فصلنامه مطالعات عمران شهری | دوره سوم، شماره نهم، تابستان ۱۳۹۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۱

تجزیه و تحلیل عملکرد تقاطع‌ها با استفاده از نرم‌افزار HCS
(مطالعه‌ی موردی: خیابان حکیم نظامی اصفهان)

احسان جمشیدی فلاورجانی[۱]، علی نادران*[۲]

چکیده

مطالعات صدمه‌های ناشی از رشد سریع وسایل نقلیه‌ی شخصی در کلان‌شهرها، غیر قابل تحمل‌شده و هرگونه افزایش این وسایل موجب بروز گره‌های ترافیکی خواهد شد، که خود عامل اصلی تأخیرهای ناشی در تقاطع‌ها محسوب می‌شود. به همین دلیل محقق سعی بر آن داشته تا با ارائه پیشنهاداتی در جهت رفع این مشکل اقدام نماید. تحقیق پیش‌رو از لحاظ هدف کاربردی است و جهت جمع‌آوری اطلاعات از برداشت میدانی استفاده شده‌است. ابتدا پس از برداشت متغیرهای تأخیر، حجم و ظرفیت و وارد کردن این مشخصات و پیش‌فرض‌های آیین‌نامه به نرم‌افزار HCS به محاسبه سطح سرویس پرداخته‌شد و بعد از آن مقایسه‌ای اجمالی بین تقاطع‌ها انجام شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که در تمامی تقاطع‌های مورد بررسی در خیابان حکیم نظامی اصفهان، حجم و به تبع آن تأخیر بالایی وجود دارد که نشان‌دهنده‌ی سطح سرویس پایین است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش تأخیر در تقاطع‌های سطح شهر باعث عملکرد بسیار پایین سیستم حمل و نقلی شده و معابر شهر قفل می‌شوند و برای رهایی از این مشکل، هماهنگ‌سازی تقاطع‌ها روشی بسیار بهینه است.

واژه‌های کلیدی: تأخیر، تقاطع، نرم‌افزار HCS ، کلان‌شهر اصفهان.

[۱]. کارشناسی ارشد عمران-برنامه ریزی حمل و نقل, دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، پست الکترونیک: e.jamshidi.f@gmail.com

[۲]. نویسنده مسئول: دکترای راه و ترابری و عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، پست الکترونیک: Ali@naderan.com

مقدمه

در جهانی که هر روز و هر ساعت بر تعداد وسیله نقلیه موجود افزوده می‌شود و باعث ایجاد ترافیک‌های سنگین، تصادفات سخت، طول صف‌های زیاد وسایل نقلیه، اتمام سوخت‌های فسیلی، افزایش هزینه‌ها و از همه مهم‌تر تخریب محیط زیست می‌شود، باید با توجه به شرایط موجود، نیروهای انسانی مجرب و استفاده از تمامی علوم، راهکارها و راه‌حل‌های مناسب برای این مشکلات ارائه نمود. امروزه با افزایش جمعیت و همچنین بالا رفتن سرانه مالکیت اتومبیل، معضلی به نام ترافیک، در بیشتر شهرهای بزرگ دیده می‌شود (جمشیدی، ۱۳۹۰: ۱۹). یکی از عوامل افزایش زمان سفر خیابان‌های شهری، وجود تقاطع‌های چراغدار است. تقاطع هم‌سطح قسمتی دشوار و پیچیده از سیستم راه است. در اینجاست که اکثر برخوردها بین وسیله‌ی نقلیه و عابرپیاده به وجود می‌آید و همیشه به تأخیرها، تصادفات و راه‌بندان منجر می‌شود. معمولاً تقاطع‌های هم‌سطح به وسیله‌ی چراغ راهنمایی کنترل می‌شوند که در این وضعیت به‌عنوان تقاطع‌های مجهز به علائم راهنمایی شناخته می‌شوند. تقاطع‌های مجهز نشده به چراغ راهنمایی که اکثریت تقاطع‌های هم‌سطح در هر سیستم خیابان را در بردارند، به‌وسیله‌ی تابلوهای ایست و احتیاط برای اختصاص حق تقدم به یک مسیر یا خیابان کنترل می‌شوند. تقاطع‌های چراغدار نقاط کنترل‌کننده جریان ترافیک در سطح شبکه هستند که مقدار تأخیر در آنها معیار اندازه‌گیری مناسبی است که برای بیان خصوصیات عملکردی تقاطع چراغدار به کار می‌رود (Kang, 2000: 55).

نصب چراغ‌های راهنمایی در تقاطع‌ها با هدف اولویت‌بندی و اعطای حقوق برابر به کلیه‌ی وسایل نقلیه، مسائل عمده‌ای را در پی دارد. مکان‌هایی که سطح و حریم تقاطع نامیده می‌شوند، محل عبور استفاده‌کنندگان از وسایل نقلیه و عابرین پیاده با تنوعی از حرکات هستند. بدیهی است که امکان عبور همزمان کلیه حرکات در شرایطی که حجم رفت و آمد زیاد است، به راحتی امکان‌پذیر نیست. بنابراین در اینگونه از تقاطع‌ها همیشه دسته‌ای از وسایل نقلیه در انتظار اخذ خدمت از تقاطع هستند. در نتیجه بنا به تعریف، تقاطعی دارای کارایی مناسب است که اولاً ظرفیت آن بتواند پاسخگوی نیاز تقاضای عبور و مرور باشد و ثانیاً حقوق برابری را به وسایل نقلیه با شرایط یکسان اعطا نماید (تقاطع‌های همسطح شهری، ۱۳۷۶: ۴۲).

بدون هیچ تردیدی تأخیر، مهم‌ترین معیارعملکرد حرکت‌های ترافیکی یک تقاطع است. تأخیر سبب افزایش مصرف سوخت، آلودگی هوا، افزایش هزینه‌ها شامل هزینه عملیاتی وسایل نقلیه به اضافه ارزش وقت استفاده‌کنندگان، فشار روانی بر رانندگان و تصادف می‌شود. یک علت مهم دیگر جهت استفاده از تأخیر در مطالعات مربوط به تقاطع‌های با چراغ راهنمایی، کاربردی بودن آن است. تأخیر، زمان از دست‌رفته‌ی خارج از کنترل رانندگان می‌باشد که ناشی از دو عامل اصلی تأخیر عملیاتی و تأخیر ثابت است (صفارزاده، ۱۳۸۱: ۷۸).

مدت زمانی که رانندگان و سرنشینان خودروها در طی مدت تردد، به علت عدم کارایی چراغ در تقاطع از دست می‌دهند، به مراتب ناخوشایندتر و خسته‌کننده‌تر از زمانی است که در حین حرکت از دست می‌رود و پر واضح است در شهرهای بزرگ، حتی یک ثانیه صرفه‌جویی در زمان چه میزان کمک به منابع انسانی و اقتصادی کشور در بر دارد. حال اگر چراغ‌های راهنمایی درست طراحی و نصب نشوند و یا به هر دلیلی عملکرد مناسبی نداشته باشند، آثار سوء مختلفی به بار می‌آورند (امراللهی و سیدحسینی، ۱۳۸۹: ۲۵).

بنابر مسائل مطرح شده، تجزیه و تحلیل عملکرد تقاطع‌ها و مشخص کردن تأخیر و سطح سرویس هر یک از رویکردهای تقاطع می‌تواند کمک شایانی به مدیریت شهری در جهت رفع این معضل که به تنهایی می‌تواند کل شهر را

تحت تأثیر قرار دهد، بکند. رویکرد اصلی در پیش‌برد این پژوهش، استفاده از روش‌های کاربردی جهت برطرف کردن تأخیرهای وارده از طرف گره‌های شهری بر استفاده کنندگان از راه می‌باشد. بنابر آنچه بیان شد می‌توان گفت که پژوهش حاضر به دنبال تحقق اهداف زیر می‌باشد:.

- تعیین تأخیرهای تقاطع‌ها
- مشخص‌کردن ظرفیت تقاطع‌ها
- افزایش استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی به وسیله کاهش زمان سفر آن‌ها
- تعیین Level Of Serves (سطح سرویس) هر یک از رویکردهای تقاطعات
- ساماندهی خیابان‌های مورد مطالعه
- کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی
- کاهش زمان تأخیر و به تبع آن کاهش هزینه‌ها

پیشینه تحقیق

در سال ۱۳۹۳ پژوهشی توسط رضایی و همکاران انجام گرفت که در آن به بررسی نحوه محاسبه تأخیر ایجاد شده توسط تقاطع چراغدار بر جریان ترافیک غیر اشباع در شهر تهران از دو روش HCM-2000 و خودروی سیار پرداخته شده‌است. نتایج بدست‌آمده از سه جهت تقاطع، نزدیکی نتایج دو روش را نشان می‌دهد، اما به دلیل دیده‌نشدن تأثیر حجم بالای گردش به راست محافظت‌شده در روش خودروی سیار، تأخیر بدست‌آمده در جهت چهارم بیش از واقعیت بوده و با نتیجه بدست‌آمده از روش دیگر تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشته است. بنابراین می‌توان روش خودروی سیار را روشی کارا توصیف کرد که با تعداد تکرار اندک نیز نتایج خوبی بدست می‌دهد اما در صورت وجود گردش به راست محافظت شده با حجم قابل توجه نیاز به اصلاح نتیجه با توجه به حجم این عملیات می‌باشد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳: ۷). توسعه روشی جهت کاهش تأخیر و بهبود سطح سرویس تقاطع‌های چراغدار پیش زمان‌بندی‌شده با استفاده از آنالیز حساسیت نام پژوهش دیگری است که در سال ۱۳۸۹ توسط پروفسور سیدحسینی و امراللهی برای شهر تهران تهیه شده‌است. در این پژوهش سعی شده تا با توجه به آثار نامطلوبی که افزایش زمان تأخیر بر شرایط ترافیکی، زیست‌محیطی، مصرف سوخت و ... در جامعه دارد، به راهکاری جهت کاهش زمان تأخیر در تقاطع‌ها پرداخته شود و همچنین سعی شده تا حد امکان شرایط ترافیکی و رانندگی در ایران (شهر تهران)، در نرم‌افزار Synchro شبیه‌سازی شود و با استفاده از آنالیز حساسیت از بین آیین‌نامه‌های طراحی چراغ که در ایران بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند، مناسب‌ترین روش، شناسایی شود و در مرحله آخر اقدام به کالیبره کردن ضرایب رابطه منتخب تحت شرایط ترافیکی و رانندگی حاکم بر شهر تهران می‌کند و در نهایت رابطه یا روابطی حاصل می‌شود که در شرایط ترافیکی ایران نتایج بهتری از لحاظ کاهش زمان تأخیر و بهبود سطح سرویس در تقاطع می‌دهد (امراللهی و سید حسینی، ۱۳۸۹: ۲۸).

انصاری‌یار و همکاران در سال ۱۳۹۶ تحقیقی با عنوان بررسی آثار ایجاد موج سبز بر کاهش زمان تأخیر و زمان سفر وسایل نقلیه در معابر دارای تقاطعات چراغدار متوالی برای خیابان ثانی محله نارمک شهر تهران انجام دادند. در این تحقیق ابتدا پارامترهای اختلاف فاز، کاهش زمان تأخیر، کاهش زمان توقف و زمان سفر خودروها که عناصر مهم و کلیدی یک شبکه هماهنگ‌شده محسوب می‌شوند را برای خیابان ثانی (تقاطعات گلستان، غیاثی‌پور و سهیلیان) در نرم‌افزار Synchro آنالیز کرده و سپس خروجی آن در نرم‌افزار Aimsun شبیه‌سازی شده‌است. نتایج بدست‌آمده از

شبیه‌سازی شبکه نشان‌دهنده‌ی بهبود ۵۲ درصدی زمان تأخیر و بهبود کلیه شاخص‌های ترافیکی خروجی از نرم‌افزار می‌باشد (انصاری‌یار و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۰). نیانتاکی[۱] و همکاران با انجام یک مطالعه میدانی در منطقه کوماسی کشور غنا به بررسی اثرات هماهنگ‌سازی تقاطع‌های چراغدار بر روی معیارهای ارزیابی کیفیت به کمک نرم‌افزار سینکرو پرداخته‌اند. با انجام برداشت‌های میدانی گسترده برای داده‌های ضروری از جمله طرح هندسی و کنترل چراغ و انجام شبیه‌سازی، به این نتیجه رسیدند که اجرای این طرح هماهنگ‌شده اکثر معیارهای کیفیت مثل تأخیر و توقف را بهبود می‌بخشد، همچنین نشان دادند که ترکیب این طرح، هماهنگ با اصلاح توالی فازها و طرح هندسی نیز بهبود قابل‌توجهی خواهد داشت (Nyantakyi et al, 2013: 2566). چن[۲] و همکاران در پژوهشی بر روی هماهنگ‌سازی تقاطع‌های چراغدار شهر پکن در کشور چین و با کمک شبیه‌سازی، روش زمان – مکان – جریان را ابداع نمودند. نتایج آماری حاصل از برداشت میدانی و شبیه‌سازی نرم‌افزار، حاکی از بهبود معیارهای ترافیکی با به کاربردن روش مورد نظر به جای هماهنگ‌سازی متداول است. روشی که دارای سه مرحله اصلی آماده‌سازی، طرح اولیه مکان و یکپارچگی زمان – مکان بهینه شده، است (Chen et al, 2012: 345). سسمه و فورس[۳] با انجام پژوهشی با عنوان چراغ‌های خود بهینه‌سازی در ایالات‌متحده، به بررسی انواع کنترل چراغ برروی هماهنگ‌سازی پرداختند. از نظر آن‌ها کنترل هوشمند در کنار مزایای چشمگیر خود دارای ضعف در توانایی، ایجاد پیشروی مناسب در سطح راه شریانی است. هر چند یکی از رایج‌ترین کارها در حالت هوشمند استفاده از یک طول چرخه طولانی است، اما همان طول چرخه دارای نواقصی چون عدم انعطاف‌پذیری در برابر اولویت به جریان و استفاده بهینه از ظرفیت در شرایط فوق است. در این پژوهش سعی شده که با اصلاح قواعد کنترل هوشمند نواقص فوق برطرف شده و هماهنگ‌سازی بهبود یابد. از جمله این اصلاحات اضافه کردن ثانویه زمان سبز برای تنظیمات سبز مناسب با خودروها و جریان‌های ورودی تصادفی است. مطالعه میدانی حدودا ۱۴درصد کاهش تأخیر را برای استفاده از روش تقاطع خود بهینه‌سازی نشان می‌دهد (Cesme & Furth, 2014: 1). یانی‌جه[۴] و همکاران یک طرح هماهنگ‌سازی چراغ براساس میزان آلاینده‌های خودرو در شهر گوانگژو چین ارائه کردند. با در نظر گرفتن محدودیت‌های روش جبری، روش منحنی ورود و خروج برای آن پیشنهاد گردید و از نرم‌افزار ویسسیم جهت شبیه‌سازی استفاده کردند. همچنین از الگوریتم ژنتیک به‌منظور کاهش همزمان تأخیر و آلاینده خودروها استفاده کردند. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از این طرح، میزان آلایندگی ۲۸/۸ درصد برای وسایل حمل و نقل عمومی و ۱۸/۷ درصد برای تمامی خودروها کاهش می‌یابد (Ji et al, 2016: 91). مطالعات هماهنگ‌سازی چراغ‌ها در شهرهای هوشمند نیز مورد علاقه محققین در سال‌های اخیر واقع شده‌است. در یک تحقیق، لی[۵] و همکاران یک روش بهینه‌سازی و هماهنگ‌سازی سه مرحله‌ای پیشنهاد کردند که در مرحله اول، تنظیمات چراغ راهنمایی به منظور حداقل‌سازی زمان سفر میانگین راننده تشخیص داده می‌شود، در حالی که در مرحله دوم، تلاش می‌شود تا تعادل شبکه محاسبه شود. نتایج نشان داد که در هنگام شب که حجم ترافیک ثابت می‌ماند، بهتر است کمتر چراغ‌ها بهینه‌سازی شوند (Li et al, 2017:

---

۱. Nyantakyi

۲. Chen

۳. Cesme & Furth

۴. Ji

۵. Li

2382). ژانگ[۱] و همکاران 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 به‌طور 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 (Zhang et al, 2016: 215). راخا[۲] 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 در شهر آریزونا، ایالات متحده انجام دادند. یکی از اقدامات مهم آن‌ها استفاده از سیستم موقعیت‌یابی جهانی و نیز خودروی شناور برای اندازه‌گیری سرعت است. نتایج پژوهش نشان می داد که سرعت پیش‌روی حدود ۶ درصد بهبود یافته، تعداد توقف حدود ۴ درصد و مصرف سوخت ۱/۶ درصد کاهش یافته است (Rakha et al, 2000: 43). ژیاوکینگ[۳] و همکاران در یک پژوهش با عنوان انتخاب مسیر برای هماهنگ‌سازی براساس وضعیت ترافیکی در کشور چین و شهر پکن به معرفی نوع جدیدی از هماهنگ‌سازی به صورت گردشی پرداختند. در واقع این بار برخلاف قبل مسیر هماهنگ‌شده، مستقیم نبوده و در برخی تقاطع‌ها براساس تقاضا حرکات گردشی به‌عنوان هماهنگ‌شده انتخاب می‌شود. تمرکز این پژوهش بر روی انتخاب بهینه‌ترین مسیر برای هماهنگ‌سازی بین هر مبدأ و مقصدی است. از نرم‌افزار سینکرو استفاده شده‌است و نتایج نشان داد که وقتی حجم چپ‌گردهایی بالا باشد، هماهنگ‌سازی گردشی مفیدتر خواهد بود و تأخیر کل بسیار کاهش خواهدیافت. از دیگر کاربردهای این روش در تقاطع‌های T شکل است (Xiaoqing et al, 2014: 3921).

ضرورت و اهمیت پژوهش

هنگامی که محدوده مورد مطالعه شامل شبکه شریانی با حجم ترافیک بالا نسبت به معابر اطراف باشد و در سطح این شریانی‌ها، چندین تقاطع نزدیک به هم وجود داشته‌باشد، هماهنگ‌سازی تقاطع‌های چراغدار بهترین گزینه جهت کنترل تقاطع‌ها و کاهش تأخیرهای ناشی از آن محسوب می‌شود. با بالا بودن حجم ترافیک و تعداد تقاطع‌های چراغدار در یک شریانی، بهترین گزینه از دیدگاه مهندسان ترافیک، بهبود عملکرد چراغ‌های راهنمایی برای کاهش تأخیرات ناشی از تقاطع‌ها می‌باشد. هدف اصلی تجزیه و تحلیل تقاطع‌ها کاهش تأخیرهای وارده و افزایش سطح سرویس هر یک از آن ها می‌باشد که در نتیجه باعث کاهش زمان سفر و توقف‌ها می‌شود. به همین دلیل تأخیر تقاطع‌ها، از اهمیت بسیاری در جهت افزایش سطح سرویس در معابر شهری برخوردار است که در این تحقیق تلاش گردیده تا با یک مطالعه موردی، اهمیت آن بیش از پیش آشکارگردد.

مواد و روش پژوهش

معمولاً ظرفیت یک راه به عواملی مانند ویژگی‌های هندسی و تسهیلات، به علاوه ترکیب جریان ترافیکی که از تسهیلات استفاده می‌کنند، بستگی دارد، بنابراین ظرفیت یک راه نسبتاً ثابت است. به عبارت دیگر، وقتی تقاطع‌های هم‌سطح در راهی بررسی می‌گردد به ویژگی‌های دیگری نیز توجه می‌شود. برای مثال، درباره تقاطع مجهز به علائم

---

۱. Zhang

۲. Rakha

۳. Xiaoqing

راهنمایی با مفهوم زمان آشنا می‌شویم؛ چراغ راهنمایی زمان را بین حرکت‌های ترافیکی که از یک مکان استفاده می‌کنند، تقسیم می‌کند. در تقاطع‌های مجهز نشده به علائم راهنمایی که با علائم ایست و احتیاط کنترل می‌شوند، توزیع فاصله آزاد بین دو خودرو در جریان ترافیک خیابان اصلی، از طریق قدرت تشخیص رانندگان در انتخاب فاصله آزاد بین دو خودرو در جریان اصلی توأم می‌شود و این امر ظرفیت اصلی کنترل‌شده تقاطع را ثابت نگه می‌دارد. مفاهیم ظرفیت و سطح سرویس برای بررسی تقاطع‌ها مفاهیمی اساسی است، همانطور که برای همه انواع تسهیلات می‌باشند. در مورد تقاطع‌های مجهز به علائم راهنمایی، این دو مفهوم جداگانه بررسی می‌شوند. چون آن‌ها کاملاً به یکدیگر وابسته نیستند. اما توجه به این نکته ضروری است که هر دو مفهوم ظرفیت و سطح سرویس باید برای ارزیابی عملکرد کلی تقاطع مجهز به علائم راهنمایی، کاملاً بررسی شود (صفارزاده، ۱۳۹۰). بررسی ظرفیت تقاطع‌ها منتج به محاسبه نسبت V/C برای حرکت‌های انفرادی و ترکیب V/C برای مجموع حرکت های بحرانی یا گروه‌های خط عبور موجود در تقاطع می‌شود. خارج قسمت V/C اندازه واقعی یا تخمینی جریان در یک رویکرد یا گروه مشخصی از خطوط عبوری در طی مدت زمان اوج ۱۵ دقیقه‌ای است که به وسیله‌ی ظرفیت رویکرد یا گروه تعیین شده‌ای از خطوط عبوری تقسیم می‌شود. سطح سرویس‌دهی بر اساس میانگین تأخیر هر وسیله نقلیه که به دلیل حرکت‌های تداخلی در تقاطع متوقف شده، محاسبه می‌شود. اگر چه میزان V/C تأخیر را تحت تأثیر قرار می دهد، پارامترهای دیگری نیز با شدت بیشتری روی میزان تأخیر اثر می‌گذارد، مثل کیفیت حرکت اتومبیل‌ها، مدت زمان چراغ سبز و طول زمان‌های چرخه. بنابراین در ازای هر نسبت مفروض، ممکن است محدوده میزان تأخیرها به دست آید یا بر عکس. به این دلیل هر دو مفهوم ظرفیت و سطح سرویس باید با دقت بررسی شود (صفارزاده، ۱۳۹۰: ۶۵). به همین دلیل از سه ویژگی تأخیر، نسبت V/C و سطح سرویس برای مقایسه‌ی تقاطع‌های مورد نظر استفاده شده است. جامعه آماری شامل کلیه‌ی تقاطعات شهر اصفهان می‌باشد که با توجه به حجم بالای جامعه آماری به صورت نمونه‌گیری در دسترس تعدادی از تقاطعات شهر اصفهان مورد بررسی قرار گرفت که شامل خیابان حکیم نظامی است. این خیابان در مرکز شهر و از جنوب تا شمال غربی این شهر ادامه پیدا کرده است و تقاطع‌های مهم این خیابان عبارت است از وفایی، پل فلزی شمال، پل فلزی جنوب، شریعتی و شهدای صفه. ابتدا با استفاده از برداشت‌های میدانی و چک لیست‌های مربوطه، زمان بندی فازهای چراغ‌های راهنمایی برداشت شد که در جداول شماره‌های ۱ تا ۵ آورده شده‌است.

جدول (۱): فازبندی تقاطع وفایی

	بازه زمانی	شماره فاز	زمان (ثانیه)
دوره اوج صبح	سبز	زرد	طول سیکل
یک	۷۰	۵	۱۱۵
دو	۳۵	۵	۱۱۵

جدول (۲): فازبندی تقاطع پل فلزی (شمال)

	بازه زمانی	شماره فاز	زمان (ثانیه)
دوره اوج صبح	سبز	زرد	طول سیکل
یک	۴۵	۵	۹۵
دو	۴۰	۵	۹۵

جدول (۳): فازبندی تقاطع پل فلزی (جنوب)

	بازه زمانی	شماره فاز	زمان (ثانیه)
دوره اوج صبح	سبز	زرد	طول سیکل
یک	۳۵	۵	۹۰
دو	۴۵	۵	۹۰

جدول (۴): فازبندی تقاطع شریعتی

	بازه زمانی	شماره فاز	زمان (ثانیه)
دوره اوج صبح	سبز	زرد	طول سیکل
یک	۴۵	۳	۱۴۱
دو	۳۵	۳	۱۴۱
سه	۵۲	۳	۱۴۱

جدول (۵): فازبندی تقاطع شهدای صفه

	بازه زمانی	شماره فاز	زمان (ثانیه)
دوره اوج صبح	سبز	زرد	طول سیکل
یک	۳۵	۳	۱۱۹
دو	۳۵	۳	۱۱۹
سه	۴۰	۳	۱۱۹

منبع: یافته‌های نگارندگان، ۱۳۹۸.

پس از آن به برداشت احجام تقاطع‌های مذکور پرداخته شد. برداشت‌ها در روزهای سه شنبه و چهارشنبه در ساعت پیک صبح (۷ الی ۸) در اواسط اردیبهشت ماه انجام‌گرفت و برای خلاصه‌سازی داده‌ها متوسط مجموع هم‌سنگ احجام ترافیکی هر رویکرد در جداول تنظیم شده است. برای ورود اطلاعات به نرم افزار HCS پیش‌فرض‌هایی در نظر گرفته شد که عبارت است از خطای آمارگیری که در حدود ۱۰ درصد در نظر گرفته شده‌است. همچنین نرخ جریان اشباع برای هر خط عبوری از رویکردهای تقاطع طبق آیین‌نامه‌ی راه‌های شهری ۱۹۰۰ وسیله‌ی نقلیه معادل سواری در ساعت در هر خط در نظر گرفته‌شده و عرض خطوط عبوری نیز طبق آیین‌نامه‌ی ۳/۶۵ متر لحاظ شده‌است. فاکتورهای تعدیل ظرفیت برای رویکردهای تقاطع مانند درصد شیب، درصد وسایل نقلیه‌ی سنگین، محدودیت پارک در تقاطع، عرض خط عبوری، وجود ایستگاه اتوبوس در محدوده‌ی تقاطع و سایر فاکتورهای تعدیل ظرفیت در نرم‌افزار لحاظ شده و ظرفیت هر رویکرد محاسبه گردیده‌است. نرم‌افزار HCS 2000 یک نرم‌افزار تحلیل تقاطع است که بجای محاسبه‌های طولانی برای به دست‌آوردن تأخیر، سطح سرویس، نسبت V/C و ... هر رویکرد و حتی خط عبوری تقاطع به صورت جداگانه، از آن استفاده می‌شود. یکی از مزیت‌های این نرم‌افزار در نظر گرفتن فاکتورهای مختلف (از قبیل درصد شیب، محدوده تقاطع، حجم، حریم ایستگاه اتوبوس و ...) به صورت همزمان در محاسبه تأخیر می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

با استفاده از احجام به دست‌آمده از برداشت‌ها و همچنین زمان سیکل‌های تقاطع، زمان تأخیر هر یک از رویکردهای تقاطعات جداگانه محاسبه شد. تأخیرهای محاسبه شده با استفاده از نرم‌افزار HCS انجام گرفت که در جداول ۶ تا ۱۰ نشان داده شده‌است.

جدول (۶): مشخصات تقاطع وفایی

رویکرد	جنوب	شمال	غرب	شرق
تعداد خط عبوری	۲	۲	۲	۲
ظرفیت اسمی رویکرد	۳۸۰۰	۳۸۰۰	۳۸۰۰	۳۸۰۰
حجم (pcplph)	۳۹۲۵	۷۶۵	۹۴۰	۶۷۵
نسبت V/C	۱/۲۲	۰/۶۸	۰/۸۱	۰/۴۹
تأخیر (s)	۵۲۲	۳۱	۱۰۸	۳۸
سطح سرویس	F	D	F	D
حجم ۱۵ دقیقه ساعت اوج (PHF)	۵۹۱			

جدول (۷): مشخصات تقاطع پل فلزی (شمال)

رویکرد	جنوب	شمال	غرب	شرق
تعداد خط عبوری	۳	۱	۲	۲
ظرفیت اسمی رویکرد	۵۷۰۰	۱۹۰۰	۳۸۰۰	۳۸۰۰
حجم (pcplph)	۴۴۱۵	۱۷۰۸	۱۸۰۶	۱۲۰۴
نسبت V/C	۱/۶۴	۱/۰۲	۰/۵	۰/۳۹
تأخیر(s)	۳۲۸	۱۰۲	۳۲	۴۹
سطح سرویس	F	F	D	D
حجم ۱۵ دقیقه ساعت اوج (PHF)	۱۱۳۷			

جدول (۸): مشخصات تقاطع پل فلزی (جنوب)

رویکرد	جنوب	شمال	غرب	شرق
تعداد خط عبوری	۳	۳	۲	۲
ظرفیت رویکرد	۵۷۰۰	۵۷۰۰	۳۸۰۰	۳۸۰۰
حجم (pcplph)	۴۵۱۱	۱۲۲۵	۱۶۱۶	۴۵۸
نسبت V/C	۱/۸۹	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۲۹
تأخیر(s)	۳۳۳	۸۳	۶۴	۱۶
سطح سرویس	F	E	E	C
حجم ۱۵ دقیقه ساعت اوج (PHF)	۹۱۷			

جدول (۹): مشخصات تقاطع شریعتی

رویکرد	جنوب	شمال	غرب	شرق
تعداد خط عبوری	۲	۲	۱	۱
ظرفیت رویکرد	۳۸۰۰	۳۸۰۰	۱۹۰۰	۱۹۰۰
حجم (pcplph)	۳۲۳۲	۱۹۶۴	۱۳۴۶	۱۱۰۹
نسبت V/C	۱/۱۶	۰/۹۷	۰/۴	۰/۳۲
تأخیر (s)	۲۲۹	۱۶۸	۴۰	۱۱
سطح سرویس	F	F	D	B
حجم ۱۵ دقیقه ساعت اوج (PHF)	۷۵۹			

جدول (۱۰): مشخصات تقاطع شهدای صفه

رویکرد	جنوب	شمال	غرب	شرق
تعداد خط عبوری	۲	۲	۱	۱
ظرفیت رویکرد	۳۸۰۰	۳۸۰۰	۱۹۰۰	۱۹۰۰
حجم(pcvplph)	۳۲۰۱	۱۴۸۹	۴۹۳	۱۰۹۵
نسبت V/C	۱/۲۴	۰/۶۶	۰/۳۵	۰/۶۵
تأخیر(s)	۲۶۱	۵۶	۱۲	۳۴
سطح سرویس	F	E	B	D
حجم ۱۵ دقیقه ساعت اوج (PHF)	۸۸۴			

منبع: یافته‌های نگارندگان، ۱۳۹۸.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به هدف پژوهش که تجزیه و تحلیل تقاطع‌ها با استفاده از نرم‌افزار HCS و یافتن راهکارهایی برای کاهش تأخیرهای اضافی تقاطع‌ها بوده و با توجه به یافته‌های تحقیق در می‌یابیم که در تقاطع وفایی در رویکرد غربی و جنوبی حجم مشاهده‌شده از ظرفیت رویکرد زیادتر بوده که باعث افزایش تأخیر و پایین‌آمدن سطح سرویس این رویکرد شده اما در مابقی رویکردهای تقاطع سطح سرویس قابل قبولی مشاهده می‌شود. در تقاطع پل فلزی (شمال) در دو رویکرد جنوبی و شمال افزایش حجم و تأخیر را مشاهده می‌کنیم که باعث پایین آمدن سطح سرویس تا درجه F برای این دو رویکرد شده است. از دلایل این امر گلوگاه بودن این تقاطع که واصل بین شمال با جنوب شهر به وسیله‌ی پل فلزی و همچین تعداد کم خط عبوری برای رویکرد شمالی می‌باشد. در تقاطع پل فلزی (جنوب) نیز همانند دیگر تقاطع‌ها در رویکرد جنوبی مشکل V/C بزرگتر از یک و افزایش تأخیر را شاهد هستیم که به تبع آن سطح سرویس پایینی را به وجود آورده‌است. البته رویکردهای شمالی و غربی نیز از وضعیت چندان مناسبی برخوردار نیستند و ممکن است در آینده با تأخیرهایی خسته کننده روبرو شوند. در تقاطع شریعتی رویکرد جنوب و غرب مشکل‌ساز است که باز آن هم به خاطر خارج قسمت بالای نسبت V/C می‌باشد و در تقاطع آخر که شهدای صفه نام دارد تنها رویکرد جنوبی مشکل تأخیر و حجم دارد. اگر در تمامی تقاطع‌ها توجه کنیم در می‌یابیم که رویکرد جنوبی تقاطع‌های خیابان حکیم نظامی از حجم بالایی برخوردار هستند که در زمان اوج ترافیک (در این پژوهش اوج صبح۷ الی ۸) ظرفیت تقاطع‌ها جوابگوی

این حجم بالا نمی‌باشد و در ساعات پیک با تأخیرهای زیادی مواجه هستیم. البته این آمارگیری همانطور که گفته شد در زمان پیک صبح انجام شده و وارد نرم‌افزار شده‌است و خروجی‌های موجود به دست آمده‌است؛ با اندکی تأمل درمی‌یابیم که در زمان اوج عصر که سفرها معکوس می‌شوند و به مبدأ خود بازمی‌گردند، در رویکرد شمالی تمامی تقاطع‌ها مشکل تأخیر رویکردهای جنوبی ساعت پیک صبح را نظاره‌گر هستیم..

با توجه به یافته‌های تحقیق و نتایج تجزیه و تحلیل عملکردی، دو نتیجه مهم به شرح ذیل به دست می‌آید:

- مقادیر نسبت‌های V/C برای هر گروه خط عبور و برای کل تقاطع
- میانگین تأخیرهای زمان توقف برای هر گروه خط عبور و رویکرد و برای تقاطع و سطح سرویس متناسب با آن.

نسبت V/C بزرگتر از ۱ نشانه‌ی وضیعتی است که نیازمند اصلاح است. وقتی نسبت بحرانی V/C کمتر از ۱ است ولی تعدادی از گروه‌های خط عبور نسبت‌های بزرگتر از ۱ داشته باشند، معمولاً زمان چراغ سبز به نحو درستی تقسیم نشده است و در نتیجه باید اقدام به تنظیم مجدد زمان مرحله‌بندی موجود نمود.

نسبت بحرانی V/C بزرگتر از ۱ نشان‌دهنده این است که شرایط چراغ راهنمایی و طرح هندسی ظرفیت کافی برای عبور جریان‌های موجود یا پیش بینی‌شده را ندارد. در این وضیعت ممکن است به یکی یا همه اصلاحات ذیل توجه شود:

- تغییرات اساسی در طرح هندسی تقاطع(تعداد و کاربرد خطوط عبور)
- افزایش در مدت زمان چرخه چراغ راهنمایی، اگر زمان چرخه بسیار کوتاه در نظر گرفته شده‌است
- تغییر در طرح مرحله‌بندی چراغ راهنمایی
- هماهنگ‌سازی تقاطع‌هابرای ایجاد تأخیرهای کمتر برای خودروها

از آنجا که تغییرها می‌توانند زیاد باشند، حتی وقتی که نسبت‌های V/C پایین است، معمولاً بررسی دقیق پیش روی مراحل چراغ راهنمایی یا زمان چرخه یا هر دو لازم است. بنابراین علی رغم نداشتن احتمال مشکل ظرفیت، ممکن است تقاطع، دارای تأخیر غیر موجه بالایی باشد. زمانی که نسبت V/C رویکردها بیش از ۱ باشد، وجود تأخیر در سطح موجهی امکان‌پذیر است. تحلیل باید هم نتایج تحلیل ظرفیت و هم نتایج تحلیل LOS را برای حصول تصویر کاملی از عملکردهای حال و آینده داشته‌باشد (جوتین خیستی؛ و کنت لال، ترجمه: صفارزاده، ۱۳۹۰).

طراحی هندسی یک تقاطع، مستلزم چندین تصمیم مهم است که در بردارنده تعداد کاربرد خطوط عبور در هر رویکرد است. رهنمودهای ذیل در این زمینه مناسب می‌باشد:

- خطوط عبور گردش به چپ برای جا دادن حرکت‌های گردش به چپ متعدد بدون اینکه برای وسایل نقلیه ی عبوری و گردش به راست اختلالی ایجاد کنند در نظر گرفته‌شود.
- جایی که مرحله‌بندی گردش به چپ کاملاً حفاظت شده در نظر گرفته می‌شود، یک خط عبور گردش به چپ اختصاصی باید در نظر گرفته‌شود.
- وقتی که فضا اجازه می‌دهد و در جایی که حجم گردش به چپ 100 veh/hr فراتر رود، خط عبور گردش به چپ باید در نظر گرفته‌شود.
- جایی که حجم گردش به چپ از 300 veh/hr فراتر رود، دو خط عبور گردش به چپ باید در نظر گرفته شود.

- طول خط ذخیره در نزدیکی تقاطع برای کنترل ترافیک گردشی بدون کاهش ایمنی یا ظرفیت رویکرد باید کافی باشد.
- وقتی حجم گردش به راست از 300 veh/hr بیشتر می‌شود، خط عبور گردش به راست اختصاصی باید منظور شود.
- تعداد خطوط عبور در هر رویکرد به تغییرات پارامترها، از جمله طرح چراغ راهنمایی بستگی دارد. معمولاً خطوط عبور راه اصلی باید به تعداد کافی در نظر گرفته شود به طوری که کل حجم مسیر مستقیم به علاوه حجم گردش به راست (به علاوه حجم گردش به چپ در صورت وجود) 450 veh/hr/ln فراتر نرود.
- جایی که عرض‌های خط عبور مشخص نیست، عرض خط عبور استاندارد 3.65 m باید فرض شود مگر اینکه محدودیت‌های مشخصی ازاین کار جلوگیری کند.
- وضعیت‌های پارکینگ باید مطابق با شیوه کار محلی در منطقه در نظر گرفته‌شود.
- برای تجزیه و تحلیل، در حالی که اطلاعاتی وجود ندارد نباید اثر پارکینگ و ایستگاه‌های اتوبوس محلی را در نظر گرفت.
- قابل انتظار است که به کار گرفتن نوع کامپیوتری روش در اکثر کاربردهای عملی صورت‌پذیرد. به دلیل ماهیت پر از جزئیات فرآیند(همانطور که در این پژوهش ازاین روش استفاده شده‌است)، استفاده از برگه‌های کار بسیار زمان‌گیر خواهد بود که در این پژوهش این امر لحاظ شده‌است (جوتین خیستی؛ و کنت لال، ترجمه: صفارزاده، ۱۳۹۰).
- در آخر به این نتیجه می‌توان اشاره کرد که تجزیه و تحلیل علمی و اصولی تقاطع‌ها (اعم از کم حجم یا پر حجم) می‌تواند در عملکرد آن‌ها تأیر بسزایی گذاشته و با مدیریت اندک به خروجی‌های بزرگی دست یافت.
- این پژوهش با تحقیقات انجام شده در زمینه تأخیر تقاطع این مهم را بررسی کرده که تحقیقات گذشته در زمینه کاهش تأخیرهای تقاطع‌ها در شرایط مختلف، تقاطع را از روش‌های گوناگون تحلیل و سپس به ارائه راهکارها پرداخته‌اند، اما پژوهش حاضر فارغ از شرایط تقاطع اعم از حجم و ظرفیت و... به تحلیل آن پرداخته و در آخر راهکارهای خود را ارائه نموده‌است.

محدودیت‌های پژوهش

از محدودیت‌های پژوهش می‌توان به زمان و هزینه زیاد برای جمع‌آوری اطلاعات حجم و دیگر مشخصات تقاطع‌ها اشاره کرد.

منابع

– امراللهی زرندی، منصور؛ و سیدحسینی، سیدمحمد. (۱۳۸۹). «توسعه روشی جهت کاهش تأخیر و بهبود سطح سرویس تقاطع های چراغدار پیش زمان‌بندی شده با استفاده از آنالیز حساسیت». *فصلنامه علمی ترویجی راهور*، سال ۸، شماره ۱۳، ۲۱ تا ۳۸.

– انصاری‌یار، علیرضا؛ دانشور، دانا؛ مظفری،حمید؛ یزدانی، علیرضا؛ اسفیدواجانی، و آذین، بهار. (۱۳۹۶). «بررسی آثار ایجاد موج سبز بر کاهش زمان سفر وسایل نقلیه در معابر اداری تقاطعات چراغدار متوالی (مطالعه موردی: خیابان ثانی محله نارمک تهران)». هفدهمین *کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک*.

– جمشیدی، ا. (۱۳۹۰). «*ساماندهی خیابان حکیم نظامی شهر اصفهان*». پایان‌نامه کارشناسی حمل و نقل و ترافیک. دانشگاه جامع علمی کاربردی واحد نجف آباد.

– صفارزاده، محمود (۱۳۹۰)، «*مهندسی ترابری و ترافیک*». نویسنده: جوتین خیستی، سی؛ و کنت لال، بی. جلد دوم. انتشارات: دانشگاه تربیت مدرس.

– *تقاطع‌های همسطح شهری*. (۱۳۷۶). «*توصیه‌ها و معیارهای فنی، معاونت امور فنی*»، دفتر امورفنی و تدوین معیارها. جلد اول.

–رضایی، محسن؛ رحمتی، یلدا؛ حاجی‌وثوق، شقایق؛ قریشی، بنیامین؛ (۱۳۹۳). «محاسبه تأخیر در تقاطع های چراغدار از دو روش HCM-2000 و روش ماشین سیار». *چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک*.

– صفارزاده، محمود. (۱۳۸۱). «*مهندسی ترافیک و ترابری*». جلد دوم. انتشارات: دانشگاه تربیت مدرس.

- Chen, X, Zhang, Y, & 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*, 342-347.

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

- Ji, Y., Hu, B., Hill, G., Guo, W., Blythe, P., & Gao, L. (2016) "Signal coordination scheme based on traffic emission", *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 10, No. 2, 89-96.

-Kang, Y. (2000). "*Delay, Stop and Queue Estimation for Uniform and Random Traffic Arrivals at Fixed-Time Signalized Intersections*". Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, USA.

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

- Nyantakyi, E. K., Adams, C. A., Borkloe, J. K., & 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, 2566-2590.

- Rakha, H., Medina, A., Sin, H., Dion, F., Van Aerde, M., & Jenq, J. (2000). "Traffic signal coordination across jurisdictional boundaries: Field evaluation of efficiency, energy, environmental, and safety impacts", Transportation Research Record. *Journal of the Transportation Research Board*, No. 1727, 42-51.

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

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