اثر سنجی بکارگیری سیستم اولویت دهی چراغ راهنمایی و رانندگی به حمل و نقل عمومی(TSP)، با استفاده از روش Phase Switching در نرم افزار SCATS (مطالعهٔ موردی تقاطع طبرسی – مجلسی مشهد)

علی پژومند راد[1] ، مانی حاذقی[2] ، مسعود نادر نژاد[3]
۱- کارشناس ارشد مخابرات سیستم، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی، تهران
۲- کارشناس ارشد برنامه ریزی حمل ونقل، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد، تهران جنوب
۳- کارشناس ارشد برنامه ریزی حمل ونقل، دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

با افزایش روز افزون جمعیت و گسترش حمل و نقل، خیابانها و بزگراههای شهری، روز به روز شلوغ تر و پرازدحام تر از گذشته میشوند علاوه بر این توسعه فیزیکی خیابانها و بزرگراهها در برخی از مناطق (مانند هسته مرکزی شهر) غیر ممکن و در بسیاری از محلها، پر هزینه و بی فایده است. حتی در صورت امکان توسعه فیزیکی معابر، نیازهای حمل و نقلی شهروندان از آن پیشی گرفته و ازدحام و ترافیک مجدداً در معابر توسعه یافته مشاهده خواهد شد. تنها راهکار منطقی برای برون رفت از این معضل، توسعه حمل و نقل عمومی است. لذا در کشورهای توسعه یافته، عموماً سیستم های حمل و نقل عمومی اعم از ریلی و جاده ای مشاهده میشود که با نظم خاصی به شهروندان خدمت رسانی میکنند.

سیستم اولویت دهی چراغ به حمل و نقل عمومی که به اختصار TSP بیان می شود ، یکی از راهکارها برای افزایش میزان سرویس دهی سامانه های حمل و نقل عمومی و بخصوص اتوبوسرانی است. در این سیستم با تعریف اولویت در محل تقاطعهای فرماندهی سعی می شود که برنامه زمانبندی پیش بینی شده برای حمل و نقل عمومی به بهترین وجه اجرا شده و از این طریق کارایی ناوگان موجود ارتقا یابد. در حال حاضر سیستم کنترل هوشمند SCATS در مشهد و دیگر کلان شهرهای کشورمان جهت کنترل چراغ های راهنمایی و رانندگی مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش سعی بر آن است که ضمن بررسی روشهای مختلف تعریف اولویت حمل و نقل همگانی ، یک نمونه طراحی و اجرا شده برای شهر مشهد در سیستم کنترل هوشمند SCATS، با استفاده از سوییچ های کنترلی این سیستم، ارائه و ضمن بررسی داده های AVL سیستم BRT شهر مشهد، نتایج این اجرا در قالب مطالعات قبل و بعد زمان سفر برای وسیلهٔ نقلیه و مسافر وشاخص درصد موفقیت عبور، به طور مجزا، ارزیابی گردد و در انتها راهکارهای لازم برای بهبود و ارتقا این سیستم بیان شود.

کلید واژه: سیستم های اولویت دهی چراغ راهنمایی و رانندگی ، TSP، سیستم حمل و نقل عمومی، سیستم SCATS

۱- مقدمه

امروزه با رشد روز افزون جمعیت، افزایش بی رویهٔ خودرو، استفادهٔ هرچه بیشتر از خودروهای تک سرنشین و پارامتر هایی از این قبیل با پدید آمدن ناهنجاریهایی از قبیل ایجاد آلودگی های زیست محیطی، افزایش زمان سفر و ... مواجه هستیم. شهر مشهد به عنوان دومین کلان شهر پر جمعیت و پایتخت معنوی ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست؛ روزانه بیش از ۵/۸ میلیون سفر در شهر مشهد رخ می دهد که هر روز در حال گسترش است.[۱] در کنار این سفرها، افزایش جمعیت زائر و مسافر در شهر مشهد به دلیل وجود حرم مطهر رضوی نیز موجب افزایش تراکم ترافیک بخصوص در هسته مرکزی شهر می گردد.

راه حل رسیدگی به معضل ترافیک در مشهد نیز مانند سایر کلان شهرها توسعه حمل و نقل عمومی است. این موضوع در قوانین فرادست نیز مد نظر قرار گرفته و در ماده ۷ قانون توسعه حمل ونقل عمومی و مصرف سوخت و سند چشم انداز نیز تکلیف شده است که برنامه ریزیها باید به گونه ای انجام شود تا ۷۵ درصد سفرهای درون شهری از طریق سامانه های حمل و نقل عمومی انجام شود.[۲] لازم به ذکر است که طبق آمار منتشر شده توسط شهرداری مشهد حداقل ۸۰۰ دستگاه اتوبوس ناوگان حمل و نقل عمومی شهرداری مشهد فرسوده است و براساس اعلام شهردار مشهد [۳] برای اینکه سرویس دهی حمل و نقل عمومی به شرائط مطلوب نزدیک شود، مشهد به ۳۰۰۰ دستگاه اتوبوس نیاز دارد که در حال حاضر ۲۰۰۰ اتوبوس

در شهر مشهد سرویس دهی می کند. از طرفی برای افزایش مطلوبیت ناوگان، تنها افزایش تعداد مهم نیست. بلکه باید کیفیت سرویس هم مدنظر قرار گیرد. در صورتیکه تعداد اتوبوس ها با فرض ثابت بودن وضعیت ترافیک معابر افزایش یابد، تنها زمان تلف شده حرکت اتوبوس ها در ترافیک افزایش یافته و میزان جذابیت اتوبوس برای حمل و نقل شهروندان زیاد نخواهد شد. بنابراین باید در کنار افزایش تعداد اتوبوس ها به سایر روشهای بهبود سیستم های حمل و نقل نیز پرداخت. بنابراین مشخص است که افزایش تعداد ناوگان بدون توجه به ارتقا سایر امکانات و تسهیلات کافی نبوده و می تواند موجب هدر رفت منابع نیز بشود. سیستم اولویت دهی چراغ راهنمایی به حمل و نقل عمومی یکی از سامانه هایی است که با بهره گیری از امکانات موجود، سعی در کاهش زمان سفر اتوبوس ها و افزایش کیفیت سرویس دهی حمل و نقل عمومی دارد.

۲- هدف از انجام مطالعه

امروزه استفاده از سیستم های هوشمند حمل و نقل در زمینه حمل و نقل عمومی[1] در کنار اطلاع رسانی صحیح و به موقع به مسافران[2] موجب می شود که بتوان ضمن مدیریت مناسب ناوگان، سطح مطلوبیت سرویس دهی به مسافران را افزایش داده و از ظرفیتهای موجود نیز بهره مناسب برد. این سامانه ها که عموماً به عنوان سیستم موقعیت یاب خودکار AVL[3] مجهز میشوند، امکان اطلاع از موقعیت مکانی و سایر پارامترهای ناوگان را در مرکز مدیریت ناوگان فراهم می آورند. بنابراین مدیران ناوگان می توانند به طور خودکار وضعیت ناوگان را پایش و برای ارائه مطلوبتر خدمات آن برنامه ریزی کنند. این سامانه ها می توانند در سیستم اولویوت دهی چراغ راهنمایی به حمل و نقل عمومی[4] TSP نیز مفید واقع شوند. لیکن همانگونه که در بخش های قبلی اشاره شده صرفاً افزایش تعداد ناوگان اتوبوسرانی منجر به مطلوبیت استفاده از آن نمی شود. بلکه وجود نظم در سرویس دهی و کاهش زمانهای تاخیر و سرعت نیز باید در کنار این اقدامات، مد نظر قرار گیرد. TSP ابزاری است که در کنار سایر ابزارهای اشاره شده منجر به بهبود کیفیت سرویس دهی سیستم شده و جذابیت و مطلوبیت ناوگان حمل و نقل عمومی را افزایش می دهد. این سیستم در زمان رسیدن اتوبوس به چراغ فرماندهی با در نظر گرفتن شرائط لازم، چراغ راهنمایی را سبز کرده و موجب می شود که تاخیر برروی سیستم حمل و نقل کاهش یابد.

1- Advanced Public Transport System
2- Advanced Traffic Information System
3- Automatic Vehicle Location
4- Transit Signal Priority

علاوه بر آن، با حفظ برنامه زمانبندی سرویس دهی به کاربران، مطلوبیت استفاده از حمل و نقل را افزایش می دهد. هدف از انجام این مطالعه بررسی تاثیرات اجرای TSP بر حمل و نقل عمومی و شخصی و ارزیابی میزان تاثیر گذاری آن در مجموع می باشد.

۳- اولویت دهی چراغ فرماندهی به حمل و نقل عمومی

طبق بررسی های انجام شده، درصد بالایی از تاخیرات در جابجایی وسایل نقلیه در محل تقاطع ها و میدان ها و بخصوص در تقاطع های مجهز به چراغ راهنمایی رخ می دهد. بنابراین در صورتیکه بتوان این تاخیرات را برای سیستم حمل و نقل عمومی به حداقل کاهش دهیم، به هدف اصلی که ایجاد مطلوبیت برای حمل و نقل عمومی است، خواهیم رسید. سیستم TSP یکی از راهکارهای افزایش این مطلوبیت است. این سیستم با تعریف اولویت به حمل و نقل عمومی در محل نصب چراغ های فرماندهی موجب بهبود زمانبندی خدمت رسانی به شهروندان و کاربران این سیستم می شود. بنابراین TSP ابزاری است که موجب می شود به سیستم حمل و نقل عمومی قابلیت اطمینان بالا، افزایش سرعت سرویس دهی و کاهش هزینه ها و صرفه جویی، ببخشد. از طرفی، TSP بر حمل و نقل شخصی، تاثیرات نامناسب زیاد و قابل توجهی نداشته و از این نظر، بر سایر روش های اولویت دهی فیزیکی به حمل و نقل عمومی نظیر احداث خطوط BRT برتری دارد. همچنین اجرای آن نیز بسیار کم هزینه و در دسترس است، زیرا که امروزه اکثر سامانه های حمل و نقل عمومی به زیرساخت هایی نظیر GPS، AVL و ... برای مکان یابی ناوگان حمل و نقل مجهزند. نکته قابل توجه در خصوص استفاده از خطوط ویژه ، لزوم مدیریت نقاط برخورد این خطوط با سایر معابری است که حمل و نقل شخصی در آن جریان دارد. TSP یکی از راهکارهای اولویت دهی به اتوبوسرانی در این محله است.

۳-۱- سطوح اجراء

سطح بکارگیری TSP در یک شهر یا یک مسیر می تواند به چند صورت انجام شود[۸]:

۳-۱-۱- سطح محدود

در این حالت TSP تنها در یک محدوده کوچک از شبکه یا مسیر اجرایی شود. بنابراین تنها یک یا چند تقاطع هستند که برای اجراء TSP انتخاب شده و سیستم در آن اجراء خواهد شد. معمولاً در صورت وجود محدودیت های فنی یا ترافیکی اجراء TSP در تقاطع های مهم که دارای حجم ترافیک بیشتر و تاثیرگذارتر در سیستم حمل و نقل عمومی هستند، اجراء خواهد شد.

۳-۱-۲- در سطح مسیر

شامل تعدادی از مسیرها یا کریدورها در یک خط مسیر است. به عنوان مثال تمام تقاطع هایی که در یک خط مسیر BRT یا خط ویژه اتوبوس قرار دارند و فاصله آنها با یکدیگر کمتر از ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر می باشد به TSP مجهز می باشند. علاوه بر اولویت دهی به سیستم اتوبوسرانی در این مسیر، امکان تعریف موج سبز و هماهنگی[1] بین تقاطع ها برای کاهش زمان تاخیر و افزایش سرعت اتوبوس در مسیر مذکور نیز وجود خواهد داشت.

۳-۱-۳- در سطح گسترده

دراین حالت تمام تقاطع های یک ناحیه یا شبکه به TSP مجهز می شوند و کلیه خطوط اتوبوسرانی عبوری در سطح آن ناحیه یا شبکه از مزایای TSP بهره مند خواهند شد.

۳-۲- سطوح عملیاتی

از دیدگاه عملیاتی و میزان تاثیرگذاری TSP میتوان حالتهای زیر را در نظر گرفت:

۳-۲-۱- پیش دستی[2]

در این حالت جریان ترافیک در زمان ورود اتوبوس به محدوده چراغ راهنمایی متوقف شده و بلافاصله چراغ مربوط به مسیری که اتوبوس در آن حرکت می کند سبز می شود. این حالت کمترین تاخیر را برای اتوبوس به همراه دارد اما در مقابل بیشترین اثرات منفی را در جریان ترافیک سیستم حمل و نقل شخصی خواهد داشت و می تواند تبعات ترافیکی را همراه داشته باشد. این روش بیشتر در مورد اولویت دهی به وسایل نقلیه اورژانس یا آتش نشانی یا VIP[3] استفاده می شود.

1- Coordination
2- Pre-emption
3- Very important Person

۳-۲-۲- اولویت[4]

در این حالت اولویت حرکت به اتوبوس داده می شود. بنابراین در صورتیکه حضور اتوبوس در یک معبر تشخیص داده شود، وضعیت چراغ راهنمایی به گونه ای تغییر می کند که زمان تاخیر اتوبوس، کاهش یافته و بهینه شود.

۳-۲-۳- تداخلی

دراین حالت عملاً اولویت به سیستم حمل و نقل عمومی داده نشده و اتوبوس ها باید همراه با وسایل نقلیه شخصی عبور کنند. از جمله معایب این روش امکان تصادف با وسایل نقلیه شخصی و یا تداخل با آنهاست که در هر صورت زمان تاخیر در تقاطع افزایش خواهد یافت. همچنین استرس وارده بر راننده به دلیل احتمال برخورد با وسایل نقلیه موجب اثرگذاری نامناسب بر عملکرد رانندگان خواهد شد.

۳-۲-۴- غیر تداخلی

در این حالت فاز حرکتی اتوبوس و وسایل نقلیه شخصی کاملاً جدا بوده و هیچ گونه تداخلی ندارد. هر چند اجراء این فازبندی می تواند موجب افزایش زمان انتظار عبور از چراغ راهنما شود ولی امکان تصادف را به حداقل خواهد رساند. از طرفی با اجراء TSP نیز امکان کاهش زمان تاخیر نیز وجود خواهد داشت. البته باید توجه داشت که اگر اتوبوس مدت زمان طولانی در محل ایستگاه معطل شود، اطلاعات نادرسی به مرکز ارسال خواهد شد و زمان رسیدن اتوبوس به چراغ راهنمایی قابل محاسبه نخواهد بود. در نتیجه ممکن است اولویت داده شده که به هدر برود.

۳-۳- معماری سیستم اولویت دهی

نحوه اجرای سیستم اولویت به اتوبوس بستگی به معماری انتخاب شده برای آن دارد. این معماری تعریف می کند که چگونه اتوبوس می تواند در محل تقاطع فرماندهی، اولویت بگیرد. در ساده ترین حالت، اتوبوسی که به یک تقاطع نزدیک می شود، قبلاً از رسیدن به تقاطع درخواست اولویت می کند. این اولویت به کنترلر چراغ فرماندهی ارسال می شود. در این حالت هم ارسال درخواست اولویت و هم پاسخ دهی به آن به صورت محلی توسط کنترلر مدیریت می شود. بنابراین این امکان وجود دارد که به همه درخواست ها پاسخ داده شده و برای همه اتوبوس های عبوری اولویت قائل گردد. در حالت پیچیده تر، درخواست اولویت از طریق سیستم AVL اتوبوسرانی به سیستم مرکزی کنترل چراغ

4- Priority

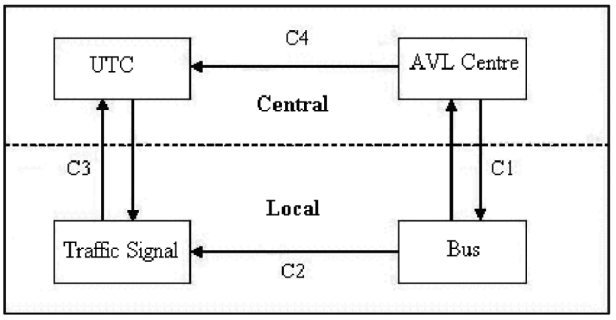
فرماندهی که در مرکز کنترل ترافیک قراردارد، ارسال می گردد. بنابراین اولویت دهی به صورت مرکزی مدیریت خواهد شد. در این حالت تصمیم گیری در اولویت می تواند کاملاً یا نسبتاً توسط سیستم مرکزی و به منظور ایجاد یک مسیر سبز در تقاطع های مجاور یکدیگر اجراء شود. بنابراین در این حالت چهار قسمت باید با یکدیگر تعامل و ردو بدل اطلاعات داشته باشند:

۱- سیستم اتوبوس: ارسال اطلاعات موقعیت مکانی به مرکز

۲- سیستم مرکزی AVL ناوگان اتوبوسرانی

۳- سیستم مرکزی کنترل چراغ های راهنمایی

۴- کنترلر محلی چراغ راهنمایی



شکل۱- نحوه تعاملات زیر سیستم های TSP

در شکل ۱ هر کدام از فلش ها نشان دهنده نحوه و نوع ارتباط بین این چهار عنصر می باشند.

۳-۳-۱- تعیین محل تعریف اولویت

در این بخش، با استفاده از تجهیزات مورد نیاز اتوبوس و با توجه به اطلاعات در دسترس از سامانه AVL ، و سایر شرائط از پیش تعریف شده، اولویت تعریف می شود. محل تعریف اولویت می تواند محلی یا مرکزی باشد. در شرایط محلی، اولویت در محل کنترلر چراغ یا اتوبوس تعریف و اعمال می شود. در حالت مرکزی اولویت در مرکز کنترل ناوگان اتوبوسرانی (سیستم AVL) یا مرکز کنترل ترافیک (سیستم کنترل مرکزی چراغ های راهنمایی) تعریف می شود.

۳-۳-۲- روش درخواست اولویت

پس از مشخص شدن نوع اولویت دهی، لازمست درخواست اولویت به چراغ راهنمایی ارسال شود تا زمانبندی آن متناسب با درخواست تغییر نماید.

اگر تصمیم گیری به صورت محلی انجام شود، درخواست اولویت از اتوبوس به کنترلر ارسال می شود و اگر مرکزی باشد باید ردو بدل اطلاعات به صورت دو طرفه انجام شود. در روش ارتباط مرکزی مرکز کنترل چراغ های راهنمایی مستقیماً درخواست اولویت را به کنترلر محلی ارسال می کند تا به اتوبوسی که به محل نزدیک می شود، اولویت داده شود. دستگاه کنترلر سپس امکان تغییر در فازبندی چراغ را بررسی می کند و اطلاعات مربوط به این تغییرات به مرکز گزارش می شود. موقعیت هر اتوبوس با استفاده از دستگاه های GPS و یا سنسورهای مجازی که در طول مسیر تعبیه می شود، شناسایی و در نتیجه موقعیت هر اتوبوس برای مرکز مشخص گردد. پس از تعیین موقعیت هر اتوبوس، وضعیت اولویت دهی به صورت مرکزی تعیین خواهد شد. اطلاع از وضعیت اتوبوس به روش پایش[1] انجام میشود. یعنی در فواصل زمانی مشخصی، مرکز مدیریت AVL موقعیت هر اتوبوس را درخواست کرده و در بانک اطلاعاتی خود ذخیره می کند. بنابراین در فواصل بین زمان درخواست که حدود ۱۰ تا ۳۰ ثانیه است، اطلاعات قبلی موقعیت اتوبوس مد نظر قرار می گیرد. در روش ارتباط غیر متمرکز ، کنترلر چراغ راهنمایی قبل از اینکه اولویت را به اتوبوس اختصاص دهد، درخواست اولویت را به اتوبوسی که به چهارراه نزدیک می شود، ارسال می کند. بعد از این مرحله اتوبوس پاسخ درخواست را خواهد داد. مهمترین مزیت این روش، دقیق بودن زمان رسیدن اتوبوس به چهارراه است. چون درخواست اولویت از طرف اتوبوسی که به چهارراه نزدیک می شود، ارسال می گردد، از طرفی در مقایسه با روش مرکزی نیز احتمال هدر رفتن اولویت دهی به دلیل دیر رسیدن اتوبوس به تقاطع به شدت کم خواهد شد. همچنین امکان اجرایی این روش در تقاطع هایی که به مرکز کنترل متصل نیستند[2]، هم وجود دارد.

براساس مطالب عنوان شده فوق ، روش های اجراء اولویت دهی را می توان به طور خلاصه در جدول زیر ارائه نمود.

1-Polling
2-isolated

روش اجراء	توضیحات
هوشمندی- محلی	روش ساده و بهینه، نیاز به ارتباطات کمتر، مناسب برای سرویس دهی به سیستمهای مبتنی بر جدول زمانی
هوشمندی- مرکزی	اولویت دهی پویا، امکان اولویت دهی به شبکه، امکان استفاده از اطلاعات در سایر سامانه ها (نظیر سامانه اطلاع به مسافران) مناسب برای سرویس ها براساس سرفاصله
درخواست اولویت- غیر متمرکز	با دقت بالا- مناسب برای سیستم کنترل چراغ محلی و مرکزی، نیاز به زیرساخت مخابراتی
درخواست اولویت- متمرکز	نیاز به زیرساخت مخابراتی کمتر- مناسب برای کنترلرهای متصل به سیستم مرکزی و سطح هوشمندی مرکزی
تشخیص اولویت- در کنترلر محلی	اجراء لحظه ای که منجر به صرفه جویی در زمان ارتباط میشود. معمولاً از سایر روشها پیچیده تر است.
تشخیص اولویت- در کنترلر مرکزی	چون با در نظر گرفتن هماهنگی مرکزی بین تقاطعها اجراء میشود اثرات ترافیکی کمتری خواهد داشت. فقط به کنترلرهایی قابل اعمال است که به سیستم مرکزی متصل هستند.

جدول ۱: مزایا و معایب انواع روشهای اجرای TSP

۳-۳-۴- معماری ترکیبی اولویت دهی به اتوبوسرانی

با توجه به مطالب ارائه شده در قسمت قبل، امکان ترکیب روش های اجرایی و ایجاد و معماری ترکیبی برای اجراء اولویت وجود دارد. با توجه به سیستم های AVL موجود می توان ترکیب های متفاوتی را برای اجراء این روش پیش بینی کرد:

۱- ترکیب شماره ۱ : در این نوع معماری، اولویت در تقاطع جدا از مرکز کنترل و بدون دخالت مرکز کنترل اجراء میشود. در این معماری از سیستم AVL برای تعیین محل اتوبوس استفاده می شود. سپس در سیستم محلی، از این اطلاعات برای اختصاص اولویت و سایر سامانه ها استفاده می شود. در این روش درخواست اولویت از اتوبوس به کنترلر چراغ ارسال می شود و با استفاده از زیرساخت مخابراتی غیر متمرکز بدون دخالت مرکز، کنترلر محلی اولویت در مورد اجراء درخواست دریافت شده تصمیم گیری می کند. نقش AVL در این معماری، محدود به تولید درخواست اولویت براساس موقعیت می شود. این معماری برای محل هایی مناسب است که اتوبوس ها براساس یک جدول زمانبندی مشخص کار می کنند.

۲- ترکیب شماره ۲ : این معماری هم مخصوص شرائط چراغ های راهنمایی محلی است. از AVL فقط برای تعیین نوع و درجه اهمیت اولویت استفاده می شود. تصمیم گیری در مورد اولویت در مرکز کنترل اتوبوسرانی و سامانه مرکزی AVL انجام شده و به اتوبوس ارسال میشود. سپس درخواست اولویت از طریق سامانه ارتباطی غیرمتمرکز از طرف اتوبوس برای کنترلر چراغ راهنمایی ارسال می شود. اجراء اولویت نیز بدون نیاز به کسب اجازه از مرکز کنترل، توسط کنترلر چراغ راهنمایی به صورت محلی مدیریت و انجام می شود. نمونهٔ این سیستم در شهر هلسینکی اجراء شده است.

۳- ترکیب شماره ۳ : این معماری، اولویت را در زیر مجموعه مرکز کنترل چراغ های راهنمایی اجرا می کند. نقش AVL در این نوع معماری، ایجاد درخواست اولویت براساس موقعیت هر اتوبوس است. سطح اولویت در سطح محلی و براساس میزان عقب بودن هر اتوبوس از برنامه زمانبندی تعریف شده برای آن اتوبوس تعریف می شود. اتوبوس درخواست اولویت را برای کنترل چراغ ارسال می کند. تصمیم گیری برای اجراء می تواند در مرکز یا در محل کنترلر انجام شود. این نوع اولویت دهی نیز برای اتوبوس هایی که با برنامه زمانبندی کار می کنند مناسب خواهد بود.

۴- ترکیب شماره ۴ : دراین نوع معماری هم، سیستم مرکزی تصمیم گیرنده اصلی است. اما از آنجا که ارتباطی بین مرکز کنترل چراغ ها و مرکز کنترل AVL اتوبوسرانی وجود ندارد، اولویت به صورت محلی از طریق کنترل کننده چراغ راهنمایی درخواست شده و برای مرکز کنترل ارسال می شود. مرکز کنترل براساس برنامه های تعریف شده برای آن، در مورد اجراء یا عدم اجراء اولویت تصمیم گیری می کند. در این روش درخواست اولویت از طریق حسگرهای مرتبط به کنترلر چراغ راهنما تشخیص داده

و به مرکز ارسال میگردد و عملاً ارتباطی بین اتوبوس و چراغ راهنما وجود ندارد. این روش اولویت را به سرعت و در سطح محلی اجراء می کند. نمونه این نوع اولویت دهی در شهر لندن نیز اجراء شده است. سطوح اجراء شده در شهر لندن به صورت محلی و مرکزی بوده است. در سطح محلی برای اولویت دهی به اتوبوس و در سطح مرکزی برای حفظ هماهنگی بین چراغ ها اجراء شده است.

۵- ترکیب شماره ۵ : این حالت به صورت کاملاً مرکزی اجراء شده و نقش مرکز مدیریت AVL در آن پررنگ است. در این معماری مرکز AVL موقعیت اتوبوس، نیاز و نوع اولویت را مشخص میکند و درخواست اولویت را به مرکز کنترل چراغ راهنمایی ارسال می کند. در این روش نیازی به ارتباط بین اتوبوس و کنترلر چراغ راهنما وجود نخواهد داشت.

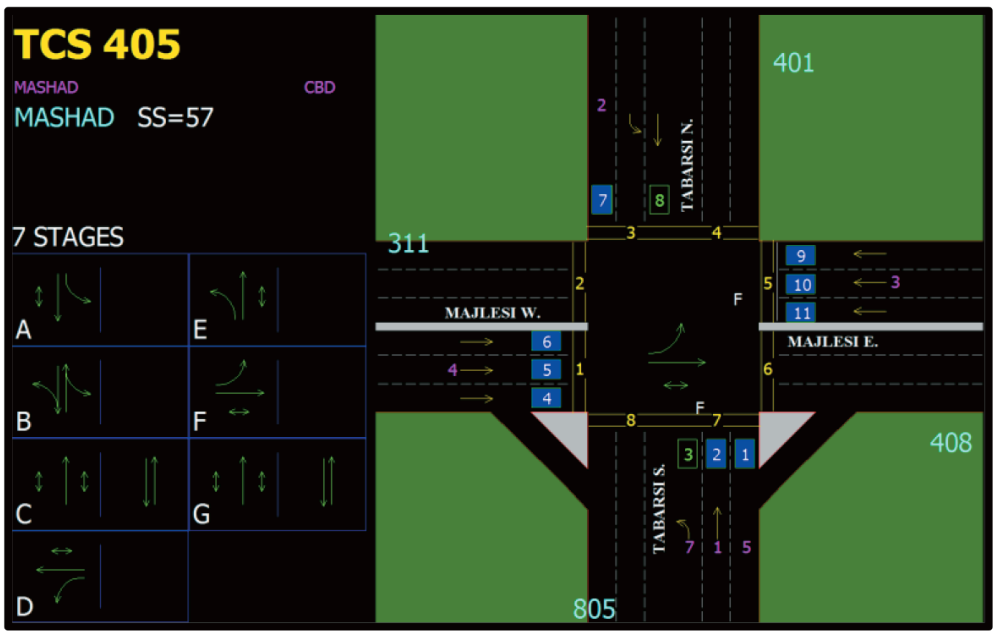
۴- ارزیابی TSP اجرا شده در شهر مشهد

با توجه به بررسیهای فنی بعمل آمده از زیرساخت ها و امکانات موجود در شهر مشهد، از بین معماری های معرفی شده در بخش های قبلی، روش مناسبی برای اجرای اولویت دهی به حمل و نقل عمومی انتخاب و در مرکز کنترل ترافیک مشهد اجرا شد. از بین معماری های ترکیبی معرفی شده در بخش قبل، از روش شماره ۴ استفاده گردید.

۴-۱- معرفی محل و روش اجرای TSP

به منظور ارزیابی TSP و بررسی اثرات آن بر حمل و نقل شخصی و عمومی لازم است که تقاطعی که دارای خط ویژه حرکتی برای حمل و نقل عمومی است انتخاب شود. لذا از بین تقاطع هایی که در مسیر خط ۱ و ۲ BRT اجرا شده در شهر مشهد وجود دارند، تقاطع طبرسی- مجلسی انتخاب شد.

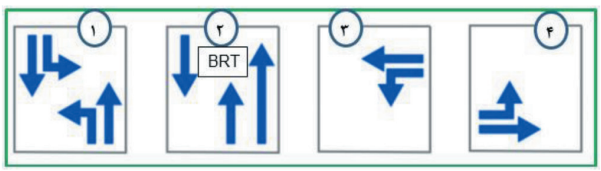
این تقاطع تقریبا در میانه مسیر بلوار طبرسی قرار داشته و توسط سیستم مرکزی و هوشمند SCATS[1] در شهر مشهد مدیریت و کنترل می شود. این تقاطع دارای فازبندی به صورت شکل زیر است:



شکل ۲- فازبندی تقاطع طبرسی مجلسی در سیستم SCATS

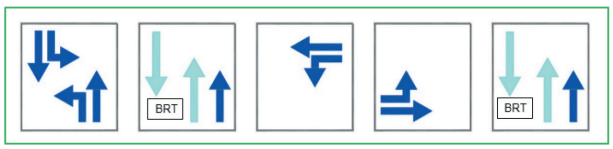
1-Sydney Coordinated Adaptive Traffic System

در این تقاطع مسیر BRT در مسیر شمالی- جنوبی و به صورت ایزوله شده با نرده اجرا شده است. همانگونه که در شکل مشاهده می گردد در این تقاطع ۷ فاز حرکتی برای حرکت خودروهای شخصی و مسیر BRT پیش بینی شده است. در حالت بدون تعریف اولویت ۴ فاز به ترتیب از چپ به راست به صورت C-B-F-D مطابق شکل ذیل اجرا می شود



شکل ۳- توالی فازبندی تقاطع مجلسی بدون تعریف اولویت اضافی برای BRT

در ترکیب فازبندی فوق فاز۲ (فاز C در SCATS)، مختص حرکت BRT بدون تداخل با حرکت های چپ گرد مسیر شمال و جنوب تقاطع است. در فاز بندی فوق با توجه به عرض مناسب رویکرد جنوبی؛ که امکان تفکیک تمایلات حرکتی مستقیم از چپگرد را قائل می شود؛ تمایلات مستقیم این بازو همراه با فاز مخصوص BRT از تقاطع فرمان سبز می گیرند که به نظر می رسد اعمال این فاز بندی ضمن عدم ایجاد تداخل برای هر دو مسیر (BRT و مستقیم جنوبی) و عدم نیاز به توقف وسایل نقلیهٔ شخصی در فاز BRT، شرایطی برای تخلیهٔ سریع تر بازوی جنوبی و تخصیص زمان اضافی به مسیر مشترک برای کمک به بازوی شمالی را نیز فراهم سازد. از سویی دیگر در صورتیکه نیاز به تعریف اولویت برای عبور اتوبوس ها باشد فازبندی تقاطع به صورت شکل ذیل مورد اجرا در می آید.



شکل ۴- توالی فازبندی تقاطع مجلسی در هنگام تعریف اولویت برای مسیر BRT

در این حالت، فاز۵(G) نیز که تکرار فاز۲ (C) می باشد به چرخه اضافه می شود. با استفاده از قابلیتهای SCATS برنامه نرم افزاری کنترل تقاطع به گونه ای تنظیم شده است که در حالت اعمال اولویت، فاز G و C تنها در صورتی اجرا شوند که وجود اتوبوس بر روی سنسورهای القایی شماره ۳ یا ۸ (مطابق شکل ۱)، حس شود. این دو سنسور در مسیر خط BRT اجرا شده و در صورت حضور اتوبوس پشت چراغ راهنما فعال می گردند. در صورت عدم احساس اتوبوس در این مسیر نیز این دو فاز اجرا نشده و زمان آن مطابق فرایندی که در ادامه بدان اشاره می شود به سایر مسیرها اختصاص داده می شود. با توجه به تعاریف ذکر شدهٔ فوق مراحل گام به گام انجام مطالعه به صورت ذیل می باشد.

الف) در گام اول تقاطع با فازبندی بدون اعمال اولویت اضافی در صورت ایجاد تقاضا برای مسیر BRT (شکل۲)، مورد اجرا در آمده مطالعات زمان سفر قبل و بعد از اجرای TSP، به طرق زیر و طی ۵۷ نفر-ساعت ، برای تقاطع صورت گرفت:

- برداشت زمان سفر و تأخیر به روش اتومبیل شناور در قالب مطالعات قبل و بعد[1].[۵]
- برداشت زمان سفر با استفاده از دوربین های نظارت تصویری (انتخاب وسیلهٔ نقلیه به صورت تصادفی و براورد زمان سفر با تعقیب کردن آن بوسیلهٔ دوربین های نظارت تصویری)

براورد درصد موفقیت عبور: در این مطالعه جهت بررسی وضعیت عملکرد تقاطع در حالت قبل و بعد از اعمال TSP در تقاطع مجهز به سیستم SCATS در ساعات آماربرداری تعدادی نمونهٔ تصادفی انتخاب گردید و امتداد حرکتشان از طریق دوربین های نظارت تصویری در تمامی تمایلات حرکتی، دنبال گردید. جهت بالا بردن دقت مطالعه، زمان برداشت آمار حجم نمونه با ساعت برداشت زمان سفر یکسان انتخاب گردید؛ علاوه بر این در انتخاب نمونه ها سعی بر آن شده است که در هر سیکل بیش از یک یا دو اتومبیل انتخاب نگردد چرا که هر وسیله نقلیه در هر سیکل می تواند معرف مجموعه حرکتهای یکسانی از تعداد خاصی وسیلهٔ نقلیه باشد. آماربرداری به این روش، امکان اثر سنجی عملکرد تقاطعات نسبت به اجرای TSP در قبل و بعد از مطالعه را به صورت کمی، به صورت محسوس تری فراهم می نماید.

- براورد متوسط زمان هر فاز در ساعات آمار برداری توسط نرم افزار Reporter Traffic.
- برداشت اطلاعات حجم و زمان سفر اتوبوس های مسیر BRT از سامانهٔ AVL اتوبوسرانی

1-Befor & After Study

ب) پس از برداشت آمار به طرق مختلف اشاره شده، فازبندی تقاطع به صورتی که در آن اولویت اضافی به مسیر BRT در صورت وجود تقاضا داده می شود (شکل۳)، تغییر یافت. و مراحل زیر در نرم افزار مورد اجرا در آمد.

➢ اعمال سوییچ گذاری و کالیبراسیون در نرم افزار SCATS : همانطور که پیش از این اشاره شد، در صورت عدم وجود تقاضا فازهای BRT اجرا نمی گردد. در SCATS سوییچ های کنترلی جهت مدیریت بهتر زمانبندی و فازبندی تقاطع در شرایط مختلف در نظر گرفته شده است. این سوویچ ها نرم افزار را در انتخاب زمان و فاز متناسب با شرایط ترافیکی تقاطع و مدیریت تطبیقی و لحظه ای آن، کمک می نمایند. با توجه به تعریف صورت گرفته و در پژوهش پیش رو، این سوییچ ها بگونه ای طراحی شد که در صورت عدم تخصیص زمان فاز های BRT، این زمان ها به ترتیب به فاز B (مشترک شمال و جنوب) و در صورت ایجاد گپ در این فاز به فاز های D و F (فاز های مستقل شرقی و غربی) برسد[۷],[۶]. این توالی تخصیص زمان، با توجه به رفتار و میزان تقاضای سفر در بازوهای تقاطع صورت گرفته بود. این قابلیت دینامیک بودن زمانبندی فازها را در صورت عدم وجود تقاضا برای مسیر BRT، با تخصیص زمان ان به سایر فازها، بیشتر متمایز می نمود.

➢ کلیه آمار برداری صورت گرفته در بخش الف مجددا صورت گرفته و نتایج آن با یکدیگر مقایسه گردید.

با توجه به توضیحات ارائه شدهٔ فوق مطالعات قبل و بعد زمان سفر و تأخیر در دوروز متوالی میان هفته (با فازبندی های متفاوت) و نیز در روزی مشابه در هفته بعد آن، صورت گرفت تا بتوان به دقت بالاتری از نتایج دست یافت.

۴-۲- نتایج ارزیابی TSP

همانطور که پیش از این بدان اشاره شد، یکی از روش هایی که برای مقایسهٔ عملکرد رفتار تقاطع مقایسهٔ درصد موفقیت عبور از تقاطع در دو حالت قبل و بعد از اجرای TSP می باشد. جدول ۲ نتایج حاصل از آمار برداری را برای تعدادی از اتوموبیل های نمونه، در محور غرب به شرق تقاطع قبل از اجرای TSP، نشان می دهد. در این جدول وضعیت عبور هر یک از خودروهای نمونه در برخورد با چراغ قرمز نشان داده می شود. رنگ قرمز نشان دهندهٔ توقف خودرو نمونه در هرکدام از سیکل های تقاطع در صف پشت چراغ و رنگ سبز معرف عبور در سیکل مورد نظر می باشد.

مسیر : غرب به شرق				
شماره خودرو نمونه	سیکل عبور			
	۱	۲	۳	۴
۱				
۲				
۳				
۴				
۵				
۶				
۷				
۸				
۹				
۱۰				
۱۱				
۱۲				

جدول۲: توالی برخورد با چراغ وسایل نقلیهٔ عبوری

قابل به ذکر است که برای تمامی تمایلات حرکتی وسایل نقلیهٔ عبوری در برخورد با چراغ، جداولی مطابق جدول ۲ تهیه گردید و نتایج حاصله در دو حالت قبل و بعد مقایسه گردید. جدول ۳ نتایج حاصل از درصد موفقیت عبور را در سیکل های مختلف و بطور متوسط برای کل تقاطع نشان می دهد.

تاریخ	متوسط درصد عبور از کل تقاطع								
	درصد عبور از تقاطع در سیکل اول			درصد عبور از تقاطع در سیکل دوم			درصد عبور از تقاطع در سیکل سوم و بیشتر		
	چپگرد	مستقیم	کل	چپگرد	مستقیم	کل	چپگرد	مستقیم	کل
(بدون اولویت) ۱۳۹۳/۰۸/۱۹	٪۳۳	٪۶۳	٪۴۸	٪۴۶	٪۲۹	٪۳۷	٪۲۱	٪۸	٪۱۵
(با اولویت) ۱۳۹۳/۰۸/۲۰	٪۵۰	٪۶۶	٪۵۸	٪۳	٪۲۵	٪۲۹	٪۱۷	٪۹	٪۱۳
(با اولویت) ۱۳۹۳/۰۸/۲۶	٪۵۹	٪۶۵	٪۶۲	٪۳۷	٪۳۰	٪۳۴	٪۴	٪۵	٪۴

جدول۳: متوسط درصد موفقیت عبور از تقاطع

همانطور که از جدول فوق بر می آید متوسط درصد موفقیت عبور از کلیهٔ تمایلات حرکتی در تقاطع در زمانی که اولویت حرکت اضافی به مسیر BRT داده شده بود در مقایسه با زمانی که به مسیر ویژه BRT یک فاز حرکتی داه شده، با رشد نسبی ۱۰٪ در موفقیت عبور خودرو ها در سیکل اول مواجه بوده است. ذکر این نکته حایز اهمیت است که با وجود تخصیص زمان بیشتر به مسیر BRT (اختصاص دو فاز)، این امر اتفاق افتاده است. با بررسی نرم افزار Reporter Traffic که خروجی های زمان سبز و سیکل تقاطع را در اختیار می دهد می توان به این نتیجه رسید که با وجود تخصیص زمان اضافی به فاز BRT، نه تنها متوسط طول سیکل تقاطع در دو حالت قبل و بعد تغییر چندانی ننموده، بلکه این فاز (فاز اضافی مخصوص BRT) در تمامی سیکل های ساعات آماربرداری مورد استفاده قرار نگرفته و زمان مازاد مطابق سوییچ گذاری های تعریف شدهٔ قبل، به فازهای با اولویت بیشتر ترافیکی داده شده است که این امر درصد موفقیت عبور در حالت اجرای TSP را توجیه می نماید. جدول متوسط طول سیکل و تعداد پرش های فاز TSP در روزهای اجرای TSP را مطابق خروجی نرم افزار Traffic Reporter نشان می دهد. نشانه عدد صفر بدلیل اجرای فاز بندی بدون اولویت BRT به تقاطع در روزهای فوق الذکر بوده است.

تاریخ	متوسط طول سیکل در ساعت آماربرداری	تعداد سیکل	تعداد عدم رای به فاز مخصوص BRT (تعداد پرش)
۱۳۹۳/۸/۱۹	۱۶۵	۲۲	۰
۱۳۹۳/۸/۲۰	۱۶۷	۲۱	۵
۱۳۹۳/۸/۲۶	۱۶۲	۲۲	۸

جدول۴: وضعیت چرخهٔ زمانی تقاطع در روزهای آماربرداری

همانطور که پیش از این بدان اشاره شد، درگام بعد، میانگین زمان سفر و تأخیر، به روش اتومبیل شناور برای تمامی تمایلات حرکتی در چهار بازوی تقاطع و برای هر مسیر در ۴ نوبت، و نیز آمار حجم ترافیک تقاطع در ساعات متناظر آمار برداری (سه پیک زمانی)، از طریق نرم افزار Traffic Reporter، به منظور برآورد میانگین وزنی سفر و تآخیرات برداشت گردید.

جدول شمارهٔ ۵، نتایج حاصل از این دو برداشت را به صورت توامان در سه پیک زمانی مختلف و برای یکی از ۴ روز آماربرداری نشان داده است.

زمان	اوج صبح				غیر اوج ظهر				اوج شب			
شاخص	متوسط مجموع زمان سفر	متوسط مجموع تاخیر	متوسط مجموع زمان اجرا	متوسط مجموع سرعت سفر	متوسط مجموع زمان سفر	متوسط مجموع تاخیر	متوسط مجموع زمان اجرا	متوسط مجموع سرعت سفر	متوسط مجموع زمان سفر	متوسط مجموع تاخیر	متوسط مجموع زمان اجرا	متوسط مجموع سرعت سفر
غرب به شرق- مستقیم	۱۳۸/۲۵	۹۴/۲۵	۴۴/۰۰	۸/۵۹	۹/۵۰	۵۵/۲۵	۴۴/۲۵	۱۱/۹۴	۱۵۸/۲۵	۱۰۰/۵۰	۵۷/۷۵	۷/۵۱
غرب به شرق- چپگرد	۱۳۱/۲۵	۱۰۳/۷۵	۲۷/۵۰	۹/۰۵	۷۹/۷۵	۳۵/۰۰	۴۴/۷۵	۱۴/۹۰	۱۰۴/۷۵	۵۲/۵۰	۵۲/۲۵	۱۱/۳۴
میانگین وزنی	۱۳۷/۱۰	۹۵/۸۰	۴۱/۳۰	۸/۶۷	۹۳/۵۳	۴۹/۱۳	۴۴/۴۰	۱۲/۸۳	۱۴۱/۷۹	۸۵/۷۳	۵۶/۰۶	۸/۶۹
شمال به جنوب - مستقیم	۲۰۸/۷۵	۱۴۰/۵۰	۶۸/۲۵	۲/۲۴	۱۰۱/۰۰	۷۰/۰۰	۹/۷۵	۴/۶۳	۲۹۱/۷۵	۲۰۶/۰۰	۸۵/۷۵	۱/۶۰
شمال به جنوب - چپگرد	۲۵۱/۰۰	۱۸۳/۵۰	۶۷/۵۰	۱/۸۶	۹۴/۲۵	۳۲/۵۰	۶۱/۷۵	۴/۶۳	۳۲۸/۲۵	۲۱۳/۲۵	۱۱۵/۰۰	۱/۴۳
میانگین وزنی	۲۲۲/۸۳	۱۵۴/۸۳	۶۸/۰۰	۲/۱۲	۹۸/۷۴	۵۷/۴۴	۲۷/۱۶	۴/۶۳	۳۰۳/۹۲	۲۰۸/۴۲	۹۵/۵۰	۱/۵۴
شرق به غرب - مستقیم	۱۹۰/۵۰	۱۲۱/۰۰	۶۹/۵۰	۰/۰۰	۱۱۴/۷۵	۰/۰۰	۴۴/۲۵	۴/۹۷	۲۰۰/۵۰	۱۴۶/۵۰	۵۴/۰	۷/۰۰
شرق به غرب - چپگرد	۱۷۰/۰۰	۱۰۹/۵۰	۶۹/۵۰	۲۱/۸۸	۱۱۴/۵۰	۶۷/۷۵	۴۶/۷۵	۱۲/۲۴	۲۴۶/۲۵	۱۰۷/۲۵	۱۳۹/۰۰	۵/۷۰
میانگین وزنی	۱۸۳/۸۸	۱۱۷/۲۸	۶۹/۵۰	۷/۰۷	۱۱۴/۶۷	۲۲/۹۰	۴۵/۱۰	۷/۴۲	۲۱۵/۲۸	۱۳۳/۸۲	۸۱/۴۵	۶/۵۸
جنوب به شمال- مستقیم	۵۱/۰۰	۹/۷۵	۶۰/۵۰	۱۰/۰۸	۸۷/۵۰	۴۹/۲۵	۳۸/۲۵	۱۲/۲۶	۵۹/۷۵	۱۳/۲۵	۴۶/۵۰	۱۸/۶۸
جنوب به شمال- چپگرد	۱۱۰/۷۵	۷۰/۰۰	۴۱/۲۵	۱۱/۹۴	۷۹/۲۵	۳۸/۲۵	۴۱/۰۰	۱۲/۷۵	۷۷/۵۰	۳۶/۷۵	۴۰/۷۵	۱۴/۴۰
میانگین وزنی	۷۵/۰۳	۳۳/۹۸	۵۲/۷۶	۱۰/۸۳	۸۴/۶۹	۴۵/۵۱	۳۹/۱۹	۱۲/۴۳	۶۵/۷۷	۲۱/۲۲	۴۴/۵۵	۱۷/۲۳
میانگین وزنی کل	۱۴۷/۳۴	۹۳/۱۶	۵۸/۶۲	۷/۹۸	۹۸/۷۷	۴۰/۱۷	۴۱/۳۲	۱۰/۰۱	۱۶۷/۶۱	۱۰۰/۴۵	۶۷/۱۶	۹/۳۳
میانگین کل	۱۵۴/۷۱	۱۰۰/۴۷	۵۷/۸۹	۷/۱۷	۹۷/۹۱	۴۳/۷۵	۳۸/۹۶	۹/۳۳	۱۸۱/۶۹	۱۱۲/۳۰	۶۹/۳۹	۸/۵۱
مسیر	حجم خودروی عبوری مسیر مستقیم	حجم خودروی مسیر چپگرد	ضریب وزنی مسیر چپگرد به مستقیم	ضریب وزنی کل مسیر نسبت به کل تقاطع	حجم خودروی عبوری مسیر مستقیم	حجم خودروی مسیر چپگرد	ضریب وزنی مسیر چپگرد به مستقیم	ضریب وزنی کل مسیر نسبت به کل تقاطع	حجم خودروی عبوری مسیر مستقیم	حجم خودروی مسیر چپگرد	ضریب وزنی مسیر چپگرد به مستقیم	ضریب وزنی کل مسیر نسبت به کل تقاطع
غرب به شرق	۳۷۳	۷۳	۰/۱۶	۰/۲۲	۴۰۶	۱۷۶	۰/۳۰	۰/۲۸	۲۹۷	۱۳۲	۰/۳۱	۰/۲۴
شمال به جنوب	۱۳۲	۶۶	۰/۳۳	۰/۱۰	۱۵۱	۷۶	۰/۳۳	۰/۱۱	۱۱۲	۵۶	۰/۳۳	۰/۱۰
شرق به غرب	۵۷۴	۲۷۴	۰/۳۲	۰/۴۱	۴۷۰	۲۴۰	۰/۳۴	۰/۳۴	۴۸۰	۲۲۹	۰/۳۲	۰/۴۰
جنوب به شمال	۳۴۲	۲۳۰	۰/۴۰	۰/۲۸	۳۸۶	۱۹۹	۰/۳۴	۰/۲۸	۲۹۶	۱۵۲	۰/۳۴	۰/۲۶

جدول۵: متوسط زمان سفر، تأخیرات و میانگین وزنی حجم بازوهای تقاطع طبرسی – مجلسی

پس از اعمال ضرایب وزنی رویکردها در تمامی روزهای آماربرداری، نتایج کلی زیر برای تقاطع حاصل گشت. همانطور که از جدول ۶ برمی آید، متوسط زمانهای سفر و تأخیر در هر سه ساعت آماربرداری در روزهایی که فازبندی تقاطع با اولویت بیشتری به مسیر BRT همراه بوده است، کاهش نسبتا چشمگیری از خود نشان داده است. برای مشخص شدن بهتر این امر، از مقایسهٔ درصد تغییرات بین روزهای قبل و بعد از اجرای TSP، استفاده شده است.

ساعت اجرا	اوج صبح				غیر اوج ظهر				اوج شب			
شاخص	متوسط زمان سفر	متوسط زمان تاخیر	متوسط زمان اجرا	متوسط سرعت سفر	متوسط زمان سفر	توسط زمان تاخیر	متوسط زمان اجرا	متوسط سرعت سفر	متوسط زمان سفر	متوسط زمان تاخیر	متوسط زمان اجرا	متوسط سرعت سفر
درصد تغییرات روز اول لجرا نسبت به قبل	-۱۲	-۱۲	-۱۷	-۱۰	۲۱	۳۶	۵۷	-۱۶	-۱	-۱۰	۱۳	-۱۳
درصد تغییرات روز دوم اجرا نسبت به قبل	-۲۱	-۲۸	-۱۲	۱۰	-۱۲	۲۴	-۹	۱۷	-۱۶	-۱۱	-۲۴	۰

جدول۶: متوسط زمان سفر برای تمامی پیک های آماربرداری

ساعت اجرا	اوج صبح				غیر اوج ظهر				اوج شب			
شاخص	متوسط زمان سفر	متوسط زمان تاخیر	متوسط زمان اجرا	متوسط سرعت سفر	متوسط زمان سفر	متوسط زمان تاخیر	متوسط زمان اجرا	متوسط سرعت سفر	متوسط زمان سفر	متوسط زمان تاخیر	متوسط زمان اجرا	متوسط سرعت سفر
بدون اولویت ۹۳/۸/۱۹	۱۴۷/۳۴	۹۳/۱۶	۵۸/۶۲	۷/۹۸	۹۸/۸	۴۰/۲	۴۱/۳	۱۰/۰	۱۶۷/۶	۱۰۰/۴	۶۷/۲	۹/۳
با اولویت ۹۳/۸/۲۰	۱۲۹/۷۹	۸۱/۹۷	۴۸/۹۰	۷/۲۰	۱۱۹/۶	۵۴/۶	۶۵/۰	۸/۴	۱۶۶/۴	۹۰/۵	۷۵/۹	۸/۴
با اولویت ۹۳/۸/۲۶	۱۱۶/۳۰	۶۷/۴۸	۵۱/۴۰	۸/۷۹	۸۷/۳	۴۹/۹	۳۷/۴	۱۱/۸	۱۲۹/۸	۷۳/۶	۵۶/۲	۱۰/۴

جدول۷: درصد تغییرات زمان سفر در قبل و بعد از اجرای TSP

با توجه نتایج بدست آمده و نظر به اینکه مطالعات مذکور در تقاطعی با داشتن مسیر BRT، صورت گرفته است و در مقاطعی با داشتن شرایطی از این دست، شاید براورد و مقایسه زمان سفر بر حسب وسیلهٔ نقلیه شخصی، مقایسه ای دقیق نباشد؛ با وجود کاهش نسبی زمان سفر طی ساعات آمار برداری، مطالعات فوق الذکر مجددا بر حسب میانگین وزنی نفر- ساعت و با در نظر گرفتن حجم مسافر جابجا شده برای مسیر TSP و نقلیهٔ شخصی با طی مراحل زیر صورت گرفت:

. برداشت اطلاعات زمانی و مکانی سامانه BRT از سیستم AVL اتوبوسرانی شهر مشهد، جهت برداشت تعداد دستگاه، حجم جابجایی مسافر و زمان سفر عبوری از تقاطع برای اتوبوسهای این مسیر در ساعات آماربرداری.

. برداشت ضریب سرنشین به طور متوسط برای وسیلهٔ نقلیهٔ شخصی به طور میدانی و مقایسهٔ آن با عدد بدست آمده از مطالعات جامع حمل و نقل و آمار نامهٔ حمل و نقل ۱۳۹۲ مشهد. [۱]

نتایج حاصل از برداشت اطلاعات مذکور، در جداول ۸ و ۹، نشان داده شده است.

تاریخ	ساعت	متوسط زمان سفر	
		جنوب به شمال	شمال به جنوب
۹۳/۸/۱۹ (قبل از اجرا)	۱۲:۰۰ – ۱۳:۰۰	۰:۰۵:۰۲	۰:۰۱:۳۴
	۱۴:۴۵ – ۱۵:۴۵	۰:۰۴:۰۸	۰:۰۱:۲۴
	۱۷:۳۰ – ۱۸:۳۰	۰:۰۵:۰۰	۰:۰۱:۴۹
۹۳/۸/۲۰(روز اول اجرا)	۱۲:۰۰ – ۱۳:۰۰	۰:۰۳:۱۵	۰:۰۱:۲۲
	۱۴:۴۵ – ۱۵:۴۵	۰:۰۲:۱	۰:۰۰:۵۱
	۱۷:۳۰ – ۱۸:۳۰	۰:۰۲:۴۳	۰:۰۰:۵۹
۹۳/۸/۲۶ (روز دوم اجرا)	۱۲:۰۰ – ۱۳:۰۰	۰:۰۲:۲۷	۰:۰۰:۵۵
	۱۴:۴۵ – ۱۵:۴۵	۰:۰۲:۰۶	۰:۰۰:۵۴
	۱۷:۳۰ – ۱۸:۳۰	۰:۰۳:۰۱	۰:۰۰:۰۷

جدول۸: زمان سفر مسیر BRT در تقاطع طبرسی – مجلسی طی روزهای آماربرداری

قابل به ذکر است که اطلاعات جدول ۸، شامل زمان ورود به ایستگاه از قبل تقاطع تا لحظهٔ خروج در دو محور شمالی و جنوبی تقاطع می باشد، بدیهی است که با توجه به عدم دسترسی به زمان انتظار در ایستگاه، این زمان در هر دو حالت قبل و بعد از اجرای TSP، به صورت ثابت و یکسان در نظر گرفته شد.

تاریخ	ساعت	حجم کل	متوسط حجم مسافر (برای هر اتوبوس)
۸/۱۹ (روز قبل اجرا)	۱۲:۰۰ – ۱۳:۰۰	۶۷۱۶	۱۰۲
	۱۴:۴۵ – ۱۵:۴۵	۵۶۲۳	۷۰
	۱۷:۳۰ – ۱۸:۳۰	۶۲۷۴	۸۰
۸/۲۰ (روز اول اجرا)	۱۲:۰۰ – ۱۳:۰۰	۶۲۴۷	۸۰
	۱۴:۴۵ – ۱۵:۴۵	۵۵۶۱	۶۵
	۱۷:۳۰ – ۱۸:۳۰	۶۱۶۱	۷۹
۸/۲۶ (روز دوم اجرا)	۱۲:۰۰ – ۱۳:۰۰	۶۸۶۶	۱۰۱
	۱۴:۴۵ – ۱۵:۴۵	۵۷۰۱	۶۹
	۱۷:۳۰ – ۱۸:۳۰	۵۸۵۸	۸۵

جدول۹: اطلاعات حجم کلی مسافر جابجا شده طی ساعات آمار برداری از مسیر BRT

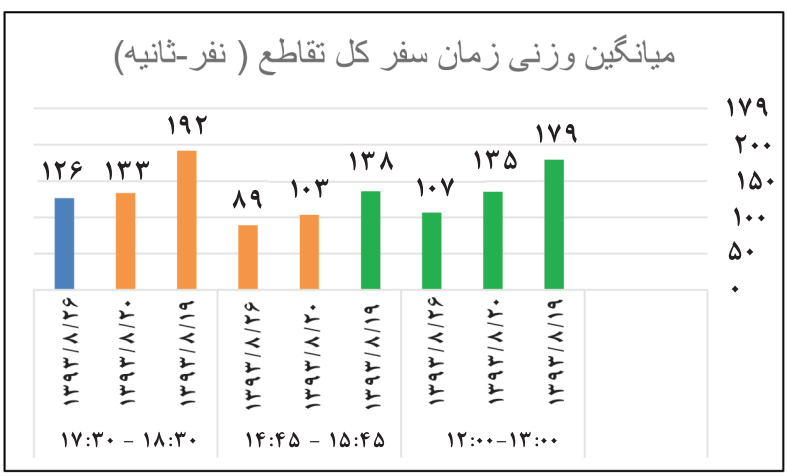
اطلاعات جدول ۹، شامل تعدا تراکنش های پرداختی مسافران برای بلیت از سامانهٔ هوشمند اتوبوسرانی مشهد، بوده که از مجموع خطوط عبوری و از گیت های ایستگاه ها، برداشت گردیده و تحت عنوان تعداد مسافر جابجا شده در روزهای آمار برداری برای ایستگاه های قبل و بعد از تقاطع، در نظر گرفته شده است. اطلاعات شامل ضریب سرنشین وسایل نقلیه شخصی همانطور که پیش از این بدان اشاره گشت، بطور متوسط و میدانی مورد برداشت قرار گرفته و عدد ۱,۶ برای وسیلهٔ نقلیهٔ شخصی بدست امد. با این وجود جهت تخصیص سنگینی بیشتر به وسایل نقلیهٔ شخصی به منظور اطمینان بیشتر از صحت نتایج، این ضریب مطابق با آمارنامهٔ حمل و نقلی شهر مشهد عدد ۱,۹ درنظر گرفته شد. بنا براین با توجه به نکات ذکر شده و در دست بودن تعداد ناوگان مسیر BRT، تعداد اتومبیل شخصی و متوسط مسافر جابجا شده برای هر کدام، زمان سفر کلی تقاطع در روزهای آماربرداری بطور نفر- ساعت براورد گردید. جدول ۱۰ و نمودار شمارهٔ ۲ نتایج کلی حاصل از این مقایسه را نشان می دهند.

ساعت	تاریخ	میانگین وزنی زمان سفر کل تقاطع (نفر-ثانیه)
۱۲:۰۰-۱۳:۰۰	۱۳۹۳/۸/۱۹	۱۷۹
	۱۳۹۳/۸/۲۰	۱۳۵
	۱۳۹۳/۸/۲۶	۱۰۷
۱۴:۴۵-۱۵:۴۵	۱۳۹۳/۸/۱۹	۱۳۸
	۱۳۹۳/۸/۲۰	۱۰۳
	۱۳۹۳/۸/۲۶	۸۹
۱۷:۳۰-۱۸:۳۰	۱۳۹۳/۸/۱۹	۱۹۲
	۱۳۹۳/۸/۲۰	۱۳۳
	۱۳۹۳/۸/۲۶	۱۲۶

جدول۱۰: میانگین وزنی زمان سفر تقاطع طبرسی - مجلسی

روز اول اجرای TSP نسبت به روز قبل از اجرا			روز دوم اجرای TSP نسبت به روز قبل از اجرا		
۱۲:۰۰-۱۳:۰۰	۱۴:۴۵ - ۱۵:۴۵	۱۷:۳۰ - ۱۸:۳۰	۱۲:۰۰-۱۳:۰۰	۱۴:۴۵ - ۱۴:۴۵	۱۷:۳۰-۱۸:۳۰
-۲۵	-۲۵	-۳۱	-۴۱	-۳۶	-۳۴

جدول۱۱:جدول درصد تغییرات زمان سفر کل تقاطع



نمودار ۱: میانگین وزنی زمان سفر تقاطع طبرسی – مجلسی

۸- نتیجه گیری

با توجه به نکات ارائه شده و مطابق جداول ۱۰ و ۱۱، می توان مشاهده نمود که نتیجهٔ حاصل از اجرای TSP در تقاطع مورد مطالعه(طبرسی- مجلسی مشهد)، حاکی از کاهش ۲۵ تا ۴۱ درصدی زمان سفر برای هر سرنشین و تا ۲۸ درصدی برای وسیلهٔ نقلیه در بازه های آماربرداری می باشد. ذکر این نکته حایز اهمیت است که این کاهش در حالتی اتفاق می افتد که با افزایش نسبی طول سیکل تقاطع در حالت اعمال اولویت اضافی به مسیر BRT مواجه هستیم.در حالت پیش از اعمال TSP، به مسیر BRT یک فاز با زمان نسبتا طولانی تعلق می گرفت که در بعضی مواقع با عدم وجود تقاضا مواجه می شد که این امر مجموع زمانهای تلف شدهٔ تقاطع را افزایش می داد؛ مطالعات صورت گرفته در این پژوهش نشان داد که بهبود بدست آمده، ناشی از برقراری شرط تخصیص زمان فاز درصورت وجود تقاضا در مسیر BRT می باشد. این شرط علاوه بر اینکه زمان تخصیصی به مسیر BRT را در قالب دو فاز حمایتی افزایش داده؛ که موجب افزایش سطح رضایتمندی در استفاده از این مد حمل و نقلی همگانی می گردد؛ در صورت عدم توقف اتوبوس پشت خط ایست تقاطع(عدم تقاضا)، این زمان به کمک سوویچ های تنظیمی در SCATS به ترتیب اولویت به سایر بازوهای تقاطع، تخصیص داده می شود، که کمکی خواهد بود به مد حمل و نقل شخصی. بدین ترتیب مجموعه زمانهای هر فاز برای این تقاطع مجموعه ای کاملا دینامیک و بر اساس میزان سنگینی بازوها خواهد بود. بر اساس داده کاوی در اطلاعات بانک AVL اتوبوسرانی مشهد به این مهم دست می یابیم که، جدول شمارهٔ۸، زمان سفر در مسیر BRT، بالاخص گاهاً تا ۵۱ درصد کاهش نیز از خود نشان داده است. که این خود گواهی بر عملکرد مناسب اجرای این سیستم می باشد. در واقع بجای تخصیص یک فاز با زمان نسبتا طولانی به محور BRT، استفاده از دو فاز با زمان کوتاه تر و با شرط وجود تقاضا، تأثیر بسزایی بر عملکرد کلی تقاطع گذاشته و به هوشمندی سیستم در تصمیم گیری های لحظه ای کمک بسزایی نموده است.

۱۰- مراجع

۱- سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری مشهد؛ نهمین آمار نامه حمل و نقل و ترافیک؛ تابستان ۱۳۹۲

۲- قانون پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران؛ ابلاغ شده در تاریخ ۱۳۸۲/۸/۱۳

۳- خبرگذاری فارس، نشست خبری شهردار مشهد، مهرماه ۱۳۹۳

۴- محمد جلائر؛ اولویت دهی چراغ راهنمایی به سیستم حمل و نقل همگانی بر پایه اطلاعات به دست آمده از سیستم GPS/ Wireless ؛نهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک

5-Traffic Engineering,2004, Roger p. Roess Elena S.Prassas, William R.Mcshane, Pearson education international, third edition

6- Configuring a Subsystem, SCATS Booklet, (V6.6), TYCO Company

7- TRB Committee A3A18, July 1998, Adaptive Traffic Control Workshop, SCATS Adaptive Traffic Control Workshop,

8- Harriet R. Smith,BrendonHemily,MiomirIvanovic; Transit Signal Priority; Planning and Implementation Handbook; May 2005

9- N.B. Hounsell and B.P. Shrestha; AVL based Bus Priority at Traffic Signals: A Review and Case Study of Architectures; EJTIR, 5, no. 1 (2005), pp. 13-29; 2005.

10- Guangwei Zhou, Albert Gan; Design of Transit Signal priority at Signalized Intersections with

Queue Jumper Lanes; Journal of Public Transportation Article in Volume 12, Issue 4 ;march 2010.

11- chada, Shireen and Newland, Robert; Effectiveness of Bus Signal Priority ; Journal of Public Transportation Article; January 2002