Archive of SID

بررسی اثرات هماهنگ‌سازی زمانبندی تقاطع‌های چراغدار به روش عرض باند عبوری (مطالعه موردی: شهر قزوین)

امیرمسعود رحیمی (مسئول مکاتبات)، دانشیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

سعید طاهری، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

E-mail: amrahimi@znu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۱۸ پذیرش:۱۳۹۶/۰۹/۲۵

چکیده

در شبکه‌های حمل و نقل شهری، تقاطع‌ها به عنوان گره بیشترین تاخیر را به کاربران شبکه وارد می‌کنند. وقتی که تقاطعات یک راه شریانی نزدیک یکدیگر واقع شده باشند، عملکرد آن‌ها به شدت تحت تاثیر یکدیگر خواهدبود، بنابراین رابطه بین طرح‌های زمان‌بندی تقاطعات مجاور هم بروی ظرفیت کلی مسیر تاثیر می‌گذارد. دراین پژوهش اثرات اجرای کنترل هماهنگ تقاطع‌های متوالی باروش عرض باندعبوری مورد بررسی قرارگرفت. به این منظور دو شبکه از تقاطع‌های تحت کنترل هوشمند مرکزی شهرقزوین برای مطالعه‌ی اصلی و اعتبارسنجی انتخاب گردیدند. داده‌های به دست آمده از برداشت میدانی، در نرم‌افزار شبیه‌ساز سینکرو وارد و تقاطع‌ها به منظور به دست آوردن نتایج شبیه‌سازی و سناریوهای مختلف تعریف گردید. براساس نتایج،درشرایط فوق‌اشباع ساعت‌اوج، بهینه‌سازی ازطریق کنترل‌هماهنگ تقاطع‌ها شاخص‌های کارآیی را از جمله تاخیرکل۱۰ درصد، توقف‌کل ۶ درصد، سرعت‌متوسط ۱۲ درصد، زمان‌سفر ۸ درصد، سوخت مصرفی ۷ درصد و طول‌صف را ۲۵ درصد بهبود می‌بخشد، علاوه براین درچارچوب پژوهش به اثرات اجرای فازگردشی تاخیری وهمچنین شرایط غیر اشباع بر کیفیت هماهنگ‌سازی پرداخته شده‌است. در پایان با انجام اعتبارسنجی، صحت نتایج بدست آمده مورد تایید قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: تقاطع، سینکرو، عرض‌عبوری، هماهنگ‌سازی

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

طی دهه‌های گذشته تلاش‌های بسیاری برای بهینه سازی زمان بندی تقاطع‌ها صورت گرفته است که همچنان نیز ادامه دارند. حداقل شش اقدام اصلی برای کنترل ترافیک تقاطع‌ها وجود دارد که عبارتند از: تابلوهای توقف، تابلوهای حق تقدم (احتیاط)، جداسازی مسیر رفت و برگشت، میادین و دوایر گردشی، تقاطع بدون کنترل و نهایتاً تقاطع‌های دارای چراغ کنترل ترافیک. یکی از مهم ترین روش‌ها برای گشودن گره کور ترافیک در شهرها بهینه سازی شرایط ترافیکی در تقاطع‌ها و استفاده از روش‌های نوین در کنترل ترافیک است. نصب چراغ‌های راهنمایی با هدف اولویت بندی و اعطای حقوق برابر به کلیه وسایل نقلیه و عابرین پیاده در تقاطع‌ها صورت می‌گیرد. بنابراین عملکرد مناسب چراغ‌های راهنمایی تاثیر بسزایی در افزایش کارآیی تقاطع دارند. زمان بندی و فاز بندی مناسب منجر به کاهش تاخیر وارد بری کاربران شهری و نیز کاهش فشار روانی رانندگان و اثرات مخرب ایمنی آن و صرفه جویی در مصرف سوخت و انرژی خواهد شد [Bonneson et al. 2011].

یکی از ابزارهای ارزشمند مهندسان برای نیل به هدف حفظ و کنترل این تقاطع‌ها در حالت بهینه مدل‌های شبیه سازی رایانه ای است. برخی از مزایای این مدل‌ها نسبت به اقدامات و کارهای اجرایی شامل: هزینه ای بسیار پائین تر، مشخص شدن سریع نتایج، اندازه گیری سریع معیارهای کارآیی، جلوگیری از مسدود شدن مسیر به منظور آمادگی برای اجرای طرح و خود اجرای طرح است. گاهی اوقات برخی از تغییرات طرح هندسی در حالت عادی امکان پذیر نیست، برای پیش بینی شرایط و تقاضای آینده حتما نیاز به شبیه سازی است و نهایتاً در حین شبیه سازی می‌توان بسیاری از پارامترها را ثابت نگه داشت [Bonneson, Pratt and Zimmerman, 2009].

۲. اهمیت مسأله

هنگامی که محدوده مورد مطالعه شامل شبکه شریانی با حجم ترافیک بالا نسبت به معابر فرعی باشد و در سطح این شریانی‌ها، چندین تقاطع نزدیک به هم (کمتر از ۲۶۰۰ فوت بر مبنای توصیه آئین‌نامه ظرفیت راه‌های آمریکا)وجود داشته باشد، هماهنگ‌سازی تقاطع‌های چراغدار بهترین گزینه جهت کنترل تقاطع‌ها است. با بالا بودن حجم ترافیک وتعداد تقاطع‌های چراغدار در یک شریانی، بهترین گزینه از دیدگاه مهندسان ترافیک بهبود عملکرد چراغهای راهنمایی از طریق دادن مجوز به گروهی از وسایل نقلیه به طوریکه که بدون توقف ازتعدادی چراغ راهنمایی یک شبکه عبورنمایند که این روش، موج سبز یا پیشروی نامیده می‌شود. هدف اصلی ازهماهنگ سازی تقاطع‌ها امکان ایجاد یک پیشروی آرام و پیوسته برای دسته‌ای از خودروها از تقاطع‌های واقع در امتداد یک راه شریانی و در نتیجه کاهش زمان سفر، توقف‌ها و تاخیر است. به همین دلیل هماهنگ‌سازی تقاطع‌ها در معابر شهری، از اهمیت بسیاری در جهت کاهش ترافیک برخوردار است که در این تحقیق تلاش می‌گردد تا با یک مطالعه موردی، اهمیت آن بیش از پیش آشکار گردد.

۳. پیشینه تحقیق

با افزایش بی‌رویه تقاضا در نقطه‌ای از شبکه‌های حمل و نقل، طرح‌های ترافیکی اجرا شده جوابگوی تقاضای حمل و نقل شهروندان نیست. به طور کل نشان داده شده است که حمل و نقل اثرات زیانباری بر محیط زیست نیز دارد که از میان آنها می‌توان به اسیدی سازی، اثرات سمی بر روی اکوسیستم و بشر و سروصدا اشاره کرد [علینقیان و نادری پور، ۱۳۹۵]

طرح‌های پرهزینه‌ای مانند افزودن به میزان عرضه شبکه حمل و نقل همچون احداث بزرگراه‌های موازی، تعریض معابر موجود، ایجاد تقاطع‌های غیر همسطح از جمله راهکارهای کاهش معضلات ترافیک امروزی است. معمولاً این نوع راهکارها به دلیل به صرفه نبودن از نظر زمان احداث و همچنین صرف بودجه‌های کلان برای ساخت آن، ترجیحاً نباید به عنوان راهکار اولیه انتخاب شوند. در چنین شرایطی؛ راهکارهای مدیریتی در زمینه عرضه و تقاضا، عموماً با استفاده از راه‌حل‌های موقت برای مشکلات موجود مطرح هستن د [رحیمی، باقری، دزفولیان شهنی و مظاهری، ۱۳۹۵]

در اوایل دهه‌های ۶۰و ۷۰ میلادی پایه های مطالعه بر روی هماهنگ سازی تقاطع‌ها بنا شد. در ابتدا با نوشتن الگوریتم‌ها و روش‌های دستی و در ادامه رسیدن به نرم‌افزارهای رایانه‌ای و توسعه این موارد انجام شد. هماهنگ‌سازی، مزایا و معایب مختص خود را داراست و بسته به شرایط موجود ممکن است مفید یا مخرب باشد. اولین مزیت ایجاد طرح هماهنگ‌سازی کاهش میزان تاخیر و توقف‌ها مخصوصا برای راه شریانی است

www.SID.ir

Archive of SID

کـه نتیجـه عبور بی وقفه دســته خودروها از تقاطعات متوالی است. از دیگر مزایای هماهنگ‌سازی می‌توان به کاهش مصرف ســوخت و انتشــار گازهای گلخانه ای، حفظ ســرعت ســفر مناسـب، حرکت دسته خودروها از میان تقاطعات متوالی اشاره نمود. عواملی کـه مزایـای هماهنگ‌ســازی را محدود می‌کنند عبـارتنـداز: عدم ظرفیت کافی راه، وجود پارکینگ کنار خیابان ،دســترســی ها، بارگیری‌ها ،پارک‌های دو بله، تقاطعات دارای طرح هندســی پیچیده، تنوع زیاد در ســرعت ترافیک ،فضــای حرکتی محـدود تقاطع، حجم گردش زیاد و حتی حجم عابران پیاده که آن‌ها به زمان بیشتری برای عبور نیاز دارند.

نیانتاکی و همکاران با انجام یک مطالعه میدانی درمنطقه کوماسی کشـور غنا به بررسی اثرات هماهنگ‌سازی تقاطع‌های چراغ‌دار بر روی معیـارهـای ارزیابی کیفیت به کمک نرم‌افزار ســینکرو پرداخته‌اند. با انجام برداشـت‌های میدانی گسترده برای داده‌های ضـروری از جمله طرح هندســی و کنترل چراغ و انجام شـبیه سازی، به این نتیجه رسیدند که اجرای این طرح هماهنگ شده اکثر معیارهای کیفیت مثل تاخیر و توقف را بهبود می‌بخشــد، همچنین نشــان دادند که ترکیب این طرح هماهنگ بااصــلاح توالی فازها وطرح هندسی نیز بهبود قابل توجهی خواهد داشت [Nyantakyi et al. 2013].

کونس و همکـاران در گزارشـــی در مورد همـاهنـگ‌ســازی چراغ‌های ترافیک به موارد زیر اشاره کرده است: هماهنگ‌سازی چراغ‌هـا اثرات مهمی بر رفتـار رانـنـدگـان می‌گـذارد، با کاهش تاخیر و توقف‌ها واثرات روانی منفی آن باعث کاهش تصادفات می‌شـود. ازمزایای هماهنگ‌سازی رسیدن به هدف سرعت‌های ســفر بهینه، کاهش تاخیرها و حداقل کردن توقف‌ها اســت. مطالعات ملی نشــان می‌دهد که زمان ســفر حدود ۱۰ تا ۲۰ درصـد کاهش می‌یابد. محدود کردن و یا به تاخیر انداختن نیاز به اصــلاحات هندســی راه و ایجاد شــرایط برای واکنش‌های اورژانســی به حوادث در منطقه‌ی شــریانی کاهش آلودگی و مصـرف سـوخت از دیگر مزایای هماهنگ‌سـازی اسـت. این گزارش درمورد شــرایط ســخت هماهنگ‌ســازی به موارد زیر اشاره نموده است : سرعت متغیر خودروها، حجم بالای عابران پیاده، طول چرخه چراغ، ملاحظات ایمنی، رفتار متغیر رانندگان و فرهنگ ترافیکی منطقه [Koonce et al. 2008] .

افندی‌زاده و همکاران در پژوهشی باعنوان هماهنگ‌سازی بهینه کنترل چراغ‌ها در معابر شهری فوق اشباع و زیر اشباع را انجام داده اند. آنها در کار خودیک برداشـت میدانی و شـبیه سازی با نرم افزار ایمسـان و سـینکرو انجام داده‌اند. نتایج حاصـل شـده نشـانگر آن اسـت که در شـرایط فوق اشباع، به دلیل پس‌زدگی صــف وعـدم توانـایی چراغ پایین‌دســت درتخلیه مناســب رویکرد،استفاده ازروش پیشروی معکوس و در شرایط زیراشباع استفاده از پیشروی مستقیم بهترین گزینه جهت هماهنگ سازی شبکه هستند. پیشروی ساده به آن نوع پیشروی گفته می‌شود که درآن تمام چراغهای راهنمایی طوری تنظیم می‌شوند که وسایل نقلیه‌ای که ازاولین تقاطع رها می‌شوند به تمام تقاطع‌های پایین دســت، دقیقاً درلحظه‌ای که چراغ آنها تبدیل به ســبز می‌شــود، برسند. پیشروی ساده منجر به موج سبزی می‌گردد که علت این نامگذاری اثری است که پیشرفت تصویر بصری علامت سبز به سـمت پایین خیابان، بر بیننده می‌گذارد. تحت شـرایط خاصـی صــف های داخلی وســایل نقلیه به حدی بزرگ هســتند که اختلاف فاز ایده‌آل منفی می شــود؛ درچنین شــرایطی چراغ راهنمایی تقاطع پایین دســت، باید قبل ازچراغ راهنمایی تقاطع بالادست سبزشود تازمان کافی برای شروع حرکت وسایل نقلیه موجود درصــف، قبل از رســیدن گروه وســایل نقلیه به آنها، اختصــاص داده شــود. بنابراین به چنین پیشــروی تحت عنوان پیشروی معکوس اشاره می‌گردد. درحالت پیشروی ساده مقدار آفسـت از تقسـیم فاصـله تقاطع‌ها بر سـرعت پیشروی بدست می‌آید. درحالت فوق اشــباع روابط پیچیده تری وجود داشــته وبرای جزییات بیشـتر به منبع ارجاع داده می‌شود [افندی زاده، حاج محمدی و دهقانی، ۱۳۹۰]

براسـاس مراجع اصلی علم مهندسی ترافیک [Mcshane , Roess and Prassas, 2010] ســه عـامـل اصــلـی هماهنگ‌سـازی شـامل: طول چرخه، قابلیت هماهنگ شـدن و اختلاف زمانی آفست است. در مورد طول چرخه باید به دنبال یک طول چرخه متعادل برای کلیه تقاطع‌های شبکه بود. قابلیت هماهنگ شـدن: یک سـوال اسـاسـی دربحث هماهنگ‌سـازی تقاطعات این است که کدام تقاطع‌ها با چه ویژگیهایی می‌توانند هماهنگ شــوند؟ پاسـخ این ســوال به ملاحظات مختلفی مثل حجم ترافیک،طول شاخه‌ها، سرعت، نقاط دسترسی و... بستگی دارد. بـه این منظور بـاترکیب کردن حجم ترافیک و طول قطعه راه شــاخص همراهی را ایجـاد نموده‌اند (رابطه ۱). تحقیقات نشان داده که برای قطعه‌هایی با شاخص ۰/۵ یا بیشتر، بویژه آن دسـته از تقاطع‌ها که مجاور هم هستند، باید در یک گروه دسته

www.SID.ir

Archive of SID

بندی و هماهنگ شـــوند. البته برای شـــاخص ۰/۳ تا ۰/۵ هم هماهنگی سازی می‌تواند مفید باشد.

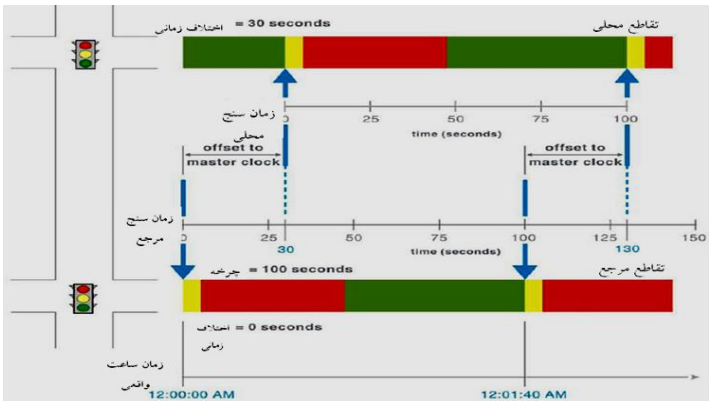
$$CI = V/L \qquad (۱)$$

که در آن CI شـــاخص زوجیت، Vحجم ترافیک دو طرفه بر حسـب خودرو بر ساعت وLطول قطعه بر حسب فوت است. اختلاف زمانی آفسـت – مطابق شکل ۱ این زمان تاثیر ویژه‌ای بر طرح زمان‌بندی هماهنگ سیستم تقاطع‌ها دارد. هرگونه ایجاد تغییری درآن برپارامترهای هماهنگ‌سازی اثر می‌گذارد و کیفیت پیشروی خودروها را تغییر می‌دهد. "بهترین روش برای بدست آوردن اختلاف زمانی آفســت بهره‌گرفتن از نرم‌افزارهای رایانه ای که به این منظور تولید شده‌اند است"، البته برای شرایط زیر اشـباع جریان محاسبه آفست با استفاده از روش کل۲ و با بهره گیری از دیاگرام فاصـله–زمان ارائه شـده اسـت. روش کل به دنبال تعیین یک ترکیب مناسب برای طول چرخه و زمان آفست بر اساس توالی فازها و طول قطعه‌ی راه‌ها است.

چن و همکـاران در پژوهش خود برروی همـاهنـگ ســـازی تقاطع‌های چراغ‌دار شـهرپکن کشورچین و با کمک شبیه‌سازی روش زمان، مکان، جریان را ابداع نمودند. نتایج آماری حاصل از برداشـت میدانی و شـبیه سازی نرم‌افزاری حاکی از بهبود معیـارهـای ترافیکی بـا بکـار بردن روش مورد نظر بـه جـای هماهنگ‌سازی متداول است.روشی که دارای سه مرحله اصلی آماده‌ســازی طرح اولیه مکان و یکپارچگی زمان–مکان که بهینه شـود اسـت. شـکل الگوریتم و جزئیات بیشـتر در منبع ارایه شده‌است[Chen, Zhang and Chen, 2012].

سـســمه و فورس با انجام پژوهشـی تحت نام چراغ‌های خود بهینه سـازی در ایالات متحده، به بررسـی انواع کنترل چراغ برروی هماهنگ‌سازی پرداخته اند. از نظر آن‌ها کنترل هوشمند در کنار مزایای چشـمگیر خود دارای ضـعف در توانایی ایجاد پیشـروی مناسب در سطح راه شریانی است. هر چند یکی از رایج ترین کارها در حالت هوشمند استفاده از یک طول چرخه طولانی اسـت، اما همان طول چرخه دارای نواقصـی چون عدم انعطـاف پـذیری در برابر الویـت بـه جریان و اسـتفاده بهینه ازظرفیت درشـرایط فوق است.در این پژوهش سعی شده که با اصـلاح قواعد کنترل هوشـمند نواقص فوق برطرف شـده و هماهنگ‌سـازی بهبود یابد. از جمله این اصلاحات اضافه کردن ثانویه زمان سـبز برای تنظیمات سـبز مناسـب با خودروها و جریان‌های ورودی تصـادفی است. مطالعه میدانی حدودا ۱٤٪ کاهش اخیر را برای اسـتفاده از روش تقاطع خود بهینه سـازی نشان می‌دهد [Cesme and Furth, 2014].

یانیجه و همکاران در سال ۲۰۱۷ [Yanije et al. 2017] یـک طرح هماهنگ‌ســازی چراغ براســاس میزان آلاینده‌های خودرو در شـــهر گوانگژو چین ارائـه کردند. با در نظر گرفتن محدودیت‌های روش جبری، روش منحنی ورود و خروج برای آن پیشـنهاد گردید و از نرم‌افزار ویسـسـیم جهت شـبیه‌سـازی اسـتفـاده کردند. همچنین از الگوریتم ژنتیک به منظور کاهش همزمان تأخیر و آلاینده خودروها استفاده کردند. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از این طرح، میزان آلایندگی ۲۸/۸ درصد برای وسـایل حمل و نقل عمومی و ۱۸/۷ درصـد برای تمامی خودروها کاهش می‌یابد.



شکل ۱. مفهوم شماتیک آفست

www.SID.ir

Archive of SID

مطالعات هماهنگ سازی چراغ‌ها در شهرهای هوشمند نیز مورد علاقه محققین در سال‌های اخیر واقع شده است. در یک تحقیق، لی و همکاران [Li et al. 2017] یک روش بهینه سازی و هماهنگ‌سازی ۲ مرحله‌ای پیشنهاد کردند که در مرحله اول، تنظیمات چراغ راهنمایی به منظور حداقل سازی زمان سفر میانگین راننده تشخیص داده می‌شود، در حالی‌که در مرحله دوم، تلاش می‌شد تا تعادل شبکه محاسبه شود. نتایج نشان داد که در هنگام شب‌ا که حجم ترافیک ثابت می‌ماند، بهتر است کمتر چراغ‌ها بهینه سازی شوند.

ژانگ و همکاران[Zhang et al. 2016] در سال ۲۰۱۶ یک مدل هماهنگ‌سازی برای خیابان‌های شریانی با طول بلند و شبکه‌های شطرنجی ارائه دادند. آنها در تحقیق خود دو مدل را پیشنهاد دادند که بر مشکل هماهنگ‌سازی چراغ‌ها غلبه کنند. طرح پیشنهادی آنها می‌توانست برنامه‌های جزئی و برنامه‌های کلی در خیابان‌های شریانی را هماهنگ کند و به طور مستقیم آفست تمامی چراغ‌ها را در شبکه بهینه کند. سپس آنها طرح پیشنهادی خود را با برنامه‌هایی که توسط نرم‌افزار سینکرو داده شده بود، مقایسه کردند.

راخا و همکاران با انجام پژوهشی با نام "هماهنگ‌سازی چراغ‌ها در سراسر شبکه" به بررسی اثرات هماهنگ‌سازی بروی معیارهای کارآیی پرداختند.آن‌ها سه دوره مطالعه میدانی برروی ۲۱ چراغ کنترل ترافیک درشهر آریزونا، ایالات متحده انجام دادند. یکی ازاقدامات مهم آن‌ها استفاده از سیستم موقعیت یابی جهانی و نیز خودروی شناور برای اندازه‌گیری سرعت است. نتایج پژوهش نشان می‌داد که سرعت پیشروی حدود ٦٪ بهبود یافته، تعداد توقف حدود ٤٪ و مصرف سوخت ١/٦ در صدکاهش یافته است. [Rakha et al. 2015].

ژیاوکینگ و همکاران در یک پژوهش با عنوان انتخاب مسیر برای هماهنگ‌سازی براساس وضعیت ترافیکی درکشور چین و شهر پکن به معرفی نوع جدیدی از هماهنگ‌سازی به صورت گردشی پرداختند. درواقع این بار برخلاف قبل مسیر هماهنگ‌شده، مستقیم نبوده و دربرخی تقاطع‌ها براساس تقاضا حرکات گردشی به عنوان هماهنگ شده انتخاب می‌شود. تمرکز این پژوهش برروی انتخاب بهینه ترین مسیر برای هماهنگ‌سازی بین هر مبدا ومقصدی است. از نرم افزارسینکرو استفاده شده است و نتایج نشان دادکه وقتی حجم چیگرد هایی بالا باشد، هماهنگ‌سازی گردشی مفیدتر خواهد بود و تاخیر کل بسیار کاهش خواهد یافت. از دیگر کاربردهای این روش در تقاطع‌های Tشکل است، که روابط کامل در منبع ارایه شده است [Xiaoqing, Dong and Huang, 2014].

۳-۱ عرض عبوری و تداخلات آن

یکی از رایج‌ترین روندهای هماهنگ‌سازی تقاطع‌های چراغ‌دار نزدیک به هم، روش عرض‌عبوری است، که درپژوهش حاضر نیز از همان اصول پیروی شده است. یکی از کامل‌ترین منابع برای روش عرض عبوری کتاب "توسعه راهنمای اجرای چراغ کنترل ترافیک"[1] نوشته بانسن و همکاران است. روش عرض عبوری تقاطع‌های خیابان اصلی را به صورت مجموعه‌ای متوالی از بخش‌های جدا از هم توسط گره‌ها مدل سازی می‌کند، به عبارت دیگر هرگره می‌تواند نمایانگر وجود یک تقاطع چراغدار و یا یک تغییر آشکار در سرعت ترافیک و یا هر دو عامل باشد. داده‌های مورد نیاز برای توصیف خیابان اصلی شامل: محل گره‌ها در طول خیابان، نوع گره (تقاطع یا تغییر سرعت)، سرعت قطعه، طول چرخه سیستم، تقسیم بندی فازها برای فازهای هماهنگ شده، بازه زمانی تغییر فاز، توالی فازها برای فازهای چپ گرد هماهنگ شده و بازه زمانی آفست برای فاز هماهنگ شده است. یک نمای شماتیک از روش عرض‌عبوری که در نرم‌افزار سینکرو نیز تعبیه شده است، در شکل۲، شامل ٤ چراغ هماهنگ و با فاصله یکسان L نشان داده شده است. خط چین‌های رسم شده مربوط به زمان سبز و قرمز است. برای هر دو جهت حرکت ۳ چرخه چراغ نشان داده شده است. بازه زمانی سبز به میزان نصف طول چرخه است. همانطور که قبلا ذکر شد باند پیشروی را برای هر دو جهت حرکت ترافیک با دو خط شیبدار که از میان زمان سبز تقاطعات می‌گذرند ترسیم می‌شود. سیستم هماهنگ در شکل۲ یک فرض ایده ال را نشان می‌دهد، زیرا که در آن از تمام بازه‌ی سبز استفاده می‌شود.بازه‌ی آفست بین صفر تا c/2 خواهد بود و هر زمان که تقاطعات شماره فرد زمان سبز را نشان دهد برای تقاطعات شماره زوج زمان قرمز خواهد بود حالت کلی محاسبه طول چرخه برای روش پیشروی باند عبوری از رابطه (۲) است.[Bonneson, Pratt and Zimmerman, 2009]

$$\mathbf{C = 2 * \frac{L}{1.47V}} \qquad (۲)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که درآن، C طول چرخه برحسب ثانیه، L طول قطعه بر حسب فوت و V سرعت پیشروی (مایل بر ساعت) است.

البته برابری فاصله تقاطع‌ها، حالت ایده ال است، معمولا این فاصله‌ها برابر نیست و برعرض باند عبوری تاثیر می‌گذارد. تداخل لبه پایینی و لبه بالایی عرض باند عبوری و همچنین شرایط تقاطع بحرانی از جمله موارد قابل تامل است که به منبع ارجاع داده می‌شود. [Bonneson, Pratt and Zimmerman, 2009]

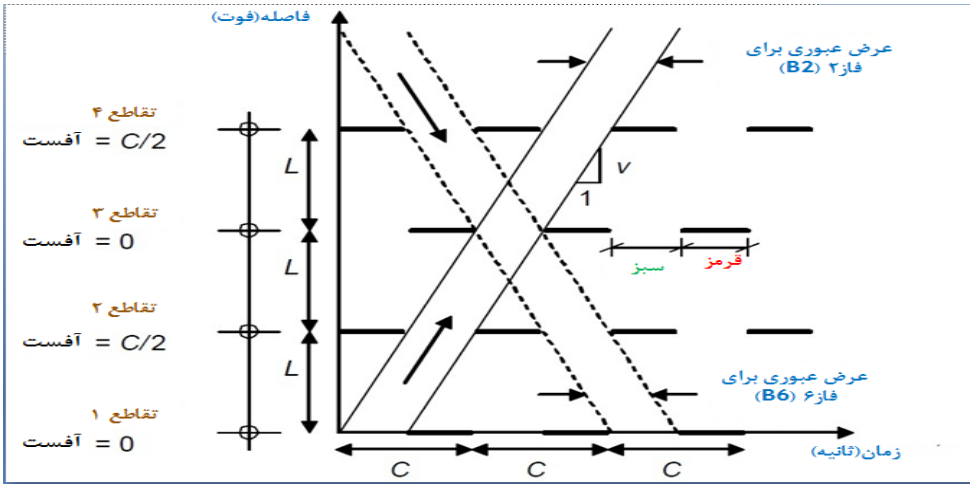
در مورد معیارهای اندازه‌گیری کارآیی، چندین روش متفاوت برای اندازه‌گیری کیفیت وکارآیی طرح زمان‌بندی هماهنگ‌شده بکار می‌رود، مثل عرض باند پیشروی کلی، کارآیی و دسترسی. عرض‌عبوری‌کلی برابر $B=B_2+B_6$ که B_2 عرض عبوری فاز ۲ و B_6 عرض عبوری فاز ٦ بر حسب ثانیه است. البته گاهی ممکن است از طریق افزایش طول چرخه‌ها عرض پیشروی نیز افزایش یابد، اما آن، باعث افزایش تاخیرکلی می‌شود، به همین دلیل بجای مقیاس عرض‌عبوری کلی ازمقیاس کارآیی رابطه (۳) و معیار دسترسی رابطه(٤) استفاده می‌شود، چون کارآیی هردو عامل عرض عبوری و طول چرخه را در نظر می‌گیرد :

$$E = 100\,{}^{B}/_{2C} \qquad (۳)$$

E : کارآیی سیستم هماهنگ چراغ‌های ترافیکی (درصد). در واقع کارآیی نشان می‌دهد که چه مقدار از طول چرخه برای باند پیشروی در دسترس است. معیار دسترسی به عنوان بخشی از بازه زمانی سبز که قابل دسترسی است برای استفاده باند پیشروی تعریف می‌شود:

$$A = 100\,{}^{B}/_{(G_2 + G_6)} \qquad (٤)$$

که A دسترسی سیستم هماهنگ چراغها بر حسب درصد، G_2 طول سبز بحرانی فاز ۲ و G_6 طول زمان سبز بحرانی فاز ٦ است. به عبارت دیگر میزان دسترسی توصیف می‌کند که آیا زمان‌های سبز فازهای هماهنگ شده به طور موثری برای پیشروی استفاده می‌شود یا خیر ؟ دسترسی کم، نشان دهنده وجود تداخل در یک یا چند تقاطع است و اصلاح زمان آفست و یا توالی فاز چپ گرد در این موارد ممکن است مفید باشد. حدود این معیارها در مرجع بیان شده است.[Bonneson, Pratt and Zimmerman, 2009]



شکل ۲. مفهوم عرض عبوری

www.SID.ir

Archive of SID

در خصوص عرض عبوری، چند نکته مهم قابل ذکر است. اولا این عرض برای هرجهت از حرکت متفاوت است.می‌بایست توجه داشت که اگر تقاطع یا تقاطع‌هایی از سیستم حذف یا اضافه شوند تغییرات گسترده‌ای ایجاد می‌شود. همچنین در شرایط فوق اشباع امکان بهبود وضعیت بسیار دشوارتر است. لازم به ذکر است طرحی که عرض باندعبوری بیشتری دراختیار می‌گذارد ممکن است مصرف سوخت کل شبکه را و تأخیر آن را افزایش دهد.

٤. روش تحقیق

پژوهش حاضر یک تحقیق توصیفی – تحلیلی است که در طی آن مدل‌سازی شرایط واقعی به کمک نرم افزارهای شبیه‌ساز ترافیکی و بر اساس داده‌های بدست آمده از برداشت‌های میدانی انجام شده است. مطالعه میدانی بر روی تعدادی از تقاطع‌های شهر قزوین انجام شده است. لزوم انجام مطالعه میدانی برای مشاهده و بررسی روش هماهنگ‌سازی و نتایج آن از اصول مهم این پژوهش بوده‌است. برای انجام چنین مطالعه موردی نیاز به همکاری مرکز کنترل ترافیک و شهرداری شهرمربوطه است. تحت‌کنترل هوشمند مرکزی تقاطع‌های چراغ‌دار توسط مرکز کنترل ترافیک به صورت لحظه‌ای، زمان بندی وفازبندی کنترل و تغییرات ضروری به راحتی اعمال می‌شود. با توجه به مطالعات و ضوابط تقاطع‌های قابل هماهنگ سازی، دو دسته از تقاطعات نزدیک به هم بر روی شریانهای شهر قزوین به عنوان مطالعه‌های پژوهشی انتخاب شدند که دسته اول مطالعه اصلی و دسته دوم مطالعه اعتبارسنجی نتایج مطالعه اول است. براساس نتایج طرح مطالعات جامع شهر قزوین درحال حاضر شهر قزوین دارای ۱۰۳ تقاطع مورد کنترل است که ۳۸ مورد آن به کمک چراغ کنترل ترافیک مدیریت می‌شوند. از این ۳۸ مورد، ۲۳مورد به صورت هوشمند مرکزی، ٦ مورد زمان بندی ثابت و ۹ مورد به صورت هوشمند محلی کنترل می‌شوند. تقاطع‌های مورد مطالعه از میان ۲۳ تقاطع تحت کنترل هوشمند مرکزی انتخاب شدند. این تقاطع‌ها تحت سیستم یک پارچه نرم‌افزار اسکتس[۲] مدیریت و کنترل می‌شوند. پس‌از تعیین تقاطع‌ها اقدام به برداشت داده‌های مورد نیاز مثل داده‌های طرح هندسی،داده‌های شمارشی حجم، الگوهای گردشی، زمان بندی‌های موجود و غیره شد. پس از جمع آوری تمامی اطلاعات مورد نیاز به تحلیل و دسته بندی آن‌ها پرداخته شده و در صورت نیاز عملیات برنامه نویسی و محاسبات ریاضی مربوطه انجام شده و داده‌ها آماده‌ی ورود به نرم‌افزار شدند. حال نوبت ساخت مدل‌های شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزار سینکرو و با استفاده از داده‌های برداشت شده است. سناریوهای مورد نظر اجرا ونتایج آن‌ها طبق خروجی‌های نرم افزار سینکرو[۳] سیم‌ترافیک[٤] بدست آورده شده وصحت نتایج بدست‌آمده ازطریق انجام مطالعه اعتبار سنجی مورد ارزیابی قرارگرفته‌است. ساختار پژوهش در شکل (٤) ارایه شده است.

٤-۱ معرفی نرم‌افزار

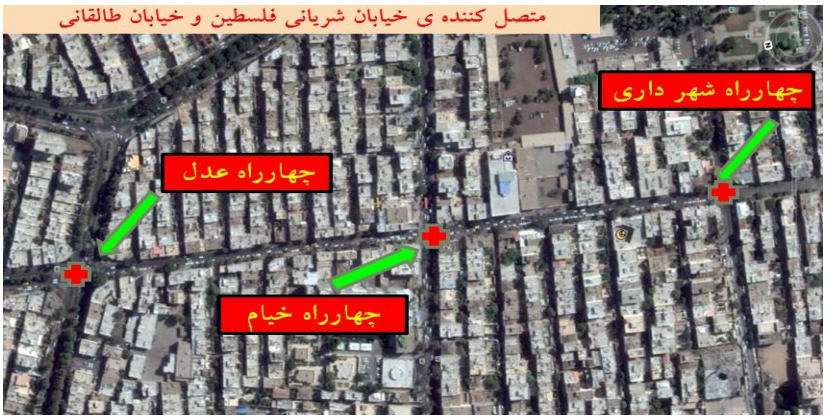
ابزار اصلی سنجش کارآیی این روش مورد نظر در این پژوهش نرم‌افزار سینکرو است. نرم افزاری که ستایشی و همکاران در مطالعه‌ای تحت عنوان نرم افزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی با کارکرد ارزیابی شبکه حمل و نقل شهری به مقایسه آن با دیگر نرم افزارهای موجود در کشور ایران پرداخته و به این نتیجه رسیدند که با توجه به تمامی جوانب، یکی از مناسب ترین نرم افزارهای شبیه‌ساز برای شرایط کشور ایران، سینکرو خواهد بود [Setayeshi et al. 2012]. سینکرو برای اندازه گیری ظرفیت از روش دستورالعمل ICU استفاده می‌کند. در این روش، حجم جاری را با ظرفیت نهایی تقاطع مقایسه می‌کنند، همچنین از مطالب مربوط به دستورالعمل ظرفیت راه-ها[۵] (HCM 2010) استفاده می‌نماید. این نرم‌افزار توانسته است باروشی ساده برای تحلیل ظرفیت تقاطع‌های چراغدار و بهینه کردن زمانبندی آنها زمینه‌ای مناسب را فراهم کند. محاسبات تاخیر یکی از بخشهای اساسی بهینه سازی هدف در سینکرو است. دراین نرم‌افزار کاربر قادراست تاخیر را از دو روش بدست آورد. روش درصدی[٦] که بیشتر براساس فرمول‌های HCM استواراست و روش وبستر[۷] که طریقه محاسبه تاخیردرآن توسط فرمول پیشنهادی وبستر است.

٤-۲ معرفی محدوده مورد مطالعه

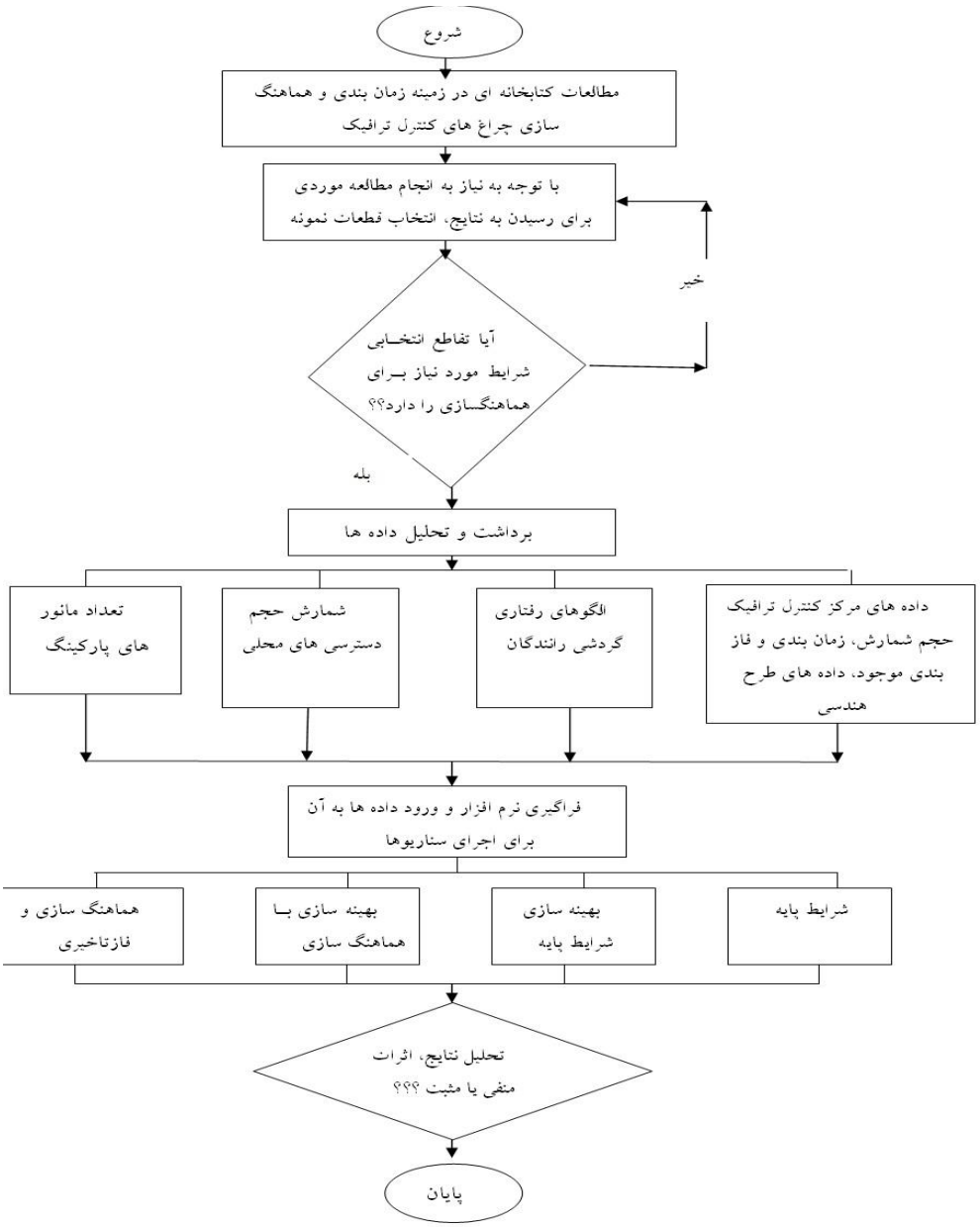
تقاطع‌های مورد مطالعه در این پژوهش از میان همان ۲۳ مورد هوشمند مرکزی باتوجه به معیارهای مورد معامله انتخاب شده اند. مطالعهی اصلی مربوط به خیابان شریانی خیام است که کاملاً در محدوده تجاری شهر قزوین واقع شده است. این راه شریانی مطابق شکل۳ به طول تقریباً ۱٤۸۵ و دارای سه تقاطع از بالا دست عدل، خیام و شهرداری است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. محدوده مورد مطالعه



شکل ٤. مفهوم عرض عبوری

www.SID.ir

Archive of SID

٤-٣ جمع‌آوری داده‌ها

برای بررسی اثرات این روش هماهنگ‌سازی و همچنین استفاده از نرم‌افزار یک سری داده‌های مختلف به شرح زیر نیاز وجود دارد: داده‌های طرح هندسی ، داده‌های حجم‌های ترافیکی و داده‌های زمان‌بندی وفازبندی. داده‌های طرح هندسی- این داده‌ها شامل تعداد، عرض، شیب و طول خطوط رویکردهای موجود، نوع ناحیه، طول انباره مسیرهای گردشی، شعاع جزیره‌های گردشی و خطوط نزدیک به تقاطع است. بخش عمده ای از این اطلاعات از طریق آخرین نسخه بروز رسانی شده نقشه‌ی اتوکد شهری قزوین که توسط مرکز کنترل ترافیک در اختیار محقق قرار گرفت بدست آمد. موارد باقی‌مانده نیز با برداشت میدانی در سطح تقاطع‌ها کامل شد. داده‌های زمان‌بندی و فازبندی- این داده‌ها شامل ویژگی‌های زمان‌بندیو فازبندی موجود وفعلی مثل نوع کنترل چراغ ، سهم زمانی رویکرد ها، تعداد فازهای تقاطع ، نوع فازهای گردشی ، کاربری خطوط تقاطع، نوع شناساگرها و محل قرار گیری آنها، حداقل و حداکثر طول چرخه‌ها وزمان سبز، زمان زرد و تمام قرمز فازها ، حالت بازخوانی فازها و نوع توالی فازها است. از آنجا که تقاطعات مورد مطالعه جز تقاطعات هوشمند مرکزی تحت کنترل نرم‌افزار اسکتس مرکز کنترل ترافیک است، بسیاری از موارد ذکر شده فوق توسط خروجی‌های نرم‌افزار ذکرشده برای بازه زمانی آبان ماه ٩٤ در اختیار پژوهشگر قرار گرفته است. تمامی تقاطع‌های مورد مطالعه به صورت هوشمند مرکزی کنترل می‌شوند. عمدتاً دارای دو فاز و گاهی سه فاز هستند. در حال حاضر تمامی گردش به چپ‌ها، به صورت مجاز اجرا می‌شوند و گردش به راست نیز در زمان چراغ قرمز آزاد است. شناساگرهای این تقاطعات از نوع القایی بوده و فاصله آنها از خط ایست تقاطع صفر و طول آنها ٢/٥ متر است. طبق برداشت‌های مرکز کنترل ترافیک، حجم عابرین بین ١٠٠تا٤٠٠ نفر در ساعت است(جدول١). داده‌های شمارشی جریان ترافیک- این داده‌ها شامل حجم جریان ترافیک عبوری از هرکدام از رویکردهای تقاطع‌ها، نوع الگوی مانورهای گردشی و مستقیم رانندگان، مقدار حجم ورودی وخروجی ازدسترسی‌های محلی بین تقاطع‌ها وتعدادمانورهای ورود وخروج به فضای پارک حاشیه ای است. حجم شمارش جریان ترافیک توسط خروجی‌های نرم افزار اسکتس برای بازه آبان ماه ١٣٩٤ مربوط به تقاطع‌های مورد مطالعه با مساعدت معاونت کنترل ترافیک دراختیار پژوهشگر قرارگرفت. این داده‌ها میزان حجم ترافیک ٢٤ ساعته در بازه‌های ١٥ دقیقه‌ای را برای ٣٠ روز کامل از آبان ماه را ارایه می‌دهند. محاسبات ساعت اوج برای احجام ترافیکی به ازای هر رویکرد هماهنگ‌شده یا نشده و هر تقاطع آغاز گردید. این محاسبات برای تمامی ٣٠ روز آبان ماه جزبه جز پیاده شده است. مجموع حجم ساعتی برای هر ٤ بازه ١٥ دقیقه بدست آمده تا ساعت اوج محاسبه شود که نمونه محاسبات آن در جدول ١ ارایه شده است.

این خروجی‌های نرم‌افزار اسکتس شامل کل حجم عبوری هر کدام از رویکردهای تقاطع بودند و برای رسیدن به تفکیک سهم هر کدام از حرکات چپ گرد (دور برگردان)، راست گرد و مستقیم و همچنین درصد وسیله نقلیه سنگین باید از آنالیز تصویر کمک گرفت. به این صورت که برای بازه‌ی یک ساعته اوج از تقاطع‌های مورد مطالعه برداشت فیلم صورت پذیرد. برای این کار باید دوربین دیجیتال مورد استفاده کرد و این دوربین در یک مکان مناسب جانمایی شود تا علاوه براینکه ایجاد مزاحمت نداشته باشد، بر تمامی رویکردهای تقاطع و خودروهای عبوری مسلط باشد، با همکاری وهماهنگی مرکز کنترل ترافیک شهرداری قزوین اقدام به برداشت فیلم‌ها از تقاطع‌های مربوط در اردیبهشت ١٣٩٥ صورت گرفت که درادامه تصاویری از آن در شکل(٥) و نتایج در جداول (٢ و ٣) نمایش داده شده است.

جدول ١. نمونه‌ای از داده‌های میدانی برداشت شده

	٦:٠٠	٧:٠٠	٨:٠٠	١٧:٠٠	١٨:٠٠	١٩:٠٠
٠:١٥	٢٣٠	٢٧٦	٣٦٩	٢٨	٧٤	٢٦٧
٠:٣٠	٢٢٠	٣٢٢	٣٦٦	٢٦	٨٧	٣٤٣
٠:٤٥	٢١٦	٣٦٤	٣٨٧	٣٧	١١٠	٣٩٠
١:٠٠	٢٤٢	٣٨٣	٣٧٢	٦١	٢١٨	٣٧٠
مجموع احجام ساعتی	٩٠٨	١٣٤٥	١٤٩٤	١٥٢	٤٨٩	١٣٧٠
	٩٥٤	١٤٣٨	١١٥٣	١٩٨	٦٨٢	١١٠٣
	١٠٥٦	١٤٨٢	٨١٣	٢٥٩	٩٣٨	٧٦٠
	١٢٠٤	١٥٠٥	٤٦٣	٣٣٢	١٢١٨	٣٧٠

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۵. برداشت تصاویر ویدیویی از حرکات خودروها در سطح تقاطع‌ها

جدول۲. اطلاعات طرح هندسی و زمان‌بندی مطالعه اصلی

تقاطع	طرح فازبندی	حداکثرطول چرخه (ثانیه)	حداقل‌طول چرخه (ثانیه)	نوع ناحیه شهری	رویکرد	تعداد حرکات	تعداد خطوط	طول رویکرد (بازو) متصل به تقاطع(متر)	خط‌چپگرد انحصاری	شماره شناساگر	زمان سبز(ثانیه)	فاز
عدل (فوق اشباع)	۲فازی	۱۲۰	۳۰	تجاری	شمالی(خیام)	٤	۳	۵۷۵	ندارد	٤و۵و٦	۵۰	B
					شرقی(عدل)	۳	۳	۱۵۰	دارد	۷و۸و۹	۷۰	A
					جنوبی(خیام)	–	۲	۳۵۰		–		
					غربی(عدل)	۳	۳	۲۰۰	دارد	۱و۲و۳	۷۰	A
خیام (فوق اشباع)	۲فازی	۱۱۰	۳۰	تجاری	شمالی(خیام)	۲	۲	۳۵۰	ندارد	۱و۲و۳	٦۰	B
					شرقی(بوعلی)	۲	۳	۲۸۵	ندارد	٤و۵و٦	۵۰	A
					جنوبی(خیام)	–	۲	۳۱۰		–		
					غربی(بوعلی)	–	۳	۲۲۵		–		
شهرداری	۲فازی	۱۱۰	۳۰	تجاری مسکونی	شمالی(خیام)	۳	۲	۳۱۰	ندارد	٤و۵و٦	۷۰	B
					شرقی(شهرداری)	–	۳	۳۷۵		–		
					جنوبی(خیام)	–	۲	۲۵۵		–		
					غربی(شهرداری)	۲	۲	۲۳۵	ندارد	۱و۲و۳	٤۰	A

جدول ۳. اعمال نتایج پردازش تصویر بر روی خروجی‌های حجم نرم‌افزار(۲شنبه ۱۸آبان)

تقاطع	رویکرد	حرکت	حجم تردد(خودرو بر ساعت)	درصد وسیله سنگین	ضریب ساعت اوج(PHF)
عدل	شمالی	راستگرد	۱۵۷	۰	۰,۹
		مستقیم	۳۵۰	۰	۰,۹
		چپگرد	۸۲	۰	۰,۹
		دور برگردان	٦۰	۰	۰,۹
	شرقی	راستگرد	۱۸۰	۱	۰,۸٤
		مستقیم	٦۰۱	۱	۰,۸٤
		چپگرد	۲۰۷	۱	۰,۸٤
	غربی	راستگرد	٤٦۷	۱	۰,۹۲
		مستقیم	٦۷٦	۱	۰,۹۱

www.SID.ir

Archive of SID

		چپگرد	۹۹	۱	۰,۹۲
	جنوبی			–	
	شمالی	راستگرد	۲۱۱	۰	۰,۹۱
		مستقیم	٦٦٤	۰	۰,۹۱
	شرقی	مستقیم	٤٦٨	۱	۰,۸۹
خیام		چپگرد	۲۰۱	۱	۰,۸۸
	جنوبی			–	
	غربی			–	
		راستگرد	۱۱۷	۰	۰,۸۱
	شمالی	مستقیم	٤٤١	۰	۰,۸۱
		چپگرد	١٦٧	۰	۰,۸۱
	غربی	راستگرد	۸۳	۱	۰,۸۷
شهرداری		مستقیم	۱۷۸	۱	۰,۸۷
	جنوبی			–	
	شرقی			–	

٤-٤ محاسبات روش عرض عبوری

با توجه به مطالب گفته شـده، معادله ۵ تا ۷ به ترتیب نحوه محاسـبه شـاخص زوجیت(قابلیت هماهنگ شـدن)، مقدار این شـاخص در تقاطع عدل تا خیام و تقاطع خیام تا شـهرداری را نشان می‌دهد.

$$CI= V/L \qquad (۵)$$

$$900/1150 = 0.78 \qquad (٦)$$

$$725/1020 = 0.71 \qquad (۷)$$

معـادلـه ۸ ، طول چرخـه درحالت پیشـــروی عرض عبوری و معادله ۹ و ۱۰ به ترتیب مقدار این شـــاخص را در تقاطع‌های عدل تا خیام و خیام تا شهرداری به ترتیب نشان می‌دهند.

$$C = 2 * \frac{L}{1.47V} \qquad (۸)$$

$$C= 2 * 1150/1.47 * 20 =150 \qquad (۹)$$

$$C= 2 * 980/1.47 * 20 =70 \qquad (۱۰)$$

که در آن، C : طول چرخه بر حسـب: ثانیه ،L طول قطعه بر حسب فوت و V سرعت پیشروی (مایل بر ساعت) است.

معـادلـه ۱۱ و ۱۲ بـه ترتیـب چگونگی انـدازه‌گیری معیارهای کیفیت پیشروی عرض عبوری و کارآیی عرض عبوری محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

$$E = 100\,{}^{B}/_{C} \qquad (۱۱)$$

$$E = 100\,{}^{37}/_{110}= 34 \qquad (۱۲)$$

در ادامه، معادله ۱۳ و ١٤ نحوه محاســبه دســترســی عرض عبوری و مقدار این شاخص برای محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

$$A = 100\ {}^{B}/_{(G_2 + G_6)} \qquad (۱۳)$$

$$A = 100\ {}^{37}/_{(0 + 50)}=73 \qquad (١٤)$$

که در آنها A: دسترسی سیستم هماهنگ چراغ‌ها بر حسب در صـد، G_2 طول سـبز بحرانی فاز ۲ و G_6 طول زمان سـبز بحرانی فاز ٦ است.

۵. سناریوها و نتایج

با کالیبره نمودن نرم‌افزاربراسـاس دسـتورالعمل کالیراسـیون به کمک داده‌های مربوط به کشور ایران و پس از ساخت مدل‌های شـبیه‌سازی شکل(٦) در نرم‌افزار سینکرو با استفاده از اطلاعات

www.SID.ir

Archive of SID

جمع‌آوری شده، اقدام به اجرای سناریوها و دریافت خروجی‌ها می‌شود.

پس‌از ورود اطلاعات اولیه به نرم‌افزار و ساخت محیط مدل وویژگی‌های هندسی وترافیکی آن نوبت به پیاده‌سازی وتحلیل سناریوهای موردنظر می‌رسد. در چارچوب این پژوهش چهار سناریوی اصلی وجوددارد: ۱-شرایط پایه (وضعیت فعلی وموجود) ۲- بهینه‌سازی شرایط موجود بدون هماهنگ‌سازی (منفرد یا شبکه ای) ۳- بهینه‌سازی با کنترل هماهنگ تقاطع‌ها و ایجاد موج‌سبزپیشروی ٤- بهینه‌سازی با کنترل هماهنگ به همراه استفاده از فازبندی تاخیری . این سناریوها در نرم‌افزار پیاده شده و در جداول ٤ تا ٦ نتایج شبیه سازی و اجرای سناریوهای مدنظر برای مطالعه‌ی اصلی محور خیام برای ساعت اوج و شرایط فوق اشباع ارایه شده است. مقادیر اثرات حاصل از اجرای سناریوها برشاخص‌های کارآیی در جداول ۷ و ۸ ارایه شده است.

شکل ٦. نمونه ای از مدل ساخته شده

جدول ٤. خروجی نرم‌افزار سینکرو برای مطالعه اصلی در شرایط فوق اشباع ساعت‌اوج

سناریو	تاخیرخودروها (ثانیه‌برخودرو)	تاخیر کل (ساعت)	تعداد توقف‌ها	سرعت‌متوسط (کیلومتربرساعت)	زمان سفرکل (ساعت)	سوخت‌مصرفی (لیتر)	تولیدآلاینده ها کیلوگرم	شاخص عملکردی (PI)
۱	۲۸	۹۰	٤٤٨٧	١٦	١٣٧	٥٥٩	١٤,٨١	١٠٨,٨
۲	۲٥	٨٢	٤٣١٧	١٧	١٢٩	٥٣٤	١٤,١٤	٩٤,٤
۳	۲٤	٧٩	٤٢٢٢	١٨	١٢٥	٥٢٢	١٣,٨١	٩٠,٥
٤	۳٠	٩٨	٤٤٧٦	١٥	١٤٤	٥٨٠	١٥,٣٦	١١٠,٣

جدول ٥. خروجی نرم‌افزار سینکرو برای رویکرد(خیام)هماهنگ‌شده مطالعه اصلی درشرایط فوق اشباع ساعت‌اوج

سناریو	تاخیرخودروها (ثانیه‌برخودرو)	تاخیر کل (ساعت)	تعداد توقف‌ها	سرعت‌متوسط (کیلومتربرساعت)	زمان سفرکل (ساعت)	سوخت‌مصرفی (لیتر)	تولیدآلاینده‌ها کیلوگرم	شاخص عملکردی (PI)
۱	۱۸	٤١	١٩٠٣	١٧	٦٤	٢٥٨	٦,٨٣	٤٦,٤
۲	۱٧	٣٨	١٨٣٥	١٨	٦٠	٢٤٨	٦,٤٦	٤٣,١
۳	١٦	٣٥	١٧٤١	١٩	٥٨	٢٣٨	٦,٢١	٤٠,١
٤	١٥	٣٤	١٩٧٤	١٩	٥٧	٢٤٠	٦,٢٦	٣٩,٧

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦. خروجی شبیه‌ساز سیم‌ترافیک برای مطالعه اصلی در شرایط فوق اشباع ساعت‌اوج

سناریو	زمان سفرکل (ساعت)	تاخیر کل (ساعت)	تعداد کل توقف‌ها	سوخت‌مصرفی (لیتر)	شاخص تاخیر عملکردی(ساعت)	تعدادخودروی پس‌زده در طول صف
١	١٤٩,٥	٦٩,٢	٤٢٠٧	٣١٥,١	٦٤,٣	٢٠١
٢	١٤٣	٦٥,٢	٤١٣٨	٣٠٤,٨	٦١,٥	١٧٢
٣	١٢٤,٦	٤٤,٩	٣٩٨٧	٢٩٠,٢	٤٣,٩	١١٣
٤	١٣٣,٥	٥٢,٩	٤٩٢٩	٢٩٦,٦	٥١,٩	١٧٩

جدول ٧. اثرات اجرای سناریوها براساس نتایج سینکرو برای کل شبکه (اعداد براساس درصد)

سناریو	تاخیر کل (ساعت)	تعداد کل توقف‌ها	سرعت‌متوسط (کیلومتربرساعت)	زمان سفرکل (ساعت)	سوخت‌مصرفی (لیتر)	تعدادخودروی پس‌زده در طول‌صف
٢	٨-کاهش	٤-کاهش	٧-افزایش	٥-کاهش	٤-کاهش	٢٥-کاهش
٣	١٠-کاهش	٦-کاهش	١٢-افزایش	٨-کاهش	٧-کاهش	٣٥-کاهش
٤	٧-افزایش	١-کاهش	٧-کاهش	٣-افزایش	٤-افزایش	٣٠-کاهش

جدول ٨ اثرات اجرای سناریوهابراساس نتایج سینکرو برای رویکرد شریانی (اعداد براساس درصد)

سناریو	تاخیر کل (ساعت)	تعداد کل توقف‌ها	سرعت‌متوسط (کیلومتربرساعت)	زمان سفرکل (ساعت)	سوخت‌مصرفی (لیتر)	تعدادخودروی پس‌زده در طول‌صف
٢	٨-کاهش	٤-کاهش	٧-افزایش	٥-کاهش	٤-کاهش	٢٥-کاهش
٣	١٠-کاهش	٦-کاهش	١٢-افزایش	٨-کاهش	٧-کاهش	٣٥-کاهش
٤	٩-کاهش	١-کاهش	١٢-افزایش	٩-کاهش	٦-کاهش	٢٠-کاهش

٥-١ یافته‌ها

شرایط پایه - اولین سناریو متعلق به مدل‌سازی و تحلیل شرایط ترافیکی وضع طرح هندسی و زمانبندی موجود است. هدف اصلی از این کار مقایسه نتایج حاصل از ایجاد هرگونه تغییر در شرایط موجود فعلی و ارزیابی اثرات آن تغییر با توجه به شاخص‌های کارآیی است. علاوه بر این وضعیت فعلی و حاضر شبکه تقاطع‌ها و شاخص‌های کیفیت آن‌ها مشخص می‌شود. برای نمونه چند تقاطع مانند عدل دچار تاخیر بیش از حد دریک یا چند رویکرد و حرکات آن رویکرد است که با طرح‌های بهینه‌سازی و هماهنگ‌سازی بهبود می‌یابد.

بهینه‌سازی شبکه‌ای ساده- درچهارچوب پژوهش حاضر این سناریو تنها برای مقایسه‌ی نتایج حاصل از شبیه‌سازی با اجرای روش عرض عبوری و فازبندی تاخیری گنجانده شده‌است. براساس خروجی‌های نرم‌افزار سینکرو بهینه‌سازی شبکه‌ای همواره شرایط تقاطع‌های مورد مطالعه را بهبود می‌بخشد، که این بهبود در ساعات اوج نسبت به کنترل هماهنگ مقداری کمتر خواهد بود. نرم‌افزار خرد نگر سیم ترافیک دراکثر موارد اجرای بهینه‌سازی شبکه‌ای به روش HCM و درصدی را باعث بهبود شرایط گزارش کرده است ، اما این مقدار بهبود کمتر ازنتایج نرم‌افزار سینکرو بوده والبته بازهم طرح هماهنگ‌سازی را پیشنهاد می‌دهد. درساعات غیراوج و حالت زیراشباع هردوی نرم افزارها بر ارجحیت و کارآیی اجرای بهینه‌سازی متداول شبکه‌ای نسبت به کنترل هماهنگ تاکید کرده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

اجرای کنترل هماهنگ- مطابق نتایج هردوی نرم‌افزارها در حالت فوق اشباع و برای ساعت اوج اجرای طرح کنترل هماهنگ تقاطع‌های متوالی واقع برشریانی به روش عرض عبوری وانجام بهینه‌سازی شبکه‌ای طول‌چرخه و زمان آفست به روش‌های HCM و درصدی معیارهای کیفیت را به میزان قابل توجهی بهبود خواهند بخشید. با توجه به نتایج نرم‌افزار سینکرو اجرای طرح هماهنگ‌سازی تاخیر کل را به میزان ۱۰ درصد، توقف را ٦ درصد، مصرف سوخت را ۷ درصد ومیزان تولید گازهای گلخانه‌ای آلاینده را ۸ درصد کاهش می‌دهد. طبق نتایج نرم‌افزار شبیه‌سازسیم‌ترافیک، اجرای بهینه‌سازی زمانبندی با کنترل هماهنگ به روش عرض عبوری درساعت اوج مقدار تاخیر کل را به میزان ۱۹ درصد، توقف را ۹ درصد مصرف سوخت ۱۰ درصد و از همه مهم‌تر مقدار پس‌زدگی طول صف را ۲۱ درصد کاهش خواهد داد.

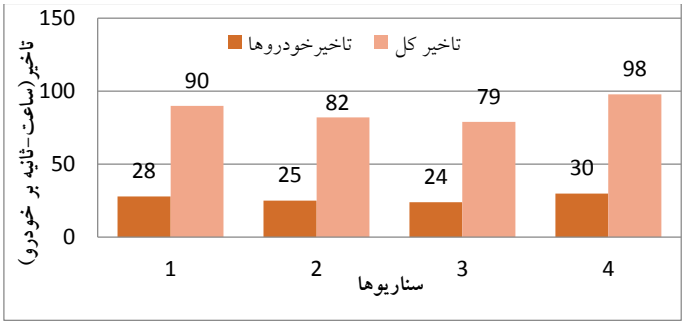
اجرای فازبندی تاخیری درکنار طرح هماهنگ- برای نرم‌افزار سینکرو مطابق خروجی‌ها اجرای فازبندی تاخیری، مقادیر معیارهای کارآیی شبکه از جمله تاخیر،توقف، مصرف سوخت و ... را بطور متوسط بین۱تا۵ درصد وخیم‌تر کرده است.در مقابل براساس نتایج تحلیل خردنگر نرم‌افزار سیم‌ترافیک این اقدام باعث بهبود شرایط ترافیکی خواهد شد. برای مثال زمان سفر ٦ درصد، تاخیر ۷ درصد، مصرف سوخت ٦ درصد و طول صف ۱۷ درصد کاهش می‌یابد. البته باید اشاره کرد که شرایط لزوم اجرای فازگردشی تاخیری در محل تقاطع باید فراهم باشد، چه از نظر طرح هندسی و نسبت حجم‌گردشی به ظرفیت نیاز به فاز تاخیری باشد.

مقایسه شرایط فوق و زیر اشباع- به طور کلی و براساس نتایج هردوی نرم‌افزارها برای شرایط زیر اشباع برخلاف موارد ذکر شده در فوق اجرای بهینه‌سازی با کنترل هماهنگ و اجرای فازبندی تاخیری موجب افزایش تاخیر و توقف وارد برخودروها می‌گردد. از دلایل عمده آن، نبود پیش شرط‌های ضروری برای فراهم شدن بستر مناسب برای هماهنگ‌سازی تقاطعات متوالی است. در این حالت زیر اشباع بهترین اقدام همان بهینه‌سازی شبکه‌ای است که بین ۱تا۷ درصد معیارهای کارآیی را بهبود می‌بخشد. در ادامه برای خروجی‌های نرم‌افزار سینکرو نحوه تغییر تاخیر کل شبکه و نیز تاخیر وارد بر خودروهای رویکرد هماهنگ شده به ازای اجرای سناریوها در شکل۷، همچنین مقایسه خروجی‌های نرم‌افزار خردنگر و کلان‌نگر در ساعت اوج در شکل ۸ ارایه شده اند.

٦. اعتبارسنجی نتایج

برای تایید صحت نتایج بدست‌آمده باید یک مطالعه اعتبارسنجی انجام شود. به همین منظور همانطور که پیش از این بیان شد، از میان تقاطع‌های تحت کنترل سیستم هوشمند مرکزی سیستم SCATS چهار تقاطع مجاور هم واقع شده بروی شریانی بوعلی انتخاب شده‌اند. مطالعه‌ی اعتبارسنجی مرتبط با راه شریانی بوعلی در محدوده کاربری تجاری– مسکونی است. مطابق شکل۹ خیابان بوعلی دارای طول ۱۵۲۵ و دارای چهار تقاطع به ترتیبی از بالا دست خیابان ملت ، خیام ، فردوسی و نادری است.

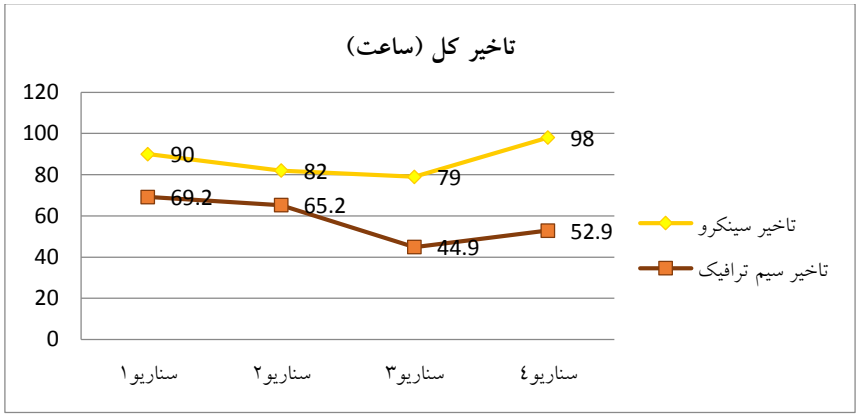
سایر اطلاعات مربوط به مطالعه اعتبارسنجی. همانند مطالعه اصلی تمامی مراحل قبل مانند برداشت داده‌ها، انجام محاسبات بروی آن‌ها، ساخت مدل نرم افزاری، اجرای سناریوها و درنهایت دریافت نتایج و تحلیل آن ها برای مطالعه‌ی اعتبارسنجی نیز انجام و خروجی نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزار خردنگر و کلان‌نگر برای مطالعه اعتبارسنجی بر روی محور بوعلی در ساعت اوج در جداول ۹ و ۱۰ و نیز نتایج تغییرات شاخص‌های کارآیی برای مطالعه اعتبارسنجی به شرح جداول ۱۱و ۱۲ است.



شکل ۷. مقایسه خروجی سینکرو برای تاخیر کل و تاخیر وارد بر خودروها از اجرای سناریوها در ساعت اوج

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸. مقایسه خروجی‌های نرم‌افزار خردنگر و کلان‌نگر

شکل۹. محدوده مورد مطالعه جهت اعتبارسنجی

جدول ۹. خروجی نرم‌افزار سینکرو برای مطالعه اعتبارسنجی درشرایط فوق اشباع ساعت‌اوج

سناریو	تاخیرخودرو(ثانیه برخودرو)		تاخیر کل(ساعت)		کل توقف		سرعت‌متوسط(کیلومتر بر ساعت)	
	شریانی‌هماهنگ	کل‌شبکه	شریانی هماهنگ	کل شبکه	شریانی هماهنگ	کل شبکه	شریانی هماهنگ	کل شبکه
۱	۱۰۱	۱۱۷	۹۵	۲٤۱	۲۰۷۷	۵۲۰۳	٦	۸
۲	۸۱	۱۰۱	۹۰	۲۰٤	۲۱۰٦	۵۱۰۱	۹	۹
۳	۷۸	۱۰۰	۸۵	۲۳٦	۲۰٦۸	۵۰۹۵	۱۰	۹
٤	۷۰	۸۸	۷۹	۱۹۹	۱۸۱۲	٤۹۹۱	۱۱	۱۰

سناریو	زمان‌سفر(ساعت)		مصرف‌سوخت(لیتر)		تولیدآلاینده‌ها(کیلوگرم)		شاخص‌عملکردی	
	شریانی هماهنگ	کل شبکه	شریانی هماهنگ	کل شبکه	شریانی هماهنگ	کل شبکه	شریانی هماهنگ	کل شبکه
۱	۹۰	۲٦۹	۳۰۱	۱۰۰۱	۱۰,۹	۲۵,۲۷	۱۰۱	۲۵۰
۲	۷۸	۲۵۱	۲۸۹	۸۹۹	۷,۷٦	۲۳,۵۸	٦۸,۵	۲۱۹,۲
۳	۷٦	۲۵۰	۲۷۲	۸۸۹	۹,۲٦	۲۳,۲٦	۹۰,٦	۲۱۷,۳
٤	۷۱	۲٤۷	۲٦۵	۸۷٤	٦,۲۹	۲۰,۵٤	٤۷,٤	۱۹۳,۱

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۰. خروجی شبیه‌ساز سیم‌ترافیک برای مطالعه اعتبارسنجی در شرایط فوق اشباع ساعت‌اوج

سناریو	زمان سفرکل (ساعت)	تاخیر کل (ساعت)	تعداد کل توقف‌ها	سوخت‌مصرفی (لیتر)	شاخص تاخیر عملکردی(ساعت)	تعدادخودروی پس‌زده در طول صف
۱	۱٤۱,۸	۱٥۹,۱	٥۰۰۱	۳۱۱,٤	۹۹	۰
۲	۱۳۳,۱	۱٥۷	٥٦٤۷	۳۰۳,۲	۷۷,۷	۰
۳	۱۲۷,۳	۱٤۳,۲	٥۰٤۸	۲۹۰	۷٥	۰
٤	۱۱۰,۹	۱۲۷,۹	٤٦۲۲	۲۸٥	۷٤	۰

جدول ۱۱. اثرات اجرای سناریوها براساس نتایج سینکرو برای کل شبکه (اعداد براساس درصد)

سناریو	تاخیر کل (ساعت)	تعداد کل توقف‌ها	سرعت‌متوسط (کیلومتربرساعت)	زمان سفرکل (ساعت)	سوخت‌مصرفی (لیتر)	تعدادخودروی پس‌زده در طول‌صف
۲	۱۲-کاهش	۲-کاهش	۱٥-افزایش	۷-کاهش	۸-کاهش	
۳	۱۱-کاهش	۳-کاهش	۱٥-افزایش	۱۰-کاهش	۸-کاهش	ندارد
٤	۱۳-کاهش	٤-کاهش	۱۹-افزایش	۱٥-کاهش	۱۰-کاهش	

جدول ۱۲. اثرات اجرای سناریوها براساس نتایج سینکروبرای رویکردشریانی (اعداد براساس درصد)

سناریو	تاخیر کل (ساعت)	تعداد کل توقف‌ها	سرعت‌متوسط (کیلومتربرساعت)	زمان سفرکل (ساعت)	سوخت‌مصرفی (لیتر)	تعدادخودروی پس‌زده در طول‌صف
۲	٥-کاهش	٥-کاهش	۲۰-افزایش	۱۳-کاهش	٤-کاهش	
۳	٦-کاهش	٦-کاهش	۲۰-افزایش	۱٥-کاهش	۷-کاهش	ندارد
٤	۷-کاهش	۱۲-کاهش	۲٥-افزایش	۱۹-کاهش	۱۲-کاهش	

۷. نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثرات بهینه‌سازی زمانبندی از طریق هماهنگ‌سازی تقاطع‌ها به کمک انجام مطالعه میدانی مورد بررسی قرارگرفت. براساس نتایج بدست آمده می‌توان گفت در شرایط فوق‌اشباع ساعت‌اوج بهینه‌سازی ازطریق کنترل هماهنگ تقاطع‌ها به روش عرض‌عبوری، شاخص‌های کارآیی را بهبود می‌بخشد. میزان این بهبود حتی از بهینه‌سازی متداول شبکه‌ای نیز بیشتر بوده و برای مثال تاخیرکل ۱۰ درصد، توقف کل ٦ درصد، سرعت متوسط ۱۲درصد، زمان‌سفر ۸ درصد، سوخت مصرفی۷ درصد و طول صف ۲٥ درصد بهبود می‌یابد.

اثرات اجرای فازگردشی تاخیری درحالت هماهنگ وابستگی شدیدی بوجود شرایط مربوط به فازبندی تاخیری ازجمله: حجم بالای حرکت چپگرد و میزان حجم تداخلی و شرایط طرح هندسی دارد. اگر شرایط اجرای فاز تاخیری فراهم باشد، اثرات مطلوبی بر شاخص‌های کارآیی خواهد گذاشت و برای مطالعه اصلی عرض‌عبوری را از ٤٥ به ٥۸ ثانیه و مطالعه اعتبارسنجی از ۳۱ به ۳۷ ثانیه افزایش خواهد داد.

در شرایط زیراشباع با توجه به فراهم نبودن ویژگیهای ضروری برای هماهنگ‌سازی از جمله حجم بالای شریانی، اجرای کنترل هماهنگ اثرات نامطلوبی داشته و بهترین کار همان بهینه‌سازی شبکه‌ای متداول است تا شاخص‌های کارآیی شبکه بهبود یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

۸. پیشنهادات برای تحقیقات آینده

برای تحقیقات آتی، پیشنهاد می‌گردد که معیارهای کارآیی به دست آمده از طریق نرم‌افزار شبیه‌ساز خردنگر، با مقادیر میدانی و همچنین سایر روش‌های محاسباتی تأخیر نظیر محاسبات وبستر و سایر روش‌ها که به تفصیل در کتاب دستورالعمل ظرفیت راه‌های آمریکا ذکر شده، مقایسه گردد تا دقت نرم‌افزارهای شبیه‌ساز و همچنین قابلیت کاربرد آنها براساس شرایط ترافیکی ایران، مشخص شود.

۹. سپاسگزاری

این پژوهش باهمکاری معاونت محترم حمل ونقل و ترافیک شهرقزوین ومرکزکنترل ترافیک شهرقزوین صورت پذیرفته و نویسندگان ازحمایت‌های مستقیم و مستمر آقایان دکتر میزانی و مهندس رشوند، سپاسگزاری می‌کنند.

۱۰. پی‌نوشت‌ها

1-Development of a traffic signal operation handbook
2- Scats
3-Synchro
4-SimTraffic
5-Highway capacity Manual
6-Percentile
7-Webster

۱۱. مراجع

-افندی‌زاده‌زرگری، شهریار، حاج محمدی، هاجر و دهقانی، نازلی(۱۳۹۱) "هماهنگ سازی بهینه کنترل چراغها در معابر شهری فوق اشباع و زیراشباع"، کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، دهمین، ایران، تهران.

-رحیمی، امیرمسعود، باقری، سید رامتین، دزفولیان شهنی، رضا و مظاهری، آرش(۱۳۹۵)" ارزیابی استفاده از تقاطع غیر متعارف برای بهبود جریان ترافیک در راه‌های برون شهری"، مجله پژوهشنامه حمل و نقل، سال ۱۳، شماره ۲، ص ۱۱۵-۱۲۸.

- ستایشی،صابر، رحیم‌اف،کامران، افندی‌زاده زرگری، شهریار و ستایشی، سعید (۱۳۹۱)"نرم‌افزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی با کارکرد ارزیابی شبکه حمل‌ونقل شهری"، یازدهمین کنفرانس سیستم‌های هوشمند ایران، دانشگاه خوارزمی، تهران.

- شرکت مهندسی آتیه ساز (۱۳۹۰) "طرح مطالعات جامع حمل ونقل و ترافیک مجموعه شهری قزوین" ، مرکز کنترل ترافیک شهرداری، جلد اول، فصل سوم، ص۲۲، ایران، قزوین.

- علینقیان، مهدی و نادری، منصوره (۱۳۹۵) " کاهش مصرف سوخت برای مسئله مسیریابی خودرو با توجه به تراکم ترافیک شهری(مطالعه موردی: یک شرکت توزیع در اصفهان)" فصلنامه مهندسی حمل و نقل، ۷سال هفتم، شماره ۳، ص ۴۹۹-۵۲۲.

-کالیبره نمودن نرم‌افزارهای مهندسی ترافیک براساس شرایط شهرتهران (۱۳۹۰) "مروری بر عملیات کالیبراسیون"،جلد پنجم، ایران، تهران.

-Bonneson, J., Pratt, M. and Zimmerman, K. (2009) “Development of a traffic signal operations handbook”, (No. FHWA/TX-09/0-5629-1), Texas Transportation Institute, Texas A & M University System.

-Bonneson, J. A., Sunkari, S. R. and Pratt, M. P. (2009) “Traffic signal operations handbook”, (No. FHWA/TX-09/0-5629-P1), Texas Transportation Institute, Texas A & M University System.

-Cesme, B. and Furth, P. G. (2014) “Self-organizing traffic signals using secondary extension and dynamic coordination”, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 48, pp.1-15.

-Chen, X., Zhang, Y. and Chen, X. (2012) “Traffic design of effective coordination among the time, space, flow", ICLEM 2012: Logistics for Sustained Economic Development—Technology and Management for Efficiency, pp. 342-347.

-Ji, Y., Hu, B., Hill, G., Guo, W., Blythe, P. and Gao, L. (2016) “Signal coordination scheme based on traffic emission”, IET

www.SID.ir

Archive of SID

Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1727, pp.42-51.

-Roess, R. P., Prassas, E. S. and McShane, W. R. (2011) "Traffic engineering" , Forth edition , Pearson Education International.

-TRB (2010) "Highway capacity manual" , National Research Council, Washington, D.C.

-Waterman, R. M., Makuch, M. F., James, P. L. H., Cloutier, M. J., Palmer, B. A. S. G. R., Fatu, P. N. A., ... and Bongiorno, A. B. (2014) "Traffic control signal design manual., Connecticut Department of Transportation.

-Xiaoqing, D., Honghui, D. and Shihong, H. (2014, May) "A route-choice method based on zone traffic signal coordination control", In Control and Decision Conference (2014 CCDC), The 26th Chinese, pp. 3921-3926, IEEE.

-Zhang, L., Song, Z., Tang, X. and Wang, D. (2016) "Signal coordination models for long arterials and grid networks", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 71, pp. 215-230.

Intelligent Transport Systems, Vol. 10, No. 2, pp. 89-96.

-Koonce, P., Rodegerdts, L., Lee, K., Quayle, S., Beaird, S., Braud, C. and Urbanik, T. (2008) "Traffic signal timing manual (No. FHWA-HOP-08-024).

-Li, Z., Shahidehpour, M., Bahramirad, S. and Khodaei, A. (2017) "Optimizing traffic signal settings in smart cities", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 8, No. 5, pp. 2382-2393.

-Nyantakyi, E. K., Adams, C. A., Borkloe, J. K. and Pobee, D. (2013) "Synchronization of signalised intersections: A case study of three major intersections on the 24th February Road, Kumasi, Ghana", International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 3 , No 4, pp.2566-2590.

-Rakha, H., Medina, A., Sin, H., Dion, F., Van Aerde, M. and Jenq, J. (2000) "Traffic signal coordination across jurisdictional boundaries: Field evaluation of efficiency, energy, environmental, and safety impacts", Transportation Research

www.SID.ir

Archive of SID

امیرمسعود رحیمی، سعید طاهری

امیرمسعود رحیمی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۷٦ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی و برنامه‌ریزی حمل و نقل در سال ۱۳۷۸ را از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در سال ۱۳۸۷ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی و برنامه‌ریزی حمل و نقل از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدلسازی حمل و نقل، شبیه‌سازی جریان ترافیک، ایمنی ترافیک و حل مسأله مسیریابی وسیله نقلیه بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه دانشیار در دانشگاه زنجان است.

سعید طاهری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش راه و ترابری در سال ۱۳۹۵ را از دانشگاه زنجان اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان طرح هندسی ایمن راه، شبیه‌سازی جریان ترافیک و محاسبات آمارگیری در برنامه‌ریزی حمل و نقل بوده و در حال حاضر بعنوان کارشناس وظیفه-اجرا بخش عملیات خاکی در قطعه ۳و٤ از پروژه ملی راهسازی قزوین، الموت، تنکابن مشغول بکار است.

www.SID.ir