

هماهنگ سازی بهینه کنترل چراغ ها در معابر شهری فوق اشباع و زیر اشباع

شهریار افندی زاده زرگری¹، هاجر حاج محمدی²، نازلی دهقانی³

1- دانشیار دانشکده عمران - دانشگاه علم و صنعت ایران

2- دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه ریزی حمل و نقل - دانشگاه علم و صنعت ایران

3- دانشجوی دکتری برنامه ریزی حمل و نقل - دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

چراغ های راهنمایی به عنوان یکی از اجزای مهم و کلیدی در تقاطعات، نقش موثری در کنترل جریان ترافیک بر عهده دارند. از این رو مطالعه و تحقیق بر روی هماهنگ سازی و فاز بندی این چراغ ها می تواند گام مهمی جهت جلوگیری از به وجود آمدن ازدحام و پس زدگی صف در یک شبکه باشد. هماهنگ سازی تقاطعات شبکه یکی از بهترین راهکارها جهت برقراری جریان ترافیک پیوسته می باشد. هماهنگ سازی، بسته به شرایط، انواع مختلفی دارد که دو نوع ساده و معکوس آن در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. اختلاف فاز، عنصر مهم و کلیدی یک شبکه هماهنگ شده محسوب می شود، از این رو در این مقاله برای محاسبه فاز بندی بهینه و اختلاف فاز مناسب ابتدا شبکه مد نظر در نرم افزار *SYNCHRO* آنالیز گردیده و سپس نتایج آن در نرم افزار *AIMSUN* شبیه سازی شده است. معیار کلی برای ارزیابی عملکرد چراغ راهنمایی مرجع و اختلاف فاز مناسب، تاخیر در شریانی اصلی شبکه می باشد. این تاخیر توسط نرم افزار *AIMSUN* و به صورت تفاوت زمان سفر مورد انتظار و زمان سفر اندازه گیری شده در شرایط شبیه سازی، محاسبه می گردد. نتایج حاصل شده حاکی از آن است که در شرایط فوق اشباع، به دلیل پس زدگی صف و عدم توانایی چراغ پایین دست در تخلیه مناسب رویکرد، استفاده از روش پیشروی معکوس و در شرایط زیر اشباع استفاده از پیشروی مستقیم بهترین گزینه جهت هماهنگ سازی شبکه می باشند.

کلید واژه: هماهنگ سازی، پیشروی مستقیم، پیشروی معکوس، تاخیر

1- zargari@iust.ac.ir

2- h.hajmohamadi@yahoo.com

3- ndehghani@iust.ac.ir

1- مقدمه

با توجه به رشد روز افزون جمعیت و وسایل نقلیه ، اخیراً شاهد ازدحام ترافیک و اختلال در آمد و شد وسایل نقلیه هستیم . احداث خیابان ها ، بزرگراه ها و آزادراه های جدید ، با وجود آنکه می تواند به حل این معضل از طرق مختلف کمک نماید ، لیکن هنگامی که فضای کافی در دسترس نباشد نا کارآمد می باشد . از این رو کنترل چراغهای راهنمایی ، به عنوان یک راه حل کلیدی جهت حل مشکل ازدحام مطرح می شود .

چراغ های راهنمایی به عنوان یکی از اجزای مهم و کلیدی تقاطعات ، نقش موثری را در کنترل جریان ترافیک بر عهده دارند . بعد از تقریباً یک سده پیشرفت ، کنترل کننده های چراغ های راهنمایی از کنترل یک تقاطع ساده به هماهنگ سازی یک شبکه رسیده اند . هنگامی که حجم ترافیک و تعداد تقاطعات چراغدار در یک شریانی افزایش می یابد ، مهندسان ترافیک نیازمند آن می شوند که عملکرد چراغ های راهنمایی را بهبود ببخشند ، از این رو به گروهی از وسایل نقلیه این اجازه را می دهند که بدون توقف از تعدادی چراغ راهنمایی یک شبکه عبور نمایند . حرکت گروهی از وسایل نقلیه از میان تعدادی تقاطع چراغدار ، موج سبز یا پیشروی نامیده می شود . برای دستیابی به این موج سبز ، یک رابطه زمان بندی بایستی بین تقاطعات متوالی برقرار گردد که در آن صورت وسایل نقلیه ، که با سرعت از پیش تعیین شده حرکت می کنند ، می توانند از نشانگر سبز چراغ های متوالی عبور نمایند . برقراری این رابطه زمانی ، با نام عملکرد هماهنگی یا هماهنگ سازی شناخته می شود .

هماهنگ سازی بین تقاطعات یک شبکه با دو مکانیزم امکان پذیر است . مکانیزم اول "کنترل زمان مبنا" می باشد . در این روش ، رابطه بین زمان بندی تقاطعات توسط ساعت های بسیار دقیق داخل هر چراغ راهنمایی انجام می گردد . چراغ ها در هر تقاطع برای یک زمان یکسان از روز تنظیم می شوند هنگامی که این کار برای تمام چراغ های شبکه انجام گردد ، رابطه اختلاف فاز بین چراغ های سبز تقاطعات متوالی قابل حصول است . روش دوم ، استفاده از یک "اتصال داخلی" می باشد . با اتصال داخلی سیستم ، کنترل کننده ی هر چراغ در هر تقاطع (کنترل کننده های محلی) به یک کنترل کننده مرجع ویا به یک کامپیوتر مرکزی متصل هستند . هر کدام از این کنترل کننده های محلی با یک تقاطع که به عنوان مرجع انتخاب شده است ، هماهنگ شده و نسبت به آن اختلاف فاز می گیرند . این روش نسبت به روش قبلی از کارایی بیشتری برخوردار است . [1]

صرف نظر از اینکه از چه مکانیزمی برای دستیابی به هماهنگ سازی استفاده شود ، در هر سیستم هماهنگ سازی از اصول پایه ای جهت هماهنگ نمودن کنترل کننده ها استفاده می شود . اولین قانون در این رابطه آن است که تمامی چراغ های راهنمایی باید با یک طول سیکل عمل

نمایند . طول چرخه بایستی براساس فاصله چراغها و سرعت گروه وسایل نقلیه تعیین گردد . با توجه به این اصل ، مهندس طراح می بایست در بین تقاطعات شبکه به دنبال تقاطعی باشد که به بیشترین طول سیکل برای هماهنگ ساختن شبکه نیاز داشته باشد و آن را به عنوان حداقل طول سیکل در نظر گیرد. سپس با توجه به ترکیب طول قطعه و سرعت گروه وسایل نقلیه ، یک طول سیکل مناسب برای شبکه هماهنگ شده در نظر گیرد . با مشخص شدن طول سیکل شبکه ، نوبت به طراحی ترتیب فازها و طول آنها برای هر یک از تقاطعات شبکه می رسد . پارامتر نهایی و مهمی که باید به دقت تعیین شود " اختلاف فاز " هر کدام از تقاطعات می باشد . اختلاف فاز معمولاً به صورت تفاوت زمانی بین شروع زمان سبز در حرکت هماهنگ سازی شده نسبت به تقاطع مرجع (تقاطعی که زمان بندی بقیه تقاطعات نسبت به آن انجام می گردد) تعریف می گردد . [2]

طبق تعریف ، انواع مختلف پیشروی برای شرایط مختلف شبکه بیان شده است . [2] . در این مقاله با بررسی دو نوع پیشروی ساده و معکوس ، که به ترتیب مختص شرایط زیر اشباع و فوق اشباع هستند، کارایی هر کدام بررسی و مقایسه می گردد .

پیشروی ساده به آن نوع پیشروی گفته می شود که در آن تمام چراغهای راهنمایی طوری تنظیم می شوند که وسایل نقلیه ای که از اولین تقاطع رها می شوند به تمام تقاطعات پایین دست، دقیقاً در لحظه ای که چراغ آنها تبدیل به سبز می شود ، برسند. از آنجا که پیشروی ساده منجر به موج سبزی می گردد که همراه با وسایل نقلیه پیش می رود (به سمت جلو حرکت می کند)، این پیشروی اغلب پیشروی رو به جلو نامیده می شود، و علت این نامگذاری اثری است که پیشرفت تصویر بصری علامت سبز به سمت پایین خیابان، بر بیننده می گذارد .

تحت شرایط خاصی صفهای داخلی وسایل نقلیه به حدی بزرگ هستند که اختلاف فاز ایده آل منفی می شود؛ در چنین شرایطی چراغ راهنمایی تقاطع پایین دست باید قبل از چراغ راهنمایی تقاطع بالادست سبز شود تا زمان کافی برای شروع حرکت وسایل نقلیه موجود در صف، قبل از رسیدن گروه وسایل نقلیه به آنها، اختصاص داده شود . بنابراین به چنین پیشروی تحت عنوان پیشروی معکوس اشاره می گردد.

در طی دهه های گذشته ، تحقیقات و مطالعات بسیاری در زمینه بهینه سازی تقاطعات و زمان بندی چراغ ها در شبکه هماهنگ شده ، انجام شده است ؛ بسیاری از این مدل ها را می توان به دو گروه تقسیم کرد : برنامه ریزی ریاضی و روش شبیه سازی . [3]

در برنامه ریزی ریاضی ، یک مجموعه برنامه ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی (MILP) برای زمان بندی پیشنهاد می گردد [4] ، که به ماکزیمم نمودن پهنای باند و یا مینیمم کردن تاخیر در تقاطعات کمک می کنند [5] . با وجود مفید بودن این مطالعات ، بسیاری از آنها نقش ترافیک

سنگین و غیر متعادل را در مختل کردن پیشروی در نظر نمی گیرند . گذشته از این بسیاری از مدل های ماکزیمم کردن پهنای باند ، به تاثیر پس زدگی صف در جریان ترافیک که باعث محدود شدن کارایی آنها در شرایط فوق اشباع می گردد ، توجهی ندارند . برای در نظرگیری برهمکنش جریان ترافیک ، برخی تحقیقات استفاده از روش شبیه سازی را پیشنهاد می دهند ؛ مدل های گوناگون از نرم افزار SYNCHRO , TRANSYT , TRANSYT_7F و مدل های گسترش یافته ی دیگر ، برای بهینه نمودن زمان بندی چراغ های راهنمایی به طور گسترده ای استفاده می گردند . [3]

برای مقابله با تاثیر شرایط فوق اشباع بر روی زمان بندی چراغ راهنمایی ، مدلی با نام " بنگ - بنگ " ارائه شد که بر پایه ی پیدا کردن نقطه ی بهینه تغییر فاز ، برای تقاطعات در شرایط فوق اشباع استوار بود [6] . سپس مدل فوق به یک نوع گسسته توسعه داده شد و برای پوشش دادن یک شبکه فوق اشباع ، با استفاده از یک مدل انتشار جریان ترافیک بین دو تقاطع نزدیک به هم ، گسترش پیدا کرد [7] . یک مجموعه از زمان بندی دینامیک برای بهینه سازی چراغ های راهنمایی که منجر به مدیریت تشکیل و پراکندگی صف در یک شبکه فوق اشباع می گردد از کارهای ارزشمند دیگری است که در این زمینه انجام شده است [8] . مدلی برای هماهنگ سازی چراغ های راهنمایی زمان گسسته با استفاده از الگوریتم ژنتیک فرمول بندی و حل شده است ؛ که در آن یک زمان بندی بهینه برای چراغ راهنمایی ارائه می شود ؛ این زمان بندی صفوف وسایل نقلیه را روی تعداد تقاطعات چراغ دار و روی تعداد سیکل ها توزیع می نماید [9] . با وجود این ، مطالعات بالا مدل صریح و روشنی از پس زدگی دینامیک صف و اثرات مسدود شدن خیابان ها و تقاطعات در شبکه ارائه نمی کنند ؛ در حالی که این اثرات برای طراحی معنادار چراغ ها و زمان بندی آنها در شرایط فوق اشباع نقش بحرانی و مهمی دارند .

به طور خلاصه می توان گفت در شرایط زیر اشباع ، تقاطعات متوالی برای فراهم کردن یک پهنای باند مناسب هماهنگ می شوند ، به طوری که اتومبیل رها شده از تقاطع بالادست ، بتواند بدون توقف از تقاطعات متوالی پایین دست عبور نماید . در این حالت ، هدف و معیار بهینه سازی ، مینیمم نمودن برخی عدم مطلوبیت ها مانند تعداد توقف خواهد بود . لیکن تحت شرایط فوق اشباع ، اهداف و معیار ها تغییر کرده و به عنوان مثال به ماکزیمم کردن عملکرد خروجی سیستم و یا مینیمم نمودن تاخیر شبکه پرداخته می شود . [10]

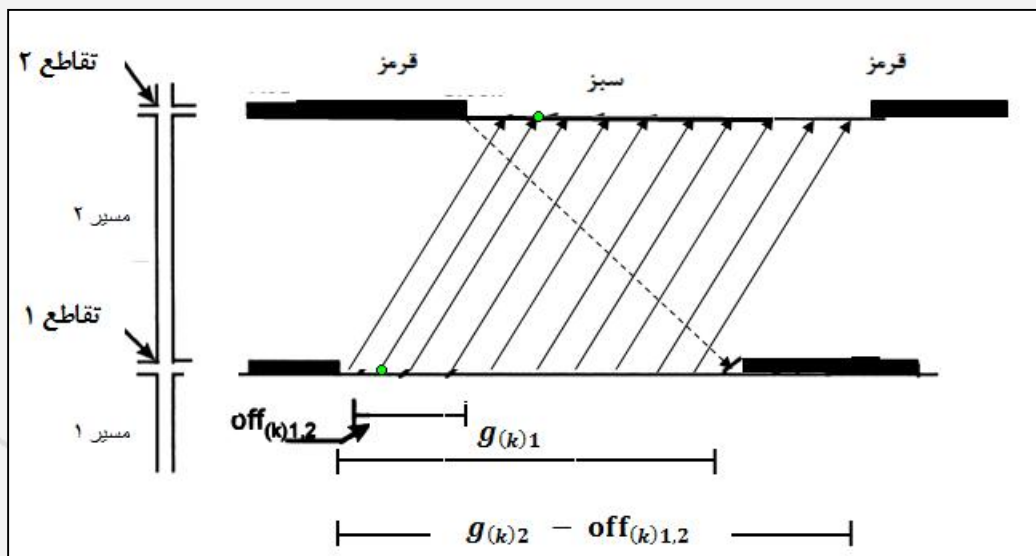
2- متدولوژی

2-1 شرایط زیر اشباع

در حالت شرایط زیر اشباع و پیشروی ساده، فرض بر این می‌باشد که صفی در مسیر پایین دست وجود ندارد. با در نظر گرفتن این فرض، اختلاف فاز برای پیشروی ساده، به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$off_{(k)1,2} = \frac{L_2}{V} \quad (1)$$

در این رابطه L_2 طول لینک متصل کننده تقاطع بالادست به پایین دست و V سرعت متوسط حرکت اتومبیل‌ها از این مسیر می‌باشد. همان گونه که از شکل 1 نیز قابل مشاهده است؛ در این حالت هماهنگ سازی، سعی می‌شود اولین وسایل نقلیه آزاد شده از تقاطع بالادست درست در لحظه سبز شدن چراغ پایین دست به آن برسد و بدون توقف عبور نماید. این پیشروی تا قرمز شدن چراغ بالادست ادامه خواهد داشت.



شکل 1: نمودار زمان فاصله برای شرایط زیر اشباع - پیشروی ساده

2-2 شرایط فوق اشباع

در شرایط فوق اشباع، به علت وجود صف در مسیر پایین دست، روابط تا حدی تغییر می‌کند. در این شرایط با دو معیار وابسته به هم روبرو هستیم، یکی استفاده موثر از زمان سبز و دیگری پیشگیری نمودن از قرمز ناخواسته که در زیر به آن پرداخته می‌شود.

- استفاده موثر از زمان سبز

برای استفاده موثر و بهینه از زمان سبز، دو شرط وابسته به هم زیر باید برقرار گردد: حداکثر استفاده از زمان سبز صورت گیرد و این زمان سبز استفاده شده، باید بیشترین نرخ جریان

ترافیک را عبور دهد. برای دستیابی به شرط اول، اختلاف فاز باید طوری تنظیم گردد که اولین اتومبیل رها شده از تقاطع 1، به انتهای صف مسیر 2، q_2 ، متصل گردد؛ در حالی که این صف با سرعت پیش بینی شده حرکت می نماید.

زمانی که طول می کشد تا صف q_2 حرکت خود را آغاز نماید، $t_{(k)2}$ ، با استفاده از مفاهیم موج ضربه ای قابل محاسبه است. برای سیکل k ، هنگامی که چراغ راهنمایی مسیر 2 سبز می گردد، یک موج شتاب گیرنده طی مدت زمان $t_{(k)2}$ ثانیه به انتهای صف q_2 می رسد. این مدت زمان از رابطه 2 قابل محاسبه می باشد:

$$t_{(k)2} = q_{(k)2} LV/v \quad (2)$$

که در آن $q_{(k)2}$ تعداد وسایل نقلیه موجود در صف مسیر 1، LV طول موثر وسایل نقلیه در حالت ساکن بر حسب ft/veh و v سرعت موج شتاب گیرنده (موج ضربه ای) در مقیاس ft/sec می باشد.

زمانی که طول می کشد تا ابتدای صف q_1 به انتهای صف q_2 بپیوندد، $t_{q(k)1,2}$ نام دارد، با این پیش فرض که صف با سرعتی معادل با سرعت طراحی شده پایه حرکت کند.

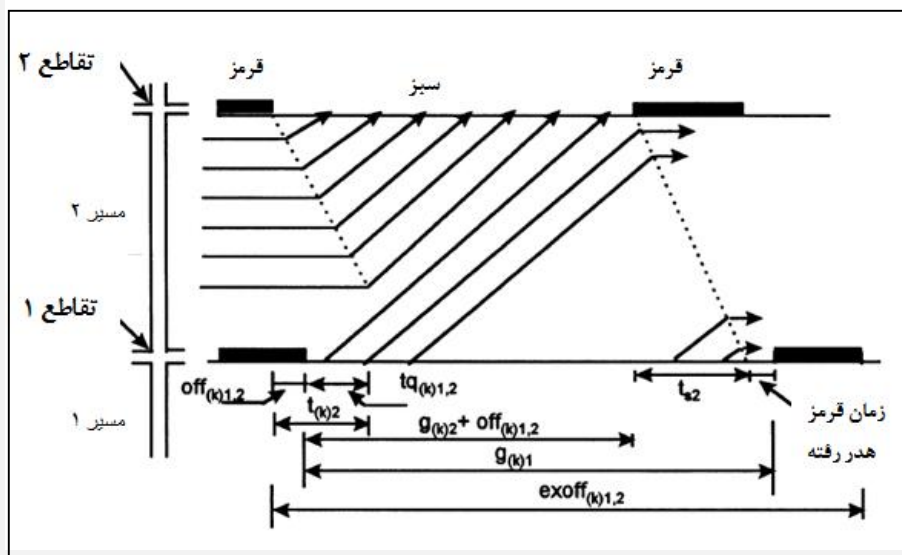
بدین ترتیب، برای استفاده موثر از زمان سبز، اختلاف فاز به صورت رابطه 3 تعریف می گردد:

$$off(k)_{1,2} = t_{q(k)1,2} - t_{(k)2} \quad (3)$$

در واقع در این حالت اختلاف فاز به صورت تفاوت زمانی بین متصل شدن دو صف 1 و 2 به یکدیگر و زمانی که صف پایین دست برای شروع حرکت لازم دارد، تعریف می گردد. به علت وجود صف در پایین دست، این اختلاف فاز منفی می باشد.

استفاده ماکزیمم از زمان سبز بدین معنی است که برقراری جریان ترافیک در شرایط اشباع و فوق اشباع، توسط ترکیبی از تاثیرات تنظیم اختلاف فاز، همان گونه که در بالا بیان شد، و تقسیم زمان سبز بر پایه تقاضای ترافیک؛ امکان پذیر است. تقاضای ترافیک در هر مسیری به صورت دینامیک در هر سیکل تعیین می گردد.

با توجه به شکل شماره 2، به دلیل شرایط فوق اشباع و پس زدگی صف، تقاطع 1 نسبت به تقاطع 2 دارای اختلاف فازی منفی می باشد. ابتدا صف موجود در مسیر 2، در حالی که چراغ تقاطع بالادست قرمز است، از تقاطع 2 تخلیه می شود. سپس با سبز شدن چراغ تقاطع 1، وسایل نقلیه منتظر در مسیر 1 می توانند وارد مسیر 2 گردند. بدیهی است که چنانچه برای شرایط فوق اشباع، همانند شرایط اشباع عمل شود و اختلاف فاز مثبت در نظر گرفته شود، دچار پس زدگی صف موجود در مسیر 1 خواهیم بود و چراغ سبز تقاطع 2 قابل به تخلیه آن نخواهد بود.



شکل 2: نمودار زمان - فاصله برای شرایط فوق اشباع - پیشروی معکوس

- پیشگیری از قرمز عملی⁴

قرمز ناخواسته در شرایطی رخ می دهد که چراغ راهنمایی سبز است اما جریان ترافیک به دلیل پس زدگی صف قادر به پیشروی نمی باشد. برای مقابله با این شرایط، زمان سبز برای مسیر بالادست بایستی با توجه به طول زمان سبز در تقاطع پایین دست، اختلاف فاز بین دو تقاطع، و زمانی که طول می کشد تا موج ضربه ای ساکن در تمام طول L_2 (در هنگامی که چراغ پایین دست قرمز است) گسترش یابد؛ تعیین گردد.

در مثالی که از یک نمودار زمان - فاصله در شکل 2 نشان داده شده است، به سادگی می توان دریافت که با برقراری شرایط زیر می توان از قرمز ناخواسته اجتناب نمود:

$$[g(k)2 + off(k)1,2 + t_{(s)2}] \geq g(k)1$$

که در آن $t_{(s)2} = L_2 / \mu$ و $g(k)1$ زمان سبز تقاطع i در سیکل k می باشد. μ سرعت موج ضربه ای می باشد.

2-3 بررسی میزان تاخیر برای دو حالت اشباع و غیر اشباع

تاخیر وسایل نقلیه بی شک یکی از پارامترهای مهم ارزیابی عملکرد تقاطعات چراغدار می باشد، که توسط کارشناسان حرفه ای حمل و نقل مورد استفاده قرار می گیرد. اهمیت این پارامتر در استفاده آن هم در طراحی و هم در ارزیابی عملکرد تقاطعات می باشد. برای مثال، مینیمم نمودن تاخیر غالباً در معیارهای بهینه سازی برای تقاطعات ساده و هماهنگ شده استفاده می گردد. با این حال، تاخیر پارامتری است که به راحتی قابل تعریف نمی باشد. تنوع مدل

⁴ - de facto red

هایی که برای تخمین تاخیر وجود دارند نیز ، نشانگر همین موضوع می باشد . تعدادی از این مدل ها ، به عنوان نمونه ، مدل صف قطعی⁵ ، موج ضربه ای⁶ و حالت دائمی تصادفی⁷ می باشند [11] .

مدل صف قطعی ، توانایی پیش بینی تاخیر در تقاطعات چراغ داری را دارد که در آنها تعداد وسایل نقلیه ای که می توانند هنگام زمان سبز از تقاطع عبور کنند ، از تعداد وسایلی که در هر سیکل به آن تقاطع می رسد بیشتر باشد . در واقع این مدل برای تقاطعاتی که سطح سرویس بالایی دارند به کار می رود . در این مدل فرض بر این است که ورود اتومبیل ها به تقاطعات با یک نرخ ثابت و پیوسته انجام می پذیرد . نتیجه این فرضیه این است که صف تولید شده در تقاطع ، در شرایط زیر اشباع ، قبل از فرارسیدن زمان قرمز تخلیه می شود .

در مدل تاخیر موج ضربه ای ، جریان ترافیک با توجه به خصوصیتی نظیر جریان ، چگالی و سرعت همانند دینامیک سیالات توصیف می گردد . همانند مدل قبلی ، فرض بر این است که اتومبیل ها از یک مسیر غیر تصادفی و پیوسته پیروی می کنند . طبق تحلیل دینامیک جریان ترافیک ، وجود موج ضربه ای که در پایین دست به دلیل عملکرد تناوبی چراغ ها به وجود می آید ، اثبات شده است . [6]

در این مدل که در شرایط نزدیک به اشباع و فوق اشباع کارایی دارد ، ابتدا زمان سفر تمامی وسایل نقلیه که به تقاطع وارد می شوند ، با استفاده از چگالی و نرخ جریان نواحی مختلف ، تخمین زده می شود . به دلیل وجود چراغ راهنمایی ، وسایل نقلیه زمان سفری اضافه بر مقدار قبلی تجربه می کنند که تاخیر نامیده می شود . تاخیر کلی ترافیک در طی یک سیکل از زمان چراغ راهنمایی ، با محاسبه اختلاف زمان سفر با چراغ راهنمایی و زمان سفر بدون چراغ راهنمایی قابل دستیابی می باشد .

هنگامی که مدل های صف قطعی و موج ضربه ای بر این فرض استوارند که ورود وسایل نقلیه به صورت یکنواخت است ، مدل جریان دائمی تصادفی از ورود اتفاقی اتومبیل ها استفاده می کند . این مدل از سه قسمت عبارت شده است . اولین عبارت تخمین میزان متوسط تاخیر با فرض ورود یکنواخت (همانند مدل صف قطعی) می باشد . دومین عبارت شامل تاخیرهای اضافی ناشی از ورود تصادفی وسایل نقلیه است . عبارت سوم ضرایب تصحیح تجربی می باشد که تاخیر تخمین زده شده را به میزان 5% - 15% در نتایج شبیه سازی کاهش می دهد . این مدل به دلیل بهره گیری از جریان دائمی برای شرایط زیر اشباع استفاده می شود و در نتیجه بایستی سیستم به حد کافی زمان برای عملکرد داشته باشد تا شرایط به صورت دائمی در بیاید .

⁵ - deterministic queuing

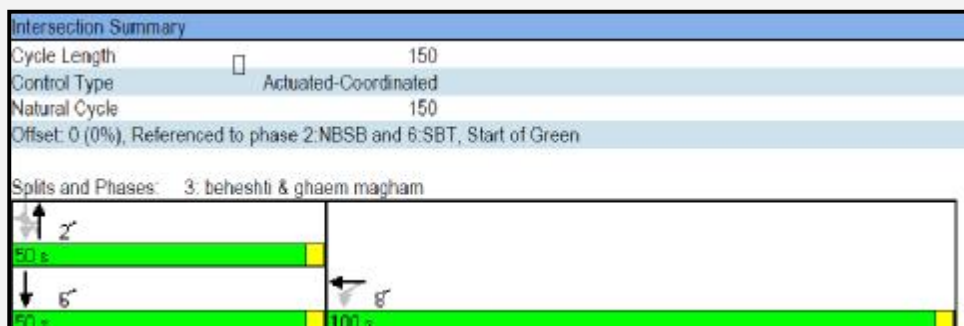
⁶ - shock wave

⁷ - steady-state stochastic

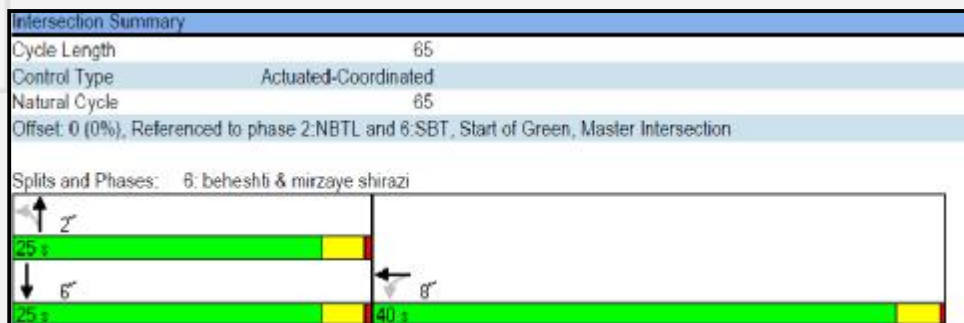
در نرم افزار Aimsun که برای شبیه سازی جریان ترافیک در این مقاله استفاده می شود ، تاخیر به صورت تفاوت زمان سفر مورد انتظار (زمانی سفری که وسیله نقلیه در شرایط ایده آل تجربه می کند) و زمان سفر اندازه گیری شده در شرایط شبیه سازی ، می باشد . این زمان سفر به صورت میانگین تمام وسایل نقلیه محاسبه می شود ، سپس به واحد زمان بر کیلومتر تبدیل می گردد .

3- مطالعه موردی

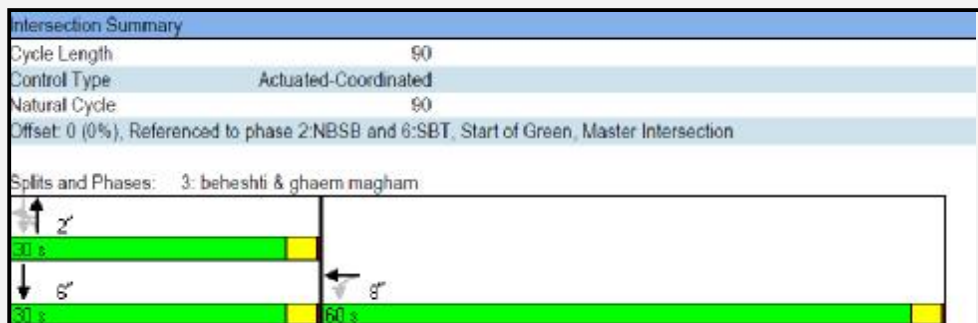
برای تحقیق بر روی دو روش هماهنگ سازی ساده و معکوس ، خیابان شریانی شهید بهشتی ، با دو تقاطع قائم مقام و میرزای شیرازی شبیه سازی می شود . ترافیک این خیابان در ساعات اوج صبح به حالت فوق اشباع در می آید . به همین دلیل از پیشروی معکوس برای هماهنگ سازی تقاطعات آن استفاده می گردد . در ساعات غیر اوج ، این خیابان به صورت زیر اشباع عمل می کند و هماهنگ سازی آن ساده (اختلاف فاز مثبت) انجام می شود . شبکه مورد نظر ابتدا در نرم افزار Synchro مدل گردید و طول سیکل و فاز بندی تقاطعات آن بهینه شد . نتایج این شبیه سازی در شکل های 3 تا 6 آمده است .



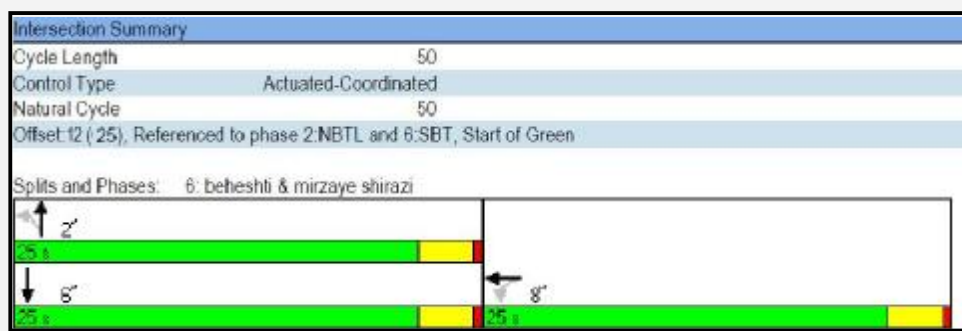
شکل 3: خروجی نرم افزار Synchro برای تقاطع قائم مقام - شهید بهشتی (حالت فوق اشباع)



شکل 4: خروجی نرم افزار Synchro برای تقاطع میرزای شیرازی - شهید بهشتی (حالت فوق اشباع)



شکل 5: خروجی نرم افزار Synchro برای تقاطع قائم مقام - شهید بهشتی (حالت زیر اشباع)



شکل 6: خروجی نرم افزار Synchro برای تقاطع میرزای شیرازی - شهید بهشتی (حالت زیر اشباع)
 تاخیر شریانی بدست آمده در دو حالت فوق اشباع و زیر اشباع توسط نرم افزار Synchro در جدول زیر آمده است .

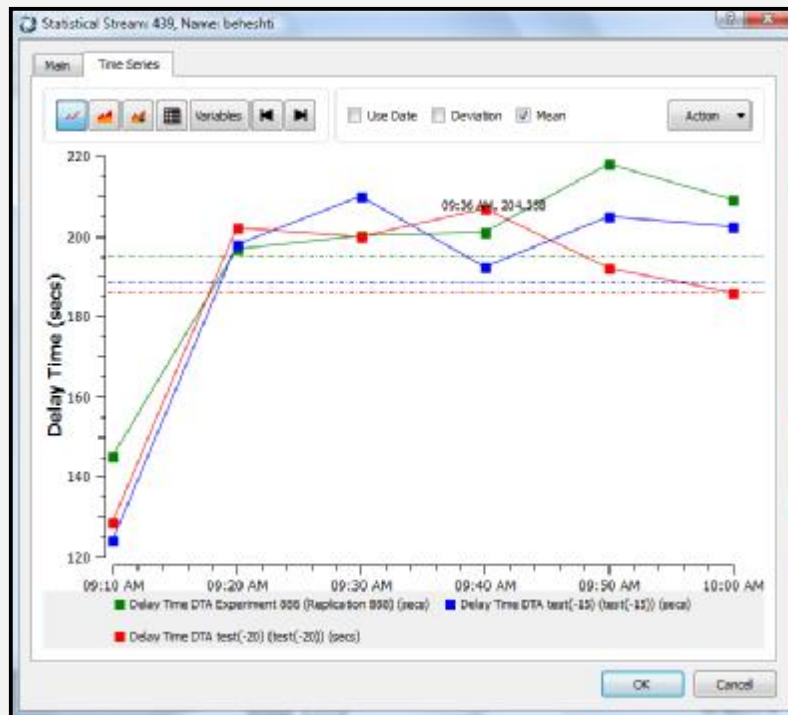
جدول 1: تاخیر شریانی شهید بهشتی در حالت فوق اشباع و زیر اشباع (نرم افزار Synchro)

تاخیر (ثانیه)		
	متوسط	کل
فوق اشباع	417	421
زیر اشباع	225	228

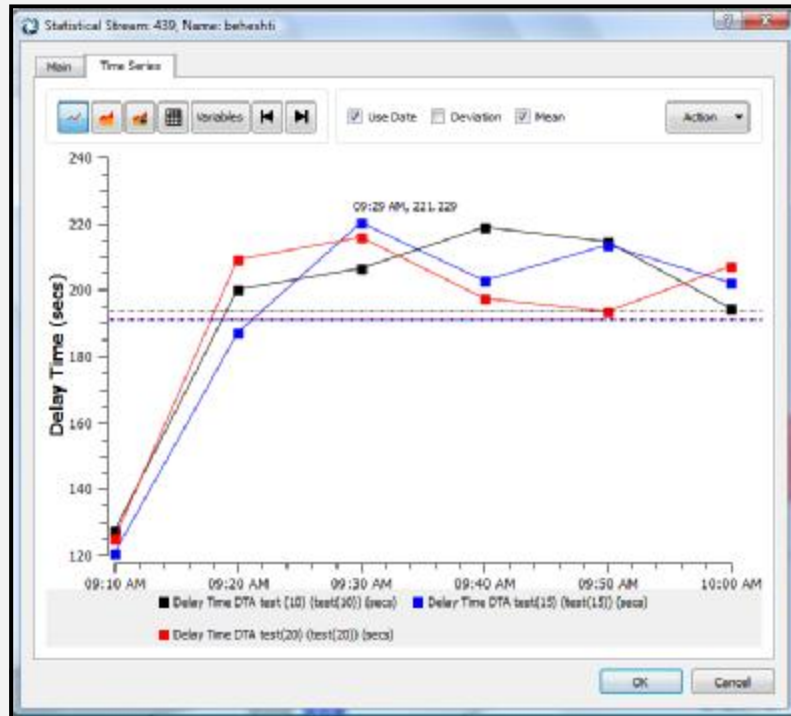
طول سیکل و فاز بندی به دست آمده از Synchro در مرحله بعدی در نرم افزار Aimsun استفاده می گردد . در این مرحله با طرح کردن سناریوهای مختلف برای دو شرایط اشباع و فوق اشباع ، اختلاف فاز های مختلف امتحان می گردد و با توجه به معیار تاخیر ، بهترین اختلاف فاز برای دو شرایط تعیین می شود . در جدول زیر نتایج این شبیه سازی آمده است .

جدول 2: تعیین اختلاف فاز با استفاده از معیار تاخیر در حالت فوق اشباع و زیر اشباع (نرم افزار Aimsun)

اختلاف فاز (فوق اشباع)	تاخیر (ثانیه)		اختلاف فاز (زیر اشباع)	تاخیر (ثانیه)	
	متوسط	کل		متوسط	کل
-10	189	190	10	193	197
-15	185	186	15	185	188
-20	184	185	20	189	192



شکل 7: خروجی نرم افزار Aimsun برای 3 سناریوی مختلف اختلاف فاز (حالت فوق اشباع)



شکل 8. خروجی نرم افزار Aimsun برای 3 سناریوی مختلف اختلاف فاز (حالت زیر اشباع)

همان طور که از نتایج نیز قابل درک است ،با در نظر گیری معیار کمترین تاخیر ، اختلاف فاز 20- به عنوان بهترین اختلاف فاز برای شرایط فوق اشباع ، انتخاب می گردد . در شرایط زیر اشباع ، نرم افزار Synchro اختلاف فاز 12 ثانیه را به عنوان اختلاف فاز بهینه ارائه می دهد که با شبیه سازی شبکه در Aimsun نیز اختلاف فازی در حدود 15 ثانیه به عنوان بهترین اختلاف فاز با معیار کمترین تاخیر به دست می آید .

4- نتیجه گیری

شرایط فوق اشباع ، در هر شبکه ای جزء شرایط بحرانی و خاص تلقی می گردد . از این رو مطالعه و تحقیق بر روی انواع روش های هماهنگ سازی و فاز بندی چراغ های راهنمایی این شبکه ها می تواند گام مهمی در جهت رفع مشکل ازدحام و پس زدگی صف در این شبکه ها باشد . نتایج حاصل شده حاکی از آن است که در شرایط فوق اشباع ، به دلیل پس زدگی صف و عدم توانایی چراغ پایین دست در تخلیه مناسب رویکرد ، استفاده از روش پیشروی معکوس و در شرایط زیر اشباع استفاده از پیشروی مستقیم بهترین گزینه جهت هماهنگ سازی شبکه می باشند .

نکته مهم دیگری که از شبیه سازی با نرم افزار Synchro به دست می آید ، آن است که این نرم افزار توانایی در نظر گرفتن برهم کنش وسایل نقلیه بر یکدیگر را در شرایط فوق اشباع ندارد و از این

رو ، تاخیر بسیار بزرگتری نسبت به نرم افزار Aimsun می دهد . و لذا برآورد اختلاف فاز بهینه جهت مدل سازی شبکه های فوق اشباع در نرم افزار Synchro رویکرد مناسبی نمی باشد .

5- مراجع

- 1- Srinivasa R. Sunkari ,Roelof J.Engelbrecht,2004, Evaluation of advance coordination features in traffic signal controllers , Texas transportation institute, report 0-4657-1,Project Number 0-4657
- 2- Traffic engineering, 2004, Roger P. Roess, Elena S.Prassas, William R.Mcshane, Pearson education international, third edition.
- 3- Yue Liu, Gang-Len Chang, 2010, An arterial signal optimization model for intersections experiencing queue spillback and lane blockage, Transportation Research Part C.
- 4- Chaudharyand ,N.A.,Messer,C.J., 1993.PASSER-5: a program for optimizing signal timing in grid networks.72nd Annual Meeting of the Transportation Research Board,Washington,DC.
- 5- Journal of Mathematical Modeling and Algorithms 2, 2003, Wong S.C, A lane-based optimization method for minimizing delay at isolated signal-controlled junctions, 379–406.
- 6- Michalopoulos, Stephanopolos, 1978, Optimal control of oversaturated intersections: theoretical and considerations. Traffic engineering and control, 216-221.
- 7- Chang, T., Lin, J., 2000, Optimal signal timing for an oversaturated intersection. Transportation Research Part B 34,471-491.
- 8- Abu – lebdeh, G., Benekohal, R.F, 2003, Design and evaluation of dynamic traffic management strategies for congested condition, Transportation Research Part A 37,109-127.
- 9- Girianna, M., Benekohal, R.F., 2004.Using genetic algorithms to design signal coordination for oversaturated networks. Journal of Intelligent Transportation Systems 8 (2), 117-129.
- 10- Inosi, H., T. Hamada, 1975, Road Traffic Control. University of Tokyo press.
- 11- Francois Dion, Hashem Rakha, Youn-soo Kang, 2002, Comparison of delay estimates at under – saturated and over – saturated pre-timed signalized intersections. Transportation Research Part B 38, 99-122.