از تقاطع اشرفی - مرزداران در زمان عبور اتوبوس‌های BRT. با اخذ اولویت عبور به کمک DSRC پرداخته است. آمار حجم عبوری از هر یک از رویکردهای تقاطع محاسبه و میزان تأخیر با پارامترهای محاسبه‌شده توسط سیستم کنترل مرکزی SCATS ارزیابی‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه زمان تأخیر و توقف نشان‌دهنده آن است که با حضور خودرو امدادرسان و BRT در مسیرهای موردبررسی و تمدید زمان سبز در آن محورها امکان عبور خودروهای ویژه فراهم‌شده اما این امر باعث تأخیر در تخلیه بار ترافیکی سایر رویکردهای تقاطع می‌شود. البته با توجه به اهمیت بالای عبور به‌موقع خودروهای امدادرسان و اتوبوس‌های BRT، تأخیر ایجادشده در سایر رویکردها در سیکل‌های زمانی بعد توسط سیستم کنترل مرکزی هوشمند قابل جبران خواهد بود. لذا این امر باید به‌سرعت صورت پذیرد تا از تحمیل تأخیر ایجاد شده به سایر محورهای شبکه جلوگیری کند.*

**واژه‌های کلیدی:** اولویت عبور در خطوط BRT ، حجم تردد، فناوری ارتباطات خودروی DSRC، کلان‌شهر تهران

## ۱-مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و به‌تبع آن افزایش تقاضای سفرهای شهری، باعث به وجود آمدن مشکلاتی ازجمله ترافیک‌های سنگین در معابر شهری شده است. ترافیک‌های سنگین شهرها نیز موجب هدر رفتن منابعی مانند زمان افراد

و سوخت وسایل نقلیه می‌شود. این هدر رفت منابع، هزینه‌های بالایی را به دولت‌ها تحمیل می‌کند که گاهی جبران‌ناپذیرند. ازاین‌رو مدیریت بهینه ترافیک و روان‌سازی مسیرهای درون‌شهری می‌تواند صرفه‌جویی قابل قبولی را در هزینه‌های شهری به همراه داشته باشد. یکی از جدیدترین و مؤثرترین راهکارهای مدیریت ترافیک که از فن‌آوری اطلاعات نشأت می‌گیرد ایده به‌کارگیری سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS) است. درواقع سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند، مفهومی نو در عرصه مهندسی ترافیک هستند که نقش بسیار مهمی در ایمنی و پویایی حمل‌ونقل به عهده دارند. این سامانه‌ها باعث افزایش کارایی شبکه حمل‌ونقل شده است که با گسترش آن در مدیریت شهری می‌توان بسیاری از مشکلات حمل‌ونقل را حل نمود. ارتباطات بی‌سیم وسایل نقلیه دارای پتانسیل به منظور قابلیت میزبانی به منظور فراهم آوری کاربردهای جدید هستند. ازاین‌رو تلاش بسزایی در صنعت وسایل نقلیه به‌منظور توسعه فنّاوری ارتباط برد کوتاه برای ارتباط میان وسایل نقلیه با یکدیگر و وسایل نقلیه با تجهیزات کنار جاده صورت گرفته است. تأثیر این فنّاوری به‌طور عمده وابسته به قابلیت همکاری آن هست(Kenney ۲۰۱۱). ایده تبادل اطلاعات میان وسایل نقلیه و زیرساخت‌های کناری جاده به منظور کاهش کشته‌ها و گرفتگی‌های ترافیکی، توانسته است توجه زیادی را به خود جذب کند(Cheng et al. ۲۰۰۷). وسایل نقلیه اورژانسی نیازمند مسیر روان و ایمن به منظور صرفه‌جویی در زمان می‌باشند(Huang et al. ۲۰۰۹). وسایل نقلیه اورژانسی اجازه دارند تا به منظور دستیابی هر چه سریع‌تر به موقعیت مورد نظر قوانین قراردادی راه‌ها را بشکنند ازاین‌رو اولویت دادن به وسایل نقلیه اورژانسی و پیش تخلیه چراغ یکی از اقدامات ضروری برای هر وسیله نقلیه اورژانسی به‌منظور افزایش ایمنی و کارایی است(Luo and e,Shiu Huang, ۲۰۱۵). مسلم است که سرویس‌های اورژانسی برای چگونگی دستیابی سریع‌تر به موقعیت حادثه، تصمیم می‌گیرند. زمان‌بندی بهینه چراغ راهنمایی و به طور ویژه برنامه‌ی زمانبدی برای سیکل چراغ راهنمایی وظیفه دشواری در کلان شهرها بوده که پتانسیل ایجاد منفعت در مصرف انرژی، برنامه‌ریزی جریان ترافیک، امنیت عابران و موضوعات محیط زیستی را دارا است(Alba and Olivera, Nieto,-Garcia ۲۰۱۳).

ازاین‌رو استفاده از ارتباطات بی‌سیم میان وسایل نقلیه اورژانسی و با زیرساخت‌های حمل‌ونقلی برای تغییر در زمان‌بندی چراغ راهنمایی به منظور امکان پیش تخلیه در هنگام نزدیک شدن وسایل نقلیه اورژانسی به تقاطعات چراغ‌دار می‌تواند تأثیر بسزایی در زمان رسیدن به محل حادثه برای وسیله نقلیه اورژانسی داشته باشد. عموماً پیش تخلیه بر این اساس کار می‌کند که وسیله نقلیه اورژانسی توسط سنسور کنترل شناسایی شده و تا زمانی که وسیله نقلیه اورژانسی از تقاطع عبور نکرده، چراغ سبز شده و یا سبز نگه‌داشته می‌شود(Koonce ۲۰۰۸). در حال حاضر تکنولوژی‌های برای پیش تخلیه بر مبنای سیستم شناساگر موجود در آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که از این سیستم‌ها می‌توان به سیستم‌های چراغ، مادون قرمز، صوتی و رادیویی اشاره نمود. در سال ۲۰۰۸ نیز ولاد در مطالعه‌ای سیستم یادگیری مسیریابی طراحی شده به منظور سهولت حرکت وسایل نقلیه اورژانسی در میان شبکه‌ای از خیابان‌های شلوغ (با تراکم ترافیکی) را شرح داده است که سیستم مسیریابی بی‌درنگ با استفاده از تجهیزات GPS نصب شده داخل وسیله نقلیه میسر گردیده است (Vlad et al. ۲۰۰۸). هوانگ در سال ۲۰۰۹ مکانیسمی ارائه داد که یک سرور مرکزی برای پایش و کنترل تمامی داده‌های ترافیکی برای پشتیبانی از اطلاعات ترافیکی برای وسایل نقلیه اورژانسی که این سرور مرکزی وظیفه محاسبات کوتاه‌ترین مسیر حرکت برای عبور وسایل نقلیه را نیز بر عهده دارد. همچنین این پژوهشگر در سال ۲۰۱۵ مطالعه‌ای بر روی سیاست‌های پیش تخلیه برای وسایل نقلیه اورژانسی انجام داده است که موجب می‌شود شرایطی برای وسایل نقلیه اورژانسی فراهم شود که با زمان تأخیر کمتر از تقاطع عبور کند که این مطالعه با بهره‌گیری از مدل TPNs، مدل‌سازی و تحلیل سیستم کنترل ایمنی ترافیک برای پیش تخلیه وسایل نقلیه اورژانسی را انجام می‌دهد. در مطالعه دیگری بر روی دو منطقه کلان‌شهری ناهمگن و وسیع در باهایا بالانسا و مالاگا از الگوریتم PSO برای برنامه‌ی زمان‌بندی مناسب چراغ راهنمایی بهره گرفته شده و به منظور ارزیابی و حل مسئله از شبیه‌ساز خرد نگر ترافیکی sumo استفاده گردیده است(Alba and Olivera, Nieto,-aGarci ۲۰۱۳).

انیباسو در سال ۲۰۱۰ یک الگوریتم جدید ارائه کرد که از اطلاعات فضایی و زاویه‌ای وسیله نقلیه، حاوی پیام‌های اطلاع‌رسانی تعاونی برای پیشگیری از ترافیک در شبکه‌های حمل‌ونقل و پیش تخلیه در تقاطعات چراغ‌دار باهدف حداقل سازی میزان خطا استفاده می‌کرد(Unibaso et al. ۲۰۱۰). آکیلدیز نیز به بررسی جنبه‌های مختلف شبکه حمل‌ونقلی شامل در دسترس بودن، مقیاس‌پذیری، قابلیت اعتماد و سازگار داده‌ها در شبکه تعریف شده نرم‌افزاری پرداخته است و مکانیسم‌های مختلف ترافیک را مورد استفاده قرار داده و نحوه بکار گیری آن‌ها در شبکه تعریف شده نرم‌افزاری جریان آزاد شرح داده است(Akyildiz et al. ۲۰۱٤). سامانه‌های مختلفی به منظور کنترل مرکزی چراغ‌های راهنمایی طراحی شده‌اند. SCATS یکی از چندین سیستم موفق کنترل هوشمند مرکزی جهت کنترل چراغ‌های راهنمایی به صورت شبکه‌ای در دنیا است، که پس از بررسی‌های کارشناسی و مطابق با نیاز کلان‌شهر تهران توسط شرکت کنترل ترافیک تهران در سال ۱۳۷۲ خریداری و در تهران مورد بهره‌برداری قرار گرفت. بر اساس گزارش سالانه RTA سیستم SCATS تا سال ۲۰۱۳ میلادی تعداد ۳۷۰۰۰ تقاطع را در ۲۷ کشور جهان تحت کنترل داشته است. وظیفه اصلی این سیستم کاهش تأخیر و توقف وسایل نقلیه در تقاطعات و جلوگیری از هدر رفتن زمان سبز است. این امر بر پایه جمع‌آوری اطلاعات حجم ترافیک و تراکم خودروهای عبوری توسط شناساگرهای نصب شده پشت خطوط ایست در هر محور محقق گردیده و بر اساس آن بهترین زمان‌بندی برای تقاطعات تحت کنترل ارسال می‌شود. از دیگر مزایای سیستم SCATS برقراری موج سبز در محورهای اصلی است که موجب کاهش زمان سفر شده و درنهایت منجر به کاهش مصرف سوخت و به تبع آن کاهش آلاینده‌های محیط زیستی می‌شود. همچنین توجه به سیستم کنترل مرکزی هوشمند می‌تواند موجب تسریع در کمک‌رسانی به شهروندان می‌شود. علاوه بر این، از دیگر قابلیت‌های سیستم SCATS در مدیریت شهر هوشمند زمان دهی به ناوگان حمل‌ونقل همگانی ( اتوبوس‌های تندرو- BRT) در تقاطعات هوشمند جهت کاهش زمان سفرهای روزانه شهری می‌تواند تعریف شود. از دیگر راه‌کارهایی که در حال حاضر برای مدیریت و روان‌سازی ترافیک در دنیا مورداستفاده قرارگرفته است، به‌کارگیری سامانه ارتباطات هوشمند خودرویی در داخل و خارج از شهرها است. در این میان، فناوری DSRC که برای ارتباطات بین خودرویی استفاده می‌شود، پیاده‌سازی کاربردهای جدید و بهبود عملکرد بسیاری از کاربردهای موجود را امکان‌پذیر ساخته است. با توجه به اینکه سیستم SCATS در حدود ۵۰۰ تقاطع از شهر تهران را کنترل می‌کند، این مقاله به دنبال هم‌افزایی آن با سایر فناوری‌های نوین مانند DSRC است تا بتواند برای عبور خودروهای امدادی در مواقع اضطرار و همچنین اولویت عبور وسایل حمل‌ونقل همگانی با هدف افزایش مطلوبیت استفاده از آن‌ها راهگشا باشد. بنابراین، در این مطالعه به بررسی اثر استفاده توأم این ساختارهای هوشمند در تقاطعات پرداخته شده است. در ابتدا اولویت‌دهی عبور خودروهای امدادی در قالب عبور خودروهای آتش‌نشانی از تقاطع نلسون ماندلا _حقانی و سپس اولویت‌دهی عبور ناوگان حمل‌ونقل همگانی در قالب عبور اتوبوس‌های BRT از تقاطع اشرفی – مرزداران در کلان‌شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است.

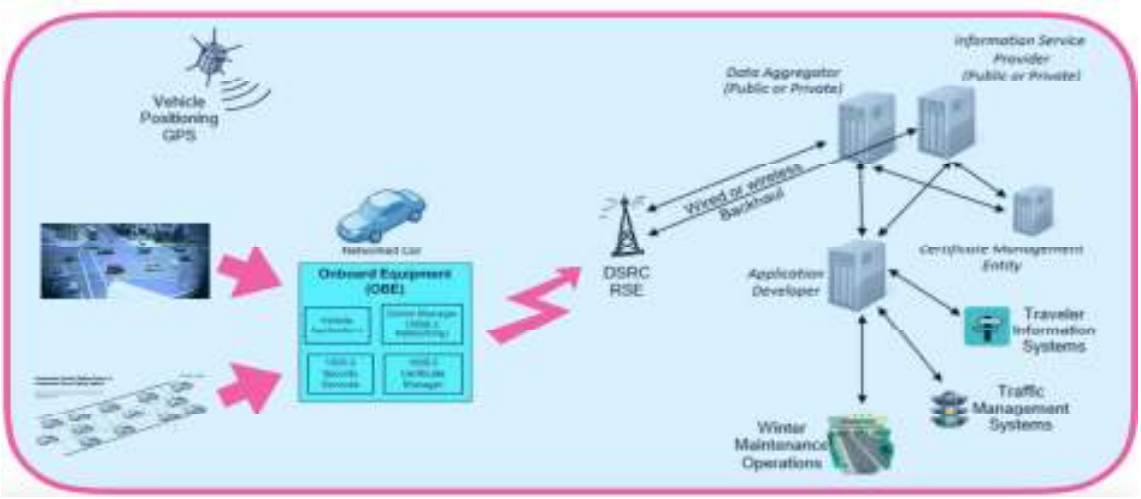
## ۲-عملکرد سیستم DSRC

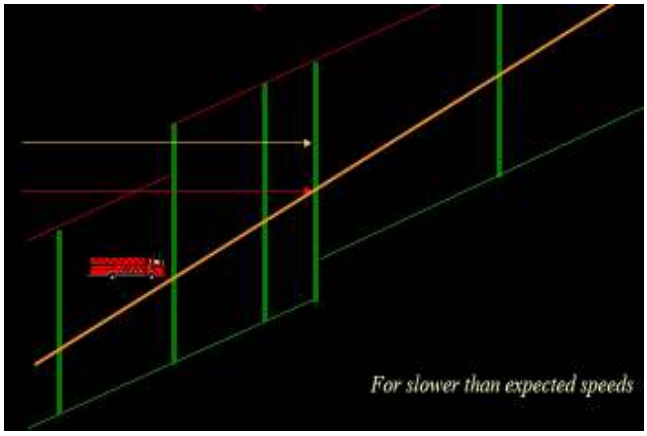
سیستم DSRC قابلیت اولویت‌دهی عبور از تقاطع‌های مجهز به چراغ راهنمایی هوشمند را فراهم می‌کند. این کاربرد می‌تواند از طریق ارتباطات DSRC اطلاعات مربوط به‌وسیله نقلیه با اولویت عبور را به‌وسیله کنترلر هوشمند واقع در تقاطع به‌عنوان یک تقاضا عبور کسب کرده و بر حسب اطلاعات دریافتی از وضعیت ترافیک تقاطع، اولویت مورد نظر برای عبور را در سیستم فازبندی اعمال نماید. این اولویت به صورت اتمام زمان سبز فاز مقابل و اجرای زمان سبز انجام می‌شود. شکل ۱ نحوه عملکرد سیستم DSRC جهت الویت دهی مناسب و تنظیم زمان‌بندی قابل قبول کنترلر برای تقاطع هوشمند را نشان می‌دهد.

### ۲-۱-عملکرد تقاطعات هوشمند در اولویت‌دهی به خودروهای امدادرسانی

طریقه اولویت‌دهی به خودروهای امدادرسان در سیستم کنترل مرکزی هوشمند بدین‌صورت است که ابتدا اطلاعات مربوط به مسیرهای ویژه خودروهای امدادرسان) محل ایستگاه‌های آتش‌نشانی، مسیر تردد خودروهای آتش‌نشانی،

تقاطعات موجود در مسیرهای ویژه و...) جمع‌آوری‌شده و سپس برنامه‌های از پیش تعریف‌شده در سیستم هوشمند برنامه‌ریزی می‌شود. با حضور خودروهای امدادرسان در مسیر ویژه، برنامه از پیش تعریف‌شده در سیستم کنترل مرکزی فعال‌شده و تا زمان عبور خودرو از تقاطع زمان سبز مسیر موردنظر تمدید خواهد شد.




**شکل۲. تصویر امدادرسانی در مسیر ویژه**

اولویت‌دهی عبور خودروهای امدادرسان در سیستم هوشمند به دو طریق صورت می‌گیرد:

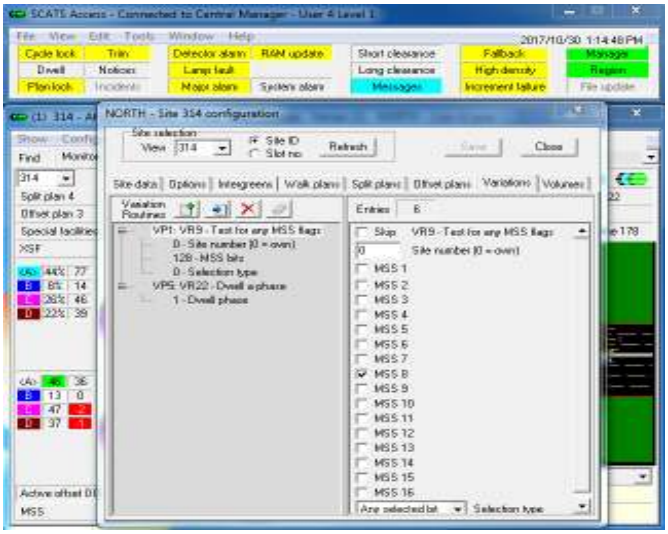
### ۲-۲-اولویت‌دهی با برنامه مدیریت رویداد(Incident Manager)

در این روش پس از شناسایی محل استقرار ایستگاه آتش‌نشانی و مسیر ویژه عبور خودروهای آتش‌نشانی، در سیستم کنترل مرکزی SCATS برنامه‌ای جهت اولویت زمان دهی به مسیر ویژه و تمدید زمان سبز محور موردنظر تعریف می‌شود. در صورت عبور خودروهای آتش‌نشانی از مسیر ویژه و اطلاع‌رسانی به مرکز کنترل ترافیک، برنامه از پیش تعریف شده توسط سیستم کنترل مرکزی هوشمند فعال و تا زمان عبور خودروها تمدید می‌شود. لازم به ذکر است برنامه تعریف‌شده مطابق آنچه در شکل ۳ نشان داده شده است قابلیت تغییر مدت زمان اجرا جهت عبور خودروهای امدادرسان را دارد.

**شکل۳. تعریف برنامه اجرای مسیر ویژه در سیستم SCATS**

### ۲-۳-اولویت‌دهی با استفاده از سیستم بی‌سیم نصب شده در خودرو

در این روش با استفاده از سیستم بی‌سیم نصب‌شده در خودروی آتش‌نشانی و مشخص نمودن فاصله بحرانی از تقاطع، تقاضای زمان سبز برای مسیر ویژه توسط سیستم بی‌سیم خودرو در کنترلر هوشمند ثبت گردیده سپس برنامه (VARIATION) در سیستم کنترل مرکزی هوشمند تقاطع تعریف می‌شود که با ثبت تقاضای وارده از خودروی موردنظر زمان مسیر ویژه به‌صورت خودکار سبز شده و با توجه به فاصله خودرو امدادرسان تا تقاطع، زمان سبز مسیر ویژه تمدید می‌شود. در این روش زمان سبز تخصیص داده‌شده در سیستم با توجه به شرایط ترافیکی موجود تقاطع در سیستم کنترل مرکزی قابل‌تغییر است. نمونه ای از ایجاد این ساختار در شکل٤ قابل نمایش است.



**شکل٤. برنامه تعریف شده تمدید زمان سبز در سیستم SCATS**

### ۲-٤-عملکرد تقاطعات هوشمند در اولویت دهی به ناوگان حمل‌ونقل همگانی

برای افزایش مطلوبیت ناوگان، تنها افزایش تعداد مهم نیست. بلکه باید کیفیت سرویس هم مدنظر قرار گیرد. درصورتی‌که تعداد اتوبوس‌ها با فرض ثابت بودن وضعیت ترافیک معابر افزایش یابد، تنها زمان تلف شده حرکت اتوبوس‌ها در ترافیک افزایش یافته و میزان جذابیت اتوبوس برای حمل‌ونقل شهروندان زیاد نخواهد شد. بنابراین باید در کنار افزایش تعداد اتوبوس‌ها به سایر روش‌های بهبود سیستم‌های حمل‌ونقل نیز پرداخت. سیستم اولویت‌دهی چراغ راهنمایی به حمل‌ونقل عمومی یکی از سامانه‌هایی است که با بهره‌گیری از امکانات موجود، سعی در کاهش زمان سفر اتوبوس‌ها و افزایش کیفیت سرویس‌دهی حمل‌ونقل عمومی دارد. کاربرد سیستم DSRC برای وسایل نقلیه عمومی نظیر اتوبوس‌های BRT، قابلیت اولویت‌دهی عبور از تقاطع‌های مجهز به چراغ راهنمایی هوشمند را فراهم می‌کند. با توجه به اینکه اتوبوس‌های BRT دارای خطوط ویژه برای تردد در محدوده‌های شهری هستند، تخمین زمان رسیدن آن‌ها به تقاطع‌ها و اولویت‌دهی عبور بازده بالاتری نسبت به دیگر خطوط اتوبوس‌رانی دارد. اولویت‌دهی به اتوبوس‌ها می‌تواند برحسب پارامترهای مختلفی نظیر حجم مسافر، موقعیت وسیله، حجم دیگر وسایل نقلیه واقع در مسیر، نوع خدمات حمل‌ونقل عمومی و زمان حرکت تعیین می‌شود. این کاربرد می‌تواند از طریق ارتباطات DSRC اطلاعات مربوط به‌وسیله نقلیه عمومی را به کنترلر هوشمند واقع در تقاطع به‌عنوان یک تقاضا کسب زمان ارسال کرده و برحسب اطلاعات دریافتی از وضعیت ترافیک تقاطع، اولویت موردنظر برای عبور اتوبوس اعمال نماید.

## ۳-معرفی وضعیت تقاطع‌های موردبررسی و روش آمارگیری

در این بخش دو تقاطع مد نظر اولویت دهی به کمک سیستم DSRC جهت عبور خودروهای آتش‌نشانی و اتوبوس‌های BRT مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

### ۳-۱-تقاطع حقانی _ نلسون ماندلا واقع در منطقه ۳ شهر تهران- محل عبور وسایل نقلیه امدادرسان – خودروی آتش‌نشانی

به‌منظور بررسی عملکرد سیستم کنترل مرکزی هوشمند جهت اولویت‌دهی به خودروهای امدادرسان، تقاطع حقانی - نلسون ماندلا انتخاب شده است. این تقاطع محل تلاقی بزرگراه حقانی با خیابان شریانی نلسون ماندلا است و یکی از تقاطعات بسیار مهم با حجم ترافیک بالا در طول شبانه‌روز است. این تقاطع از غرب به میدان ونک، از شمال به تقاطع نلسون ماندلا - میرداماد، از شرق به بزرگراه مدرس و از جنوب به بزرگراه همت دسترسی دارد. با توجه به موقعیت جغرافیایی تقاطع و میزان بار ترافیکی، زمان‌بندی هوشمند جهت تخلیه مناسب بار ترافیکی در هر یک از رویکردها و پیشگیری از پس‌زدگی بار ترافیکی در تمامی محورها در این تقاطع بسیار بااهمیت است.

**شکل۵. موقعیت جغرافیایی تقاطع و محل ایستگاه آتش‌نشانی**

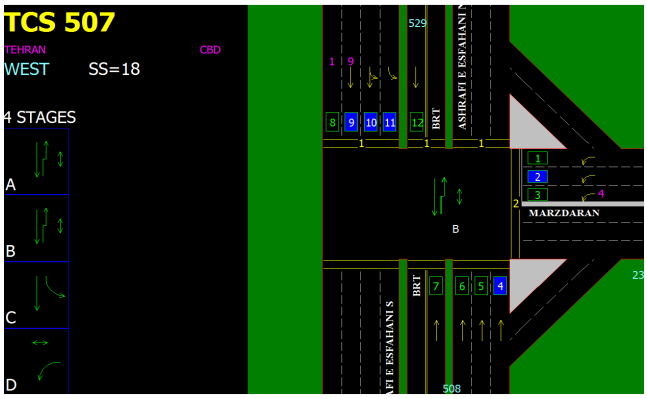
همان‌طور که در شکل ۵ نیز قابل مشاهده است محل ایستگاه آتش‌نشانی در محور شرقی تقاطع و در بزرگراه حقانی استقرار داشته و با توجه به سنگینی حجم بار ترافیکی بزرگراه حقانی، زمان‌بندی تقاطع در سیستم کنترل مرکزی هوشمند SCATS به صورتی تعریف گردیده است که زمان بیشتری جهت تخلیه بار ترافیکی به محور شرقی اختصاص داده شود. نحوه عملکرد تعریف شده در شکل ٦ نمایش داده شده است.

**شکل٦. تصویر گرافیک تقاطع در سیستم SCATS**

## تقاطع اشرفی _ مرزداران واقع در منطقه ۲ شهر تهران- محل عبور ناوگان حمل‌ونقل همگانی – اتوبوس‌های BRT

محور اشرفی اصفهانی یکی از معابر بسیار پرتردد شمالی- جنوبی واقع در منطقه ۵ کلان‌شهر تهران است که تقاطع‌های موجود در این محور به سیستم کنترل مرکزی هوشمند متصل است. تقاطعات موجود از ابتدای بزرگراه اشرفی اصفهانی تا انتهای آن شامل ۵ تقاطع است و خط ۱۰ اتوبوس‌های BRT در مسیر آزادی- دانشگاه از این محور عبور می‌کنند. همان‌طور که در شکل۷ قابل مشاهده است، در این مقاله نحوه اولویت دهی عبور برای ناوگان حمل‌ونقل همگانی به کمک سیستم DSRC در تقاطع اشرفی- مرزداران مدنظر قرار گرفته است. جهت تطبیق سیستم DSRC با سیستم کنترل مرکزی هوشمند باید تغییرات اساسی در برنامه زمان‌بندی تقاطع‌های مورد نظر صورت پذیرد. ازاین‌رو باید طبق درخواست ارسال شده توسط اتوبوس‌های مجهز به سیستم DSRC الویت عبور از تقاطع برای هر یک از آن‌ها تعریف گردد. در این شرایط در صورت ارسال تقاضا توسط اتوبوس BRT، اگر فاز سبز متعلق به مسیر حرکت اتوبوس نباشد، قطع گردیده و تا زمان خروج اتوبوس BRT از تقاطع، زمان سبز به مسیر ویژه آن اختصاص داده می‌شود. همان‌طور که شکل۸ قابل مشاهده می‌باشد تقاطع اشرفی - مرزداران قبل از اجرای پروژه به صورت سه فاز جداگانه زمان دهی می‌شود. جهت اولویت دهی به اتوبوس BRT در دو مسیر شمال و جنوب چهار فاز جداگانه تعریف شده است که تنها در صورتی که تقاضای اتوبوس در سیستم صادر شود فاز مربوطه ( فاز A) اجرا می‌شود.

**شکل۷. محل تقاطع اشرفی – مرزداران در شبکه حمل‌ونقل شهر تهران**




**شکل۸. تصویر تقاطع اشرفی _ مرزداران با اولویت دهی BRT در فازهای A**

## ٤-روش آمارگیری

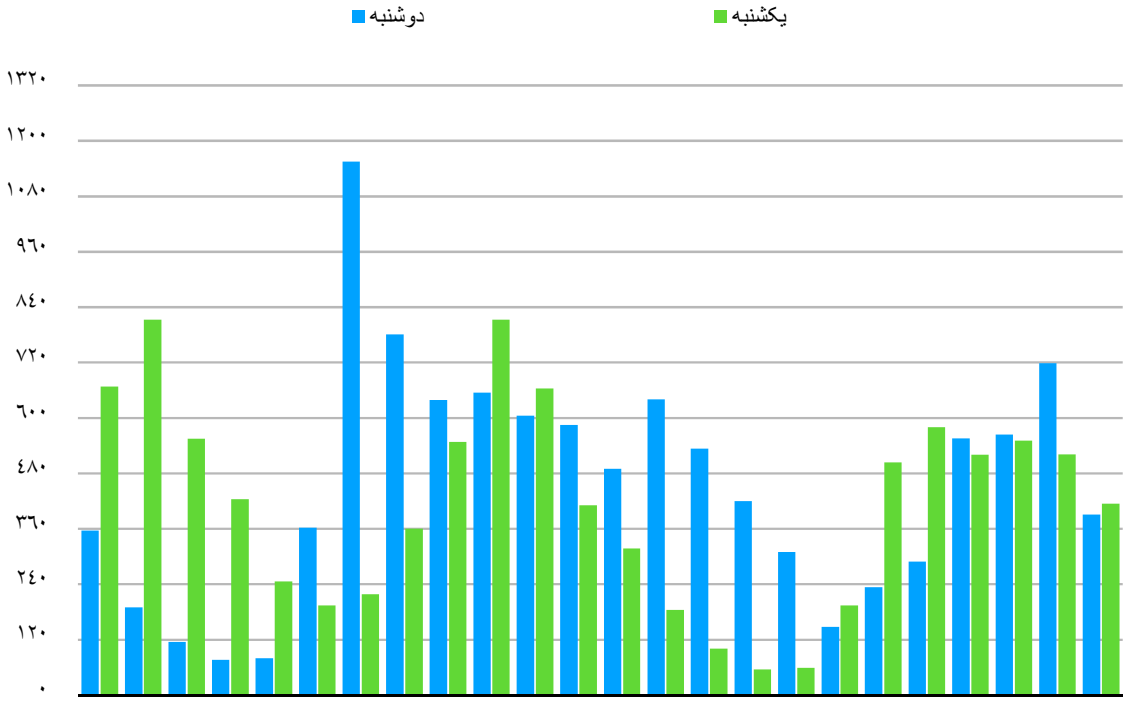
روش‌های مختلفی برای آمارگیری و اندازه‌گیری جهت بررسی زمان دهی به مسیرهای ویژه وجود دارد که به‌طورکلی به دو دسته (آمارگیری عینی) و (آمارگیری خودکار) تقسیم می‌شوند. آمارگیری عینی شامل اندازه‌گیری زمان‌های تأخیر و توقف، طول صف و سایر مشاهدات است که می‌توان توسط دوربین‌های نظارتی و یا مشاهدات در محل یا سایر روش‌ها انجام پذیرد. ضمن این‌که برخی سامانه‌های هوشمند (مانند: SCATS) این قابلیت را دارند که در هر لحظه اطلاعاتی از ترافیک عبوری (مانند درصد اشباع مسیرها ، طول سیکل و فازبندی ، زمان پر و تخلیه شدن تقاطع، ...) را ارائه دهند. در مقاله حاضر با توجه به امکان استفاده از تصاویر دوربین‌های نظارت مرکز کنترل ترافیک تهران پارامتر اندازه‌گیری میزان حجم بار ترافیکی عبوری و زمان تأخیر از محورهای مختلف تقاطع به دست آمده است. در این مقاله، از روش آمارگیری (شمارش در تقاطع) برای اندازه‌گیری و محاسبه زمان تأخیر ناشی از توقف در تقاطع (میزان حجم عبوری از هر رویکرد) در دو روز متوالی با در نظر گرفتن حضور خودروی امدادرسان در مسیر ویژه و عدم حضور خودرو استفاده شده است. با توجه به اینکه محاسبه حجم عبوری در هر ۱۵ دقیقه انجام گرفته، مجموع حجم عبوری برای هر ورودی تقاطع (در طول یک دوره آمارگیری) در عدد ۹۰۰ ضرب می‌شود تا میزان (وسیله نقلیه- ثانیه) تأخیر هر تقاطع محاسبه گردد. مبنای کار این روش به‌این‌ترتیب است که برای رویکردهای موردنظر در تقاطع چراغ‌دار، طی فواصل زمانی کوتاه (مثلاً ۱۵ دقیقه) تعداد وسایل نقلیه عبوری از هر رویکرد در زمان سبز شمارش می‌شود. پس از تقسیم این عدد بر حجم تردد کل تقاطع، که توسط سیستم SCATS ثبت گردیده (VO)، میانگین تأخیر توقف هر وسیله (برحسب ثانیه بر وسیله نقلیه) در هر محور به دست می‌آید. این عدد میانگین که برای هر محور محاسبه می‌شود، با لحاظ کردن تأخیر وسایل نقلیه در کلیه ورودی‌های تقاطع به‌دست‌آمده است.

در این بخش نتایج حاصل شده از اعمال سیستم پیشنهادی مربوط به هر یک از خودروهای امدادی و سامانه اتوبوس‌رانی تندرو در دو تقاطع مورد بررسی تفصیل شده است.

### ٥-١-نتایج مربوط به اولویت عبور خودروهای امدادی

پس از به دست آمدن مدت زمان تأخیر توقف در تقاطع نلسون ماندلا – حقانی، میزان تغییرات این پارامتر در سایر رویکردها در حالت حضور خودروهای امدادرسان و عدم حضور آن در مسیر ویژه محاسبه شده است. آمارگیری در دو روز یکشنبه و دوشنبه در هفته سوم آبان ماه سال ۱۳۹٦در صورت گرفته‌شده است. مقایسه‌های صورت گرفته در روز دوشنبه با حضور خودروهای امدادرسان در رویکرد شرقی تقاطع و در روز یکشنبه در شرایط عدم حضور خودروها در مسیر ویژه بررسی شده است.

نمودارهای رسم شده در شکل۹، مقایسه آمار حجم عبوری از ساعت ۱۰ صبح به مدت ٢٤ ساعت از هر یک از رویکردها طی ۲ روز مشخص شده را نشان می‌دهد.




**شکل۹. آمار حجم عبوری ۲۴ ساعته (از ساعت ۱۰ صبح) از مسیر شرق به غرب در دو روز یک‌شنبه و دوشنبه مصادف با ۱۳۹۶/۰۷/۲۳ و ۱۳۹۶/۰۷/۲۴**

در جداول ۱ و۲ می‌توان آمار مربوط به تأخیر ناشی از توقف و میانگین تأخیر برای حالت‌های حضور و عدم حضور خودروی ویژه را مشاهده نمود. با توجه به شکل۹ و جدول ۱و جدول ۲می‌توان نتیجه‌گیری کرد.

با توجه به افزایش حجم بار ترافیکی در محورها زمان

**جدول ۱. تأخیر توقف و میانگین تأخیر در حالت عدم حضور خودروی ویژه با توجه به حجم عبوری در تاریخ ۱۳۹۶/۰۷/۲۴**

| آمار حجم در روز دوشنبه | | | |
|---|---|---|---|
| نوع رویکرد | میانگین تأخیر | $V_O$ | تأخیر توقف |
| شرق به غرب | ۸.۹٤ | ۱۵۸ | ۱٤۱۳ |
| شمال به جنوب | ۱۱.٦۷ | ۱۳۹ | ۳۰۱۵ |
| جنوب به شمال | ٤.۳۷ | ٤۸۳ | ۲۱۱۵ |
| غرب به شرق | ۲۱.۱٤ | ۲۰۳ | ٤۲۹۳ |

**جدول ۲. تأخیر توقف و میانگین تأخیر در حالت حضور خودروی ویژه با توجه به حجم عبوری در تاریخ۱۳۹٦/۰۷/۲۳**

| آمار حجم در روز دوشنبه | | | |
|---|---|---|---|
| نوع رویکرد | میانگین تأخیر | $V_O$ | تأخیر توقف |
| شرق به غرب | ٦.۷ | ۲۱۸ | ۱٤۷٦ |
| شمال به جنوب | ۱۲.۰۳ | ۱۳۹ | ۲۲۸٦ |
| جنوب به شمال | ٦.۵ | ۱۸۸ | ۱۲۲٤ |
| غرب به شرق | ٦.۸ | ۵۰۰ | ۳٤۳۸ |

۱. در زمان عدم حضور خودرو امدادرسان، زمان‌بندی تعریف‌شده برای تقاطع مطابق با شرایط ترافیکی است و دهی تقاطع نیز تغییر می‌یابد.

۲. در زمان اعلام حضور خودروی امدادرسان در محور شرقی تقاطع، زمان سبز این مسیر تا زمان عبور خودروی

ویژه توسط سیستم کنترل مرکزی تمدیدشده و این امر موجب افزایش تخلیه بار ترافیکی موجود در این محور می‌شود. همچنین به نسبت تمدید زمان سبز مسیر ویژه، زمان توقف محورهای مجاور افزایش‌یافته و باعث افزایش حجم بار ترافیکی و افزایش طول صف در سایر رویکردها می‌شود.

۳. میانگین تأخیر محاسبه شده، در روز دوشنبه (عدم حضور خودرو ویژه) نسبت به روز یکشنبه (حضور خودروی امدادرسان) به میزان ۱,۳۳ افزایش داشته است.

٤. با محاسبه میزان تأخیر توقف و مقایسه میانگین تأخیر در رویکردهای فرعی می‌توان به این نتیجه دست‌یافت که افزایش تأخیر ایجاد شده در محورهای فرعی به جهت اولویت‌دهی به خودروهای امدادرسان به دلیل اهمیت امدادرسانی به‌موقع در محل حادثه قابل‌چشم‌پوشی و همچنین با تخصیص مناسب زمان پس از عبور خودروی ویژه از تقاطع، توسط سیستم کنترل مرکزی قابل جبران است.

## نتایج اولویت عبور به ناوگان حمل‌ونقل همگانی

بررسی‌های انجام شده بر روی داده‌های مربوط به اولویت‌دهی عبور اتوبوس‌ها از تقاطع و همچنین اعلام هشدار به راننده برای توقف بیشتر در ایستگاه‌ها، نشان‌دهنده تأثیر برخی عوامل مؤثر بر میزان اثربخشی این دو فعالیت است. در ادامه برخی از این عوامل مؤثر ذکر شده است.

شکل هندسی تقاطع : یکی از موارد مهم در کارایی اولویت‌دهی عبور اتوبوس‌ها در مسیرهای منتهی به تقاطع است. شرایط چراغ راهنمایی و رانندگی در هنگام رسیدن اتوبوس: با توجه به پیچیدگی محاسباتی، ارزیابی فعلی صورت گرفته برای تعیین میزان اثربخشی اولویت دهی، بر اساس تقاضای اتوبوس از چراغ راهنمایی می‌باشد. زمانی که اتوبوس تقاضای اولویتی به سیستم نصب شده بر روی کنترلر ارسال می‌کند، این تقاضا در سیستم ثبت می‌شود. بنابراین نتایج حاصله نشان دهنده تمام حالاتی است که ممکن است اتوبوس به چراغ راهنمایی برسد. اتوبوس در سه سناریو زیر ممکن است به چراغ برسد و در خواست اولویت ارسال کند در حالتی که چراغ سبز بوده و زمان سبز کمتر از ۲۰ ثانیه باشد.

۱. در حالتی که چراغ راهنمایی سبز بوده اما اتوبوس زمان کافی برای عبور از چراغ را داشته باشد.

۲. در حالتی که چراغ راهنمایی قرمز بوده و بیش از ۲۰ ثانیه از زمان آن باقی مانده باشد.

۳. در حالتی که چراغ راهنمایی قرمز بوده و کمتر از ۲۰ ثانیه از زمان باقی مانده باشد.

**جدول ۳. آمار حجم خروجی هر یک از رویکردها در سه روز متوالی در تقاطع قبل از اجرای سیستم DSRC**

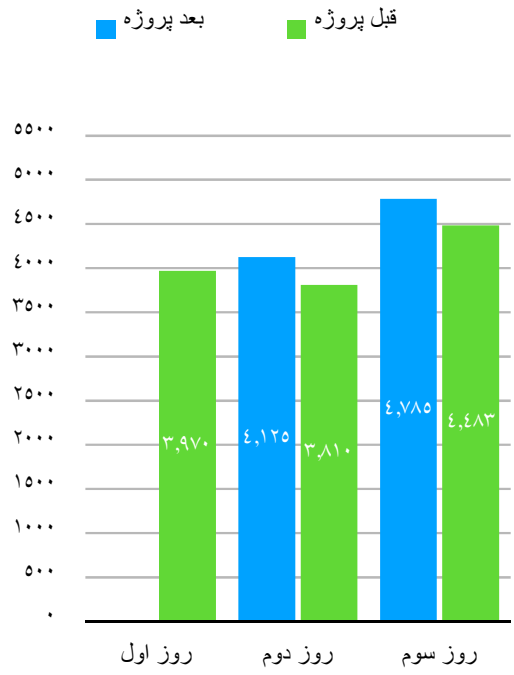
| | | پیک صبح | | | پیک عصر | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تاریخ | تقاطع | شمال به جنوب | جنوب به شمال | شرق به جنوب | شمال به جنوب | جنوب به شمال | شرق به جنوب |
| ۱۳۹٤/٥/۲۲ | اشرفی _ مرزداران | - | - | ٥۲۲۲ | ۷٥۲۷ | ۱٥۱۸٦ | ٥۰۳٤ |
| ۱۳۹٤/٥/۲۳ | | ٤۱۲٥ | ۸۷۸٤ | ٥۱٦۳ | ۷٥۹۷ | ۱٥۷۲۹ | ٤۸۸۹ |
| ۱۳۹٤/٥/۲٤ | | ٤۷۸٥ | ۹٦۷٤ | ٤۹۲۸ | ۷۷۱۳ | ۱٥۳٤۱ | ٥۱۷۹ |

یکی از نتایج قابل بررسی از اجرای سیستم DSRC مقایسه میزان حجم خروجی از هر یک از رویکردها در تقاطع قبل و بعد از اجرای پروژه اولویت‌دهی است.

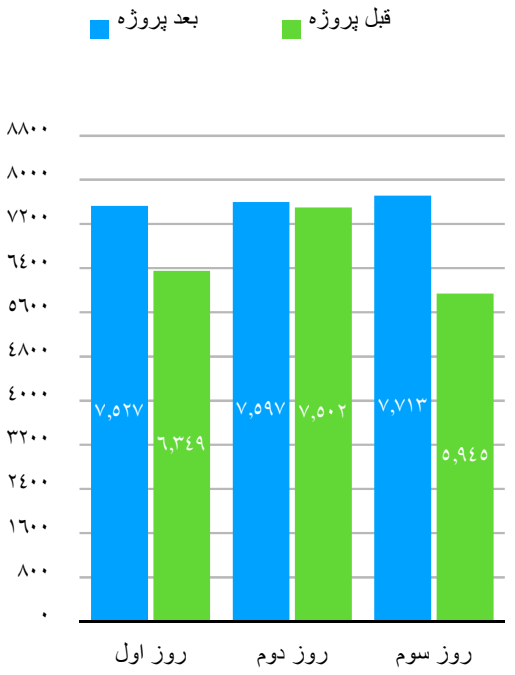
**جدول ٤. آمار حجم خروجی هر یک از رویکردها در سه روز متوالی در تقاطع بعد از اجرای سیستم DSRC**

| تاریخ | تقاطع | اوج صبح | | | اوج عصر | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | شمال به جنوب | جنوب به شمال | شرق به جنوب | شمال به جنوب | جنوب به شمال | شرق به جنوب |
| ۱۳۹٤/٥/٦ | اشرفی ـ مرزداران | ۳۹۷۰ | ۹۳۳۱ | ٥٤٦۷ | ٦۳٤۹ | ۱۲۹٤٥ | ٥٤۲۰ |
| ۱۳۹٤/٥/۷ | | ۳۸۱۰ | ۷۹۹٦ | ٥٦٥۰ | ۷٥۰۲ | ۱٥۲۸۲ | ٥٤۳۰ |
| ۱۳۹٤/٥/۸ | | ٤٤۸۳ | ۸٦٦٥ | ٥۱٥۷ | ٥۹٤٥ | ۱۲۲۷۷ | ٥۳۲۸ |

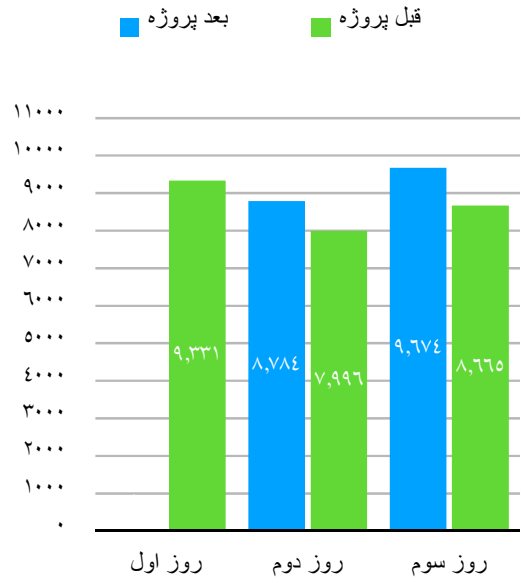
شکل‌های ۹ تا ١٤ اطلاعات آماری مربوط حجم عبور هر یک از رویکردها را در بازه زمانی اوج صبح و اوج عصر برای محور اشرفی - مرزداران نشان می‌دهد. با توجه به اشکال آورده شده، همان‌طور که از مقایسه آمار حجم در سه روز متوالی قبل و بعد از اجرای سیستم DSRC قابل‌بررسی است، در تقاطع اشرفی ـ مرزداران در هر دو مسیر شمال و جنوب افزایش حجم بار ترافیک خروجی از تقاطع مشاهده می‌شود اما در محور فرعی تقاطع با اجرای پروژه در سه روز متوالی درنهایت کاهش حجم بار ترافیکی خروجی مشاهده می‌شود.



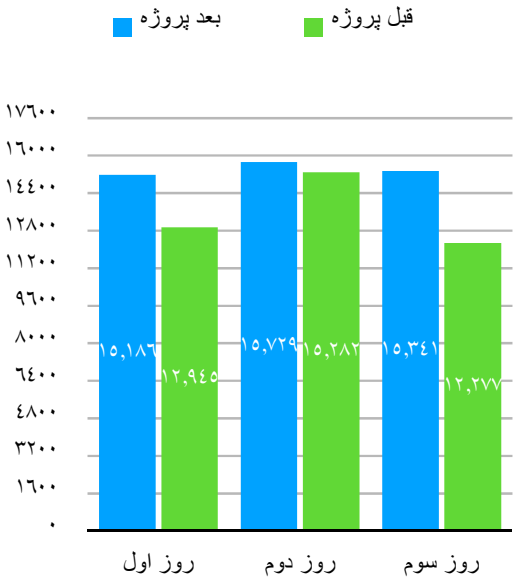

**شکل ۹. مقایسه آمار حجم عبوری مسیر شمال به جنوب اشرفی- مرزداران در اوج صبح**




**شکل ۱۰. مقایسه آمار حجم عبوری مسیر شمال به جنوب اشرفی- مرزداران در اوج عصر**




**شکل ۱۳. مقایسه آمار حجم عبوری مسیر شرق به غرب اشرفی-مرزداران در اوج صبح**




**شکل ۱۴. مقایسه آمار حجم عبوری مسیر شرق به غرب اشرفی- مرزداران در اوج عصر**

## ۵-نتیجه‌گیری

با بررسی‌های صورت گرفته می‌توان به این نتیجه دست‌یافت در صورت کاربرد فناوری اطلاعات ارتباطات خودرویی DSRC و اجرای اولویت‌دهی به ناوگان حمل‌ونقل همگانی در تقاطعات هوشمند زمان‌دار، اگر فازبندی تقاطع به صورتی طراحی شده باشد که اجرای فاز مربوط به اتوبوس BRT موجب افزایش زمان سبز یک رویکرد، بخصوص رویکرد اصلی آن تقاطع (مانند محور اشرفی در تقاطع اشرفی–مرزداران) شود موجب بهبود زمان تخلیه بار ترافیکی نیز می‌شود، اما باید مدنظر داشت که از طرف دیگر موجب افزایش تأخیر توقف در محورهای فرعی می‌شود. از مقایسه حجم عبوری قبل و بعد از اجرای پروژه DSRC، ۱۲ درصد کاهش حجم بار ترافیکی در محور فرعی و ۸ درصد افزایش حجم تخلیه بار ترافیکی در محور اصلی مشاهده گردید همچنین در اجرای سخت‌افزار نصب شده در کنترل هوشمند و اتوبوس‌های BRT و برنامه هوشمند تقاطع جهت ارسال و ثبت به‌موقع تقاضا در سیستم کنترل مرکزی هوشمند، در صورت عقب ماندن اتوبوسBRT از جدول زمان‌بندی اتوبوس‌رانی، با اجرای فاز مربوطه و زمان سبز به‌موقع جهت خروج اتوبوس BRT از تقاطع، در تقاطع اشرفی - مرزداران، به جهت آنکه فاز تعریف شده برای اتوبوس‌های BRT تداخلی با مسیر شمال و جنوب نداشته و در فاز مربوط به اتوبوس‌ها قابل تردد است، درنتیجه موجب افزایش زمان سبز و افزایش تخلیه حجم بار ترافیکی هر یک از رویکردها شده است.

## ۶-پی‌نوشت‌ها

1. Intelligent Transportation System (ITS)
2. Sydney Coordinated Adaptive Traffic System (SCATS)
3. Roads & Traffic Authority
4. Bus Rapid Transit (BRT)
5. Dedicated Short-Range Communication (DSRC)

## ۷-مراجع

-رستمی، ح.، عطائیان، ح. و شریفی، م.، (۱۳۹۰)، "سامانه ارتباطات هوشمند خودرویی و چشم انداز توسعه آن"، یازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران.

-Akyildiz, Ian F, Ahyoung Lee, Pu Wang, Min Luo, and Wu. Chou, (2014), "A

policy for emergency vehicles preemption using Timed Petri nets', IFAC-PapersOnLine ,pp.2183-2188.

-Kenney, John B. 2011. 'Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States', Proceedings of the IEEE , pp.1162-1182.

-Koonce, Peter. (2008), "Traffic signal timing manual." In United States Federal Highway Administration.

-Unibaso, Galder, Javier Del Ser, Sergio Gil-Lopez, and Begoña Molinete. 2010. "A novel CAM-based traffic light preemption algorithm for efficient guidance of emergency vehicles." In Intelligent Transportation Systems (ITSC), 13th International Conference on IEEE. pp.74-79.

-Vlad, RC, Cristina Morel, Jean-Yves Morel, and S Vlad. (2008), "A learning real-time routing system for emergency vehicles." In Automation, Quality and Testing, Robotics, AQTR 2008. IEEE International Conference on IEEE.

roadmap for traffic engineering in SDN-Open Flow networks", Computer Networks, pp.1-30.

-Cheng, Lin, Benjamin Henty, Daniel D. Stancil, Fan Bai, and Priyantha Mudalige. (2007), "A fully mobile, GPS enabled, vehicle-to-vehicle measurement platform for characterization of the 5.9 GHz DSRC channel." In Antennas and Propagation Society International Symposium, 2007 IEEE.

-Garcia-Nieto, Jose, Ana Carolina Olivera, and Enrique Alba. (2013), 'Optimal cycle program of traffic lights with particle swarm optimization', IEEE Transactions on Evolutionary Computation. pp. 823-839.

-Huang, Chung-Ming, Chia-Ching Yang, Chun-Yu Tseng, and Chih-Hsun Chou. (2009), "A centralized traffic control mechanism for evacuation of emergency vehicles using the DSRC protocol." In Wireless Pervasive Computing.

-Huang, Yi-Sheng, Jang-Yi Shiue, and Jiliang Luo. 2015. 'A traffic signal control