فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و دوم، شماره ۹۱، زمستان ۱۴۰۱، ص. ۷۰-۵۷

ارزیابی تأثیر دستگاه‌های کنترلر هوشمند بر شاخص‌های ترافیکی در تقاطع‌های چراغ‌دار

(مطالعه موردی: شهر خوی)

هادی قویدل (مسئول مکاتبات)، کارشناس ارشد عمران – حمل‌ونقل، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

شهریار افندی زاده، دکتری برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

مهدی زرین‌کمر، کارشناس ارشد عمران-مدیریت ساخت، شهرداری تهران، ایران

E-mail: Hadi.ghavidel@yahoo.com

چکیده

چراغ های راهنمایی از وسایل مهم برقراری نظم، ایمنی و کنترل جریان ترافیک می باشند. هدف از این پژوهش بررسی اثر هوشمند سازی چراغ راهنمایی تقاطع بر شاخص‌های جریان ترافیکی است. برای این منظور به کالیبراسیون نرم‌افزار شبیه ساز تقاطع Synchro پرداخته شد و سپس شرایط تقاطع قبل و بعد از هوشمند سازی در آن شبیه سازی شد و به مقایسه نتایج پرداخته شد. رابطه معناداری بین بهبود زمان تأخیر ناشی از هوشمندسازی چراغ با طول سیکل، حجم تردد و زمان تأخیر (چراغ هوشمند و غیرهوشمند) یافته نشد. عدم هماهنگی و همخوانی سیکل چراغ راهنمایی با حجم تردد عامل اصلی ایجاد تأخیر در حالت غیرهوشمند بود. نقاط ماکزیمم بهبود زمان تأخیر در محل‌های تغییر سیکل در چراغ غیرهوشمند بود. مقادیر بهبود زمان نیز متناسب با مقدار تغییر تغییرات سیکل چراغ هوشمند بود. روند تغییرات سیکل در چراغ هوشمند متناسب با تغییرات بهبود زمان تأخیر بود. بهبود زمان تأخیر از توزیع نرمال پیروی نمی‌کرد و بیشتر به سمت اعداد پایین‌تر تمایل داشت.

واژه‌های کلیدی: تقاطع چراغ‌دار، هوشمندسازی، تأخیر

۱. مقدمه و ادبیات پژوهش

نصب چراغ‌های راهنمایی در تقاطع‌ها با هدف اولویت‌بندی و اعطای حقوق برابر به کلیه وسایل نقلیه، مسائل عمده‌ای را در پی دارد. مکان‌هایی که سطح و حریم تقاطع نامیده می‌شوند، محل عبور چندین استفاده‌کنندگان از وسایل نقلیه و عابران پیاده با تنوعی از حرکات هستند. بدیهی است که امکان عبور هم‌زمان کلیه حرکات در شرایطی که حجم رفت‌وآمد زیاد است، به‌راحتی امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین در این‌گونه از تقاطع‌ها همیشه دسته‌ای از وسایل نقلیه در انتظار اخذ خدمت از تقاطع هستند. درنتیجه 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. بدون هیچ تردیدی تأخیر، مهم‌ترین معیار عملکرد حرکت‌های ترافیکی یک تقاطع است. تأخیر سبب افزایش مصرف سوخت، آلودگی هوا، افزایش هزینه‌ها شامل هزینه عملیاتی وسایل نقلیه به‌اضافه 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 ازدست‌رفته‌ی خارج از کنترل رانندگان است که ناشی از دو عامل اصلی است. اول، تأخیر عملیاتی که درنتیجه معاوضه و برخورد بین جریان‌های مختلف ترافیک به وجود می‌آید و دوم، تأخیر ثابتی که به علت سیستم کنترل چراغ راهنمایی بر وسایل نقلیه تحمیل می‌گردد.

تقاطع‌های چراغ‌دار به‌عنوان بخشی کلیدی از سیستم حمل‌ونقل و ترافیک، تنظیم‌کننده جریان ترافیک است. ترافیک عبوری از تقاطع چراغ‌دار به علت مواجه‌شدن با چراغ‌قرمز، متحمل زمان تأخیر می‌شوند. تأخیر تحمیل‌شده براثر عملکرد تقاطع‌های چراغ‌دار باعث افزایش زمان سفر در شبکه معابر، کاهش سرعت، قابلیت اطمینان و بهره‌وری اقتصادی سیستم حمل‌ونقل می‌گردد. همچنین افزایش تأخیر باعث تنزل وضعیت محیط‌زیستی به سبب افزایش آلودگی هوا و آلودگی صوتی می‌گردد. هدف اصلی این تحقیق بررسی اثر هوشمندسازی چراغ راهنمایی تقاطع بر متغیرهای جریان ترافیک و به‌ویژه تأخیر است. به‌عبارت‌دیگر هدف آن است که بررسی شود هوشمندسازی چراغ راهنمایی چگونه و تا چه میزان شرایط ترافیکی تقاطع را بهبود می‌بخشد. بازرسی و نگهداری از طرح‌های زمان‌بندی مناسب و مؤثر و ایمنی چراغ راهنمایی، یک بخش مهم از وظایف هر سازمان حمل‌ونقلی در قبال کاربران وسایل نقلیه است. از وقتی‌که هزینه‌های سوخت و اتلاف زمان بسیار بالاتر رفته است، بحث بهینه‌سازی این زمان‌بندی‌ها بیشتر موردتوجه قرار می‌گیرد. تحقیقات نشان می‌دهد که به ازای هر ۱ دلار هزینه کردن یک سازمان حمل‌ونقل برای بهبود و توسعه‌ی زمان‌بندی‌های چراغ راهنمایی، حدوداً ٤٠ دلار به کاربران راه سود می‌رساند. توسعه و بهبود زمان‌بندی‌های قدیمی در مناطق گسترده‌ی شهری، شلوغی‌ها و تراکم‌های نامناسب را اصلاح می‌کند و شرایط ترافیکی روان و آرامی را ایجاد می‌نماید. بهترین کار برای ارزیابی چراغ راهنمایی و به‌منظور بهینه‌سازی شرایط ترافیکی، استفاده از برنامه‌های نرم‌افزاری زمان‌بندی چراغ است که تولید و توسعه داده شده‌اند. کومالا[1] و همکاران در سال ۲۰۱٦ به بررسی رابطه زمان تأخیر تقاطع چراغ‌دار در شهر آدیس‌آبابا، اتیوپی، با متغیرهای دیگر مانند تراکم و سطح سرویس پرداختند. داده‌های موردنیاز عبارت بودند از: طرح هندسی، داده‌های مشخصات چراغ راهنمایی، داده‌های جریان وسایل نقلیه ترافیکی و داده‌های عابر پیاده در ساعات اوج. آنها دریافتند که بهبود زمان‌بندی و فازبندی تقاطع توانسته است تأخیر برای هر وسیله نقلیه را از ۵۸ تا ۳۰ (تقریباً تا ٤٨ درصد) کاهش دهد. اندروف[2] و لورنتس[3] در سال ۲۰۱۸ با مدلسازی یک تقاطع چراغ‌دار به ارزیابی اثربخشی کنترل تطبیقی در موقعیت‌های مختلف ترافیکی، ازجمله وجود یا عدم وجود ترافیک عابر پیاده پرداختند. این مدل بر اساس یک روش عددی با استفاده از روش مونت کارلو بود. یافته شد که استفاده از کنترل تطبیقی چراغ راهنمایی می‌تواند تأخیر در تقاطع را کاهش دهد. البته این مسئله هنگامی‌که عابران در تقاطع در

نظر گرفته می‌شدند کمتر نمود پیدا می‌کرد. نیک‌نفس و آرمون در سال ۱۳۹٤ به هوشمند سازی تقاطع با چراغ راهنمایی با استفاده از روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان پرداختند.

برای این منظور، بخشی از شهر کرمان شبیه‌سازی شد. پس از تکمیل مدل یک‌روزه شبیه‌سازی ترافیک شهر، نسبت به مقایسه پارامترهای سیستم زمان ثابت و روش موردپژوهش (الگوریتم مورچگان) اقدام شد. درنهایت، مشخص گردید روش موردپژوهش نسبت به سیستم‌های تجاری همچون SCATS و SCOOT قابلیت‌های بیشتری در مدیریت و کنترل ترافیک داشته (۱۸٪ بهتر بود) و در صورت پیاده‌سازی، حرکت ترافیک در شهر روان‌تر خواهد شد. برگ گل و همکاران در سال ۱۳۹٤ با استفاده از محیط برنامه‌نویسی MATLAB و داده‌های موجود در یک تقاطع در شهر رشت، آنالیزهای ترافیکی برای بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی بر اساس الگوریتم سلول ای. کولی را شبیه‌سازی کردند. همچنین از نرم‌افزار Synchro برای کاهش تأخیر خودروها در تقاطع موردنظر بهره بردند. تأخیر تقاطع در شرایط کنونی ۷۸ ثانیه بود درحالی‌که استفاده از روش جستجوی باکتریایی و سینکرو، تأخیر را به ۱۱ و ۲۳ ثانیه کاهش داد که نشان از کارایی روش پیشنهادی داشت.

الیاسی و همکاران در سال ۱٤۰۰، با تعیین رفتار رانندگان و اعمال پارامترهای بومی در نرم‌افزار ایمسان، تلاش کردند نزدیک‌ترین شبیه‌سازی به واقعیت در قالب مطالعه موردی میدان ۱۳ آبان شهر همدان ارائه شود. پس از تعیین پارامترهای کالیبراسیون، اعتبارسنجی انجام شد که اختلاف حدوداً ۲۱ درصدی با وضع موجود مشاهده شد. پارامترهایی که در این تحقیق تحلیل شدند شامل: الف-گام زمانی به هنگام کردن پارامترها، ب- زمان عکس‌العمل راننده، ج- پارامترهای مختص رفتار رانندگان هنگام سبقت‌گیری. رفتار رانندگان هنگام سبقت گرفتن د- خصوصیات و ویژگی‌های وسایل نقلیه (عبارت‌اند از: طول وسیله نقلیه، عرض وسیله نقلیه، حداکثر شتاب کاهشی) ه- حداقل فاصله مابین وسایل نقلیه و-مدت زمان رعایت حق تقدم، ز- حداقل سرفاصله وسایل نقلیه. مهدوی و ممدوحی در پژوهشی در سال ۱۳۹۸ به تحلیل حساسیت مشخصات جریان ترافیک در مقابل تغییرات حجم ترافیک برای دو حالت چراغ راهنمایی عادی و چراغ راهنمایی هوشمند پرداختند. بدین منظور از داده‌های ترافیکی برداشت‌شده در دو نوبت عصر و ظهر خیابان ماهان شهر کرج استفاده کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان دادند که هوشمند سازی چراغ راهنمایی به‌طور میانگین باعث کاهش ۲٤,۵ درصدی زمان تأخیر، شد. درنهایت با توجه به تحلیل حساسیت مشخص شد که تغییرات مشخصات ترافیکی برای چراغ راهنمایی عادی در مقابل تغییرات حجم ترافیک به‌صورت یک خط است درحالی‌که تغییرات مشخصات ترافیکی برای چراغ راهنمایی هوشمند متشکل از دو خط با شیب‌های متفاوت است.

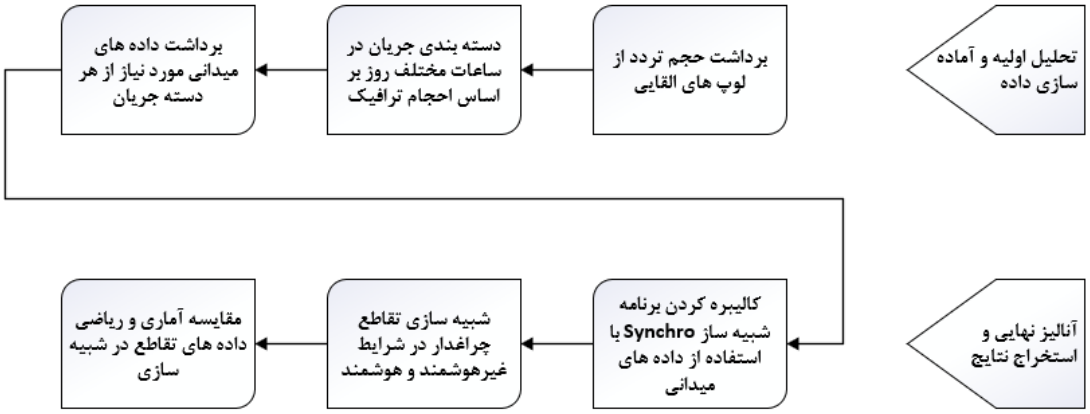
آقاجانی و همکاران در سال ۱۳۹٤ به بررسی نقش پارامترهای مختلف در طراحی تقاطع‌ها با استفاده از کالیبراسیون نرم‌افزار AIMSUN و داده‌های ترافیکی دو تقاطع در شهر کرج پرداختند. مشاهده شد استفاده از چراغ هوشمند و خط عبوری انحصاری گردش‌به‌چپ حالت بهتر و بهینه برای این تقاطع بود. تخمین تراکم ترافیک و طبقه‌بندی وسایل نقلیه را نیز می‌توان با استفاده از سیستم‌های نظارت تصویری به دست آورد. کانوگو[٤] و همکاران در سال ۲۰۱٤ روشی را برای استفاده از ویدیوی زنده دوربین‌ها در تقاطع‌های ترافیکی برای محاسبه تراکم ترافیک در زمان واقعی با استفاده از پردازش ویدیو و تصویر ارائه کردند. نتایج حاکی از آن بود که هوشمندسازی تقاطع با استفاده از سیستم پیشنهادی موجب افزایش ۳۵٪ عبور خودروها شد و زمان تأخیر را متناسب با آن کاهش داد. نظارات و زارع در سال ۱۳۹۹ به مقایسه سه روش هوش مصنوعی DQN، Q-Learning و **A3C**در زمینه بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی پرداختند. هدف آنها یافتن یک روش سریع‌تر و بهتر برای زمان‌بندی بین گزینه‌ها بود. به همین علت آنها از داده‌های جریان ترافیک واقعی استفاده نکردند و فقط از طرح هندسی تقاطع سلمان فارسی- چمران در شهر یزد استفاده کردند تا یک تقاطع

واقعی را مورد آزمون قرار دهند. با تحلیل عملکرد سناریوها درنهایت سناریو سوم با بهره‌گیری از الگوریتم یادگیری عمیق، A3C منجر به کاهش ۹۱ درصدی زمان تأخیر نسبت به روش Q-Learning و ۲۹ درصدی کاهش زمان تأخیر در مقایسه با روش DQN گردید. زرندی و سیدحسینی در سال ۱۳۹۰ به بررسی راهکاری جهت کاهش زمان تأخیر در تقاطع‌ها پرداختند. آنها تلاش کردند تا حد امکان شرایط ترافیکی و رانندگی در ایران (شهر تهران) در نرم‌افزار Synchro شبیه‌سازی کنند و با استفاده از آنالیز حساسیت از بین آیین‌نامه‌های طراحی چراغ که در ایران بیشتر مورداستفاده قرار می‌گیرند، مناسب‌ترین روش را شناسایی کنند. روابطی که از بهبود نسبی رابطه وبستر در محاسبه طول چرخه به دست آمدند نشان دادند که انتخاب مناسب این سیکل می‌تواند تا حدی به بهبود سطح سرویس در تقاطع‌ها کمک کند یکی دیگر از موارد قابل‌ذکر رابطه ارائه‌شده توسط آیین‌نامه کشور ایران در محاسبه شدت‌جریان اشباع است که تفاوت زیادی با مقادیر به‌دست‌آمده از روابط دیگر داشت. دیواندری و امرادی در سال ۱۳۹۶ در مطالعه‌ای به دنبال ارتباط بین میزان تأخیر در چراغ‌های راهنمایی و ویژگی‌های مربوط به جریان ترافیک است. در این تحقیق تقاطع‌های خیابان ولی‌عصر (عج) تهران موردمطالعه قرار گرفتند. آنها بیان کردند که درنتیجه افزایش شمار فازهای چراغ‌های راهنمایی در چراغ‌های راهنمایی نمی‌تواند صرفاً نشان‌دهنده هماهنگی بیشتر حرکت خودروها و ظرفیت بالای تقاطع باشد بلکه با افزایش شمار فازهای چراغ در چراغ‌های راهنمایی، میزان تأخیرها افزایش می‌یابد. پریتی[۵] و همکاران در سال ۲۰۱۶ به اصلاح مدل تأخیر وبستر برای مطابقت با شرایط ترافیک جاده‌ای موجود در هند پرداختند. زمان‌بندی چراغ و جزئیات هندسی مانند عرض نزدیک، شعاع چرخش به‌صورت دستی از میدان جمع‌آوری شد. ضرایب اصلاح با توجه به عرض معبر و درصد وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک برای تقاطع‌ها متفاوت یافته شد. سوفیا[۶] و همکاران در سال ۲۰۱۴ به توسعه یک مدل تجربی برای پیش‌بینی تأخیر در تقاطع‌های چراغ‌دار به‌عنوان تابعی از ترافیک و ویژگی‌های هندسی پرداختند. مدل رگرسیون، توسعه‌یافته برای تخمین تأخیر، همبستگی خوبی را با مقادیر میدان نشان می‌داد. نسبت عرض کل مسیر خروجی تقاطع برای ترافیکی که مستقیم حرکت می‌کند به عرض کل گروه‌های خطی رویکرد خروجی مشابه در همان فاز حرکت می‌کنند، بر تأخیر تأثیر می‌گذاشت. ذکایی و مظلومی در سال ۱۳۸۳ با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از چند تقاطع چراغ‌دار شهر تهران، دو تابع زمان تأخیر برای حرکت‌های مختلف در تقاطع پیشنهاد کردند که نه‌تنها تابعی از زمان‌بندی چراغ و حجم ترافیک مربـوط بـه ورودی موردنظر بود، بلکه به حرکت‌های هم‌فاز متداخل با حرکت موردنظر نیز وابسته است. آن‌ها استدلال کردند که دلیل آن، این است که حجم زیاد ترافیک در این ورودی‌ها باعث کاهش تغییرات زمان سبز در آنها می‌شد.

در بخش بعدی روش تحقیق، متغیرهای استفاده‌شده، مدل مورداستفاده در این پژوهش، نرم‌افزار مورداستفاده، روش آمارگیری و آزمون‌های انجام‌شده جهت اعتبار سنجی توضیح داده می‌شود. در ادامه تحلیل آمارهای جمع‌آوری‌شده، مدل ساخته‌شده، نتایج، تحلیل‌ها و تفسیرها ارائه می‌شود. درنهایت خلاصه‌ای از تمام یافته‌ها و دست آوردهای تحقیق جاری ارائه می‌شود.

۲. روش پژوهش

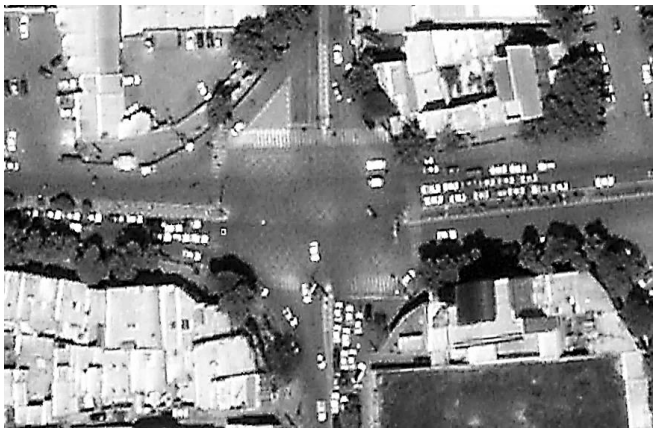
در این بخش به بیان روش تحقیق و مراحل انجام آن پرداخته می شود. فلوچارت شکل ۱ مراحل تحقیق را به‌صورت خلاصه بیان می‌کند تا بتوان یک دیدگاه کلی نسبت به روش‌شناسی تحقیق ارائه کرد. به‌طورکلی می‌توان مراحل تحلیل را در دو دسته تقسیم‌بندی نمود. در وهله اول به تحلیل‌های اولیه به‌منظور آماده‌سازی داده پرداخته می‌شود. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها در فاز دوم روش‌شناسی استفاده می‌شود. در فاز دوم تحقیق، شبیه‌سازی شرایط هوشمند و غیرهوشمند تقاطع در نرم‌افزار انجام می‌شود و نتایج حاصل از آن تحلیل و ارزیابی می‌گردد.



شکل ۱. فلوچارت روش‌شناسی تحقیق

در اینجا داده‌های حجم ورودی به تقاطع از طریق لوپ‌ها القایی[۷] برداشت می‌شود. لوپ‌های القایی می‌توانند به‌صورت پیوسته حجم عبوری و سطح اشغال روی خود را محاسبه و ثبت کنند. ازاین‌رو می‌توان حجم عبوری در تمام ساعات روز را در اختیار داشت. شایان‌ذکر است که لوپ‌های القایی حجم ورودی از هر رویکرد به تقاطع را می‌توانند ثبت کنند و نمی‌توانند تفکیکی از گردش‌ها ارائه کنند.

در این پژوهش یک تقاطع درون‌شهری با چهار رویکرد در شهر خوی موردبررسی قرار می‌گیرد. تقاطع موردنظر باید در طی شبانه‌روز تردد احجام مختلفی را داشته باشد تا بتوان داده‌های متنوعی برای مطالعه از آن استخراج نمود. از جهت دیگر باید دسترسی به احجام آن از طریق سازمان‌ها و ارگان‌های مربوطه میسر باشد و مجهز به امکانات شمارش ترافیک، مانند لوپ القایی یا دوربین‌های نظارتی باشد تا داده‌های آن قابل‌برداشت باشد. همین امر موجب گشت که بعد از هماهنگی‌ها و مکاتبات انجام‌شده با متخصصین حمل‌ونقل شهر خوی، تقاطع خیابان شریعتی و ۲۲ بهمن که یکی از تقاطع‌های مهم و مرکزی شهر خوی است انتخاب شود. این تقاطع در هسته مرکزی شهر قرار دارد و یکی از تقاطع‌های با تردد بالا و اصلی شهر است. همین امر موجب می‌گردد که این تقاطع احجام مختلفی از تردد را در طی ساعات مختلف روز در بر داشته باشد. شکل ۲ طرح هندسی تقاطع را نشان می‌دهد. یکی از عامل‌های مهم تأثیرگذار بر چرخه تقاطع تعداد فاز چرخه است. زمان‌بندی چراغ راهنمایی تقاطع شامل ٤ فاز می‌شود. زمان زرد و تمام‌قرمز، به ترتیب، ۳ و ۱ ثانیه انتخاب شده بودند. انتخاب ٤ فاز به این معناست که حجم رویکردهای تقاطع قابل‌توجه بوده و این تقاطع در ناحیه مرکزی شهر قرار دارد.

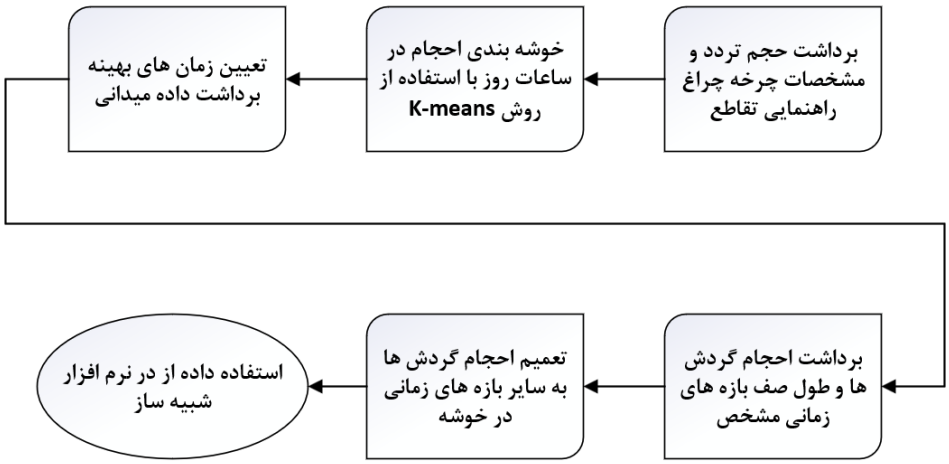


شکل ۲. تقاطع شریعتی و ۲۲ بهمن

انتظار می‌رود که بتوان جریان ترافیک در طی ساعات مختلف روز را بر اساس حجم آن‌ها دسته‌بندی نمود؛ یعنی می‌توان گفت که حجم ترافیک در بین بازه ساعاتی از روز مشابه یکدیگر است و تغییرات کمی دارد. برای تعیین دسته‌بندی حجم ترافیک در ساعات مختلف، باید از روش‌های خوشه‌بندی یا کلاسترینگ استفاده نمود. برای این منظور از روش کلاسترینگ K-means یا K-میانگین استفاده می‌شود تا بتوان به‌صورت ریاضی و نه صرفاً با قضاوت مهندسی، وضعیت حجم در طی شبانه‌روز را دسته‌بندی و تحلیل نمود. برای استفاده از روش K-means تعداد کلاسترینگ‌ها بررسی می‌شود و مناسب‌ترین تعداد با توجه به شرایط ترافیکی انتخاب می‌گردد.

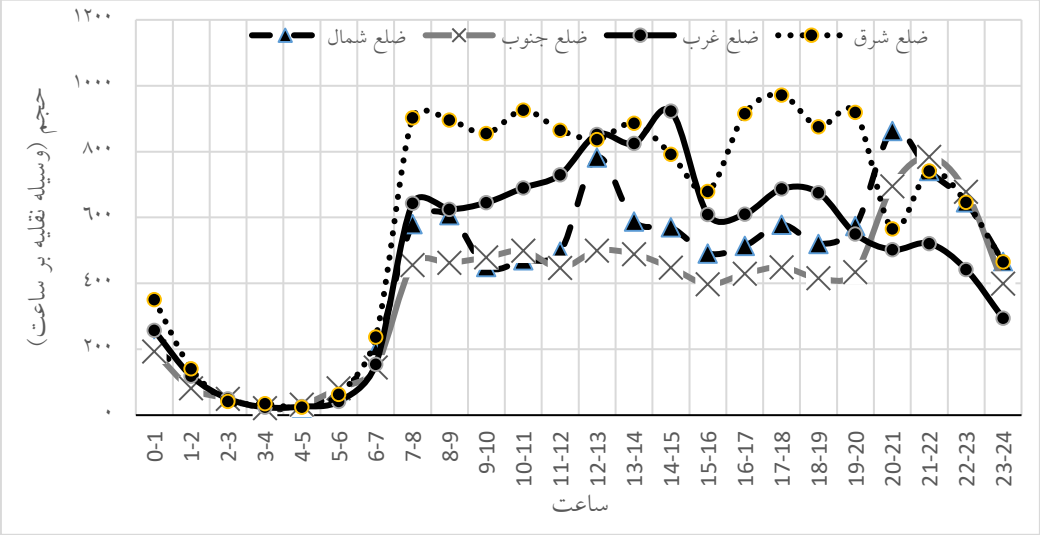
همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، علاوه بر داده‌های به‌دست‌آمده از لوپ‌های القایی نیاز به برداشت میدانی داده‌ها نیز است. حال که خوشه‌بندی جریان ترافیکی و احجام آن انجام شده است، می توان به‌جای برداشت میدانی داده‌ها از کل روز، از برخی زمان‌ها برداشت میدانی انجام داد؛ زیرا که احجام و جریان ترافیکی در ساعات مختلف روز می‌تواند مشابه یکدیگر باشد. به‌عبارت‌دیگر به نمونه‌برداری دیتای میدانی در ساعات مشخص پرداخته می شود و نتایج آن به ساعات مشابه آن تعمیم داده می‌شود. به این صورت می‌توان گفت که داده‌های میدانی موردنیاز در تمام روز در دسترس خواهد بود. در این پژوهش به‌منظور برداشت داده‌های میدانی، میانه احجام در یک خوشه انتخاب می‌شوند و ۵ دقیقه داده برداشت می‌شود.

با توجه به اینکه فرآیند و روند جمع‌آوری داده‌ها در این تحقیق قابل‌توجه است و همچنین داده‌ها نیازمند پردازش اولیه هستند تا بتوان از آن‌ها بهره برد، اقدامات و مراحل جمع‌آوری و تحلیل اولیه داده‌ها به‌صورت خلاصه در فلوچارت شکل ۳ آورده شده است.



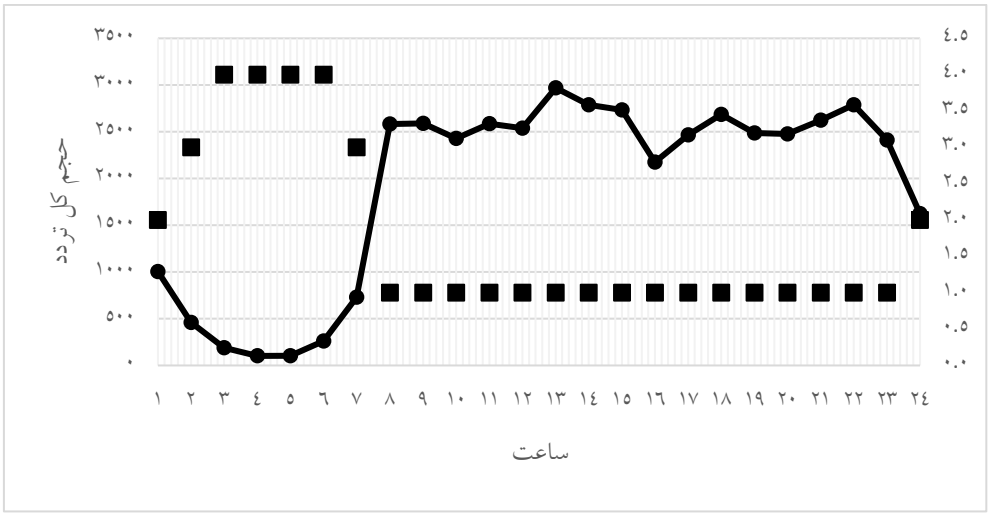
شکل ۳. فلوچارت برداشت و تحلیل اولیه داده‌ها

شکل ٤ حجم رویکردهای تقاطع در طی ٢٤ ساعت را به تفکیک یک ساعت نشان می‌دهد که از لوپ‌های القایی نصب‌شده در خطوط رویکردها استحصال شده‌اند.



شکل ٤. حجم وسیله نقلیه در ضلع‌های مختلف تقاطع در ساعات مختلف

برای استفاده از روش K-means باید تعداد خوشه مشخص باشد. چهار خوشه معرف ترافیک شبانگاهی، صبح گاهی، ظهر گاهی و عصرگاهی در نظر گرفته شد. شکل ٥ تعلق هر ساعت به هر خوشه را نشان می‌دهد. خط پیوسته که همان مجموع احجام تردد است و نقاط سیاه‌رنگ نشان‌دهنده شماره خوشه است که مقادیر آن همواره بین ١ تا ٤ و عدد صحیح است.

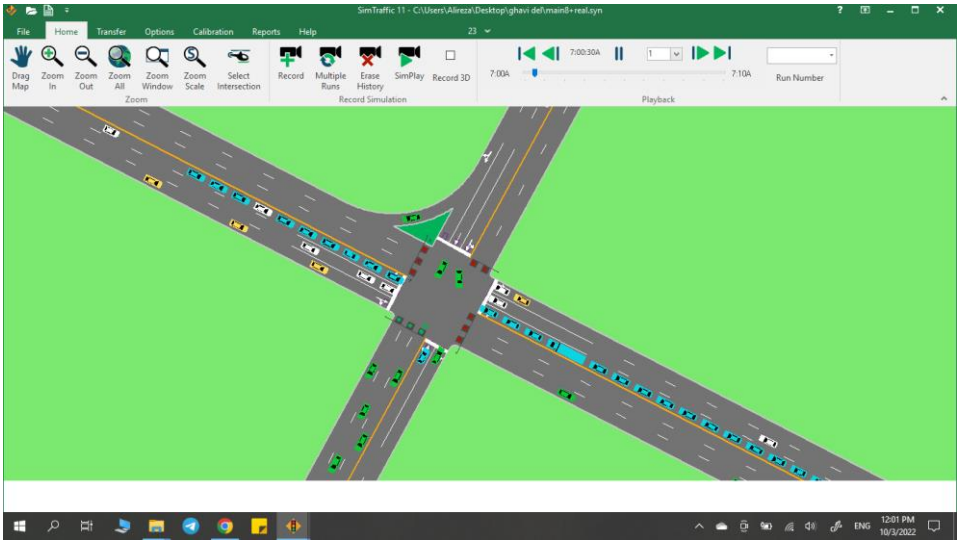


شکل ٥. خوشه متناظر ساعات مختلف

اکنون‌که ساعات مختلف جریان ترافیک خوشه‌بندی شده‌اند باید داده‌های میدانی در این خوشه‌ها برداشت شود تا بتوان به کالیبراسیون نرم‌افزار پرداخت. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد از هر خوشه ٥ دقیقه داده برداشت می‌شود که شامل زمان‌بندی چراغ راهنمایی، طول صف، حجم خودروهای وارده به رویکرد و حجم خودروهای عبور کرده از تقاطع از رویکرد در زمان سبز (به تفکیک جهت) می‌شود. برای برداشت داده‌ها از فیلم‌برداری و آماربرداری در محل استفاده شد. داده‌های حجم و طول صف از طریق برداشت با دوربین از روی ساختمان و همچنین پهباد استفاده شد. شکل ٦ نمونه‌ای از فیلم گرفته‌شده با پهباد را نشان می‌دهد.

شکل ٦. نمونه تصویر برداشت‌شده با پهپاد

اکنون باید داده‌های جمع‌آوری‌شده در نرم‌افزار شبیه‌ساز Synchro وارد شود. برای استفاده از نرم‌افزار باید آن را کالیبره کرد. به‌منظور کالیبره کردن داده‌های تردد به تفکیک نوع حرکت به نرم‌افزار وارد شد و زمان‌بندی و فازبندی وضع موجود وارد نرم‌افزار شد. سپس طول صف بر اساس تعداد وسیله نقلیه استخراج شد. این طول صف با طول صف واقعی داده‌های متناظر آن مقایسه شد. حال با تغییر در پارامترهای نرم‌افزار تلاش شد تا این طول صف به‌دست‌آمده از نرم‌افزار به مقدار طول صف واقعی نزدیک شود. اگر طول صف به‌دست‌آمده از شبیه‌ساز ۱۵ درصد با واقعیت اختلاف داشت، کالیبراسیون نرم‌افزار پذیرفته می‌شد. این آستانه پذیرفته شد زیرا نمی‌توان انتظار داشت که نرم‌افزار دقیقاً نتایج حاصل از واقعیت را ارائه دهد و همواره اختلافاتی وجود دارد که ناشی از عوامل و شرایطی است که نمی‌توان تمام آن‌ها را در نظر گرفت. نمونه طول صف برداشت شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷. طول صف در نرم‌افزار Synchro

۳. مقایسه تأخیر وسایل نقلیه قبل و بعد از هوشمندسازی

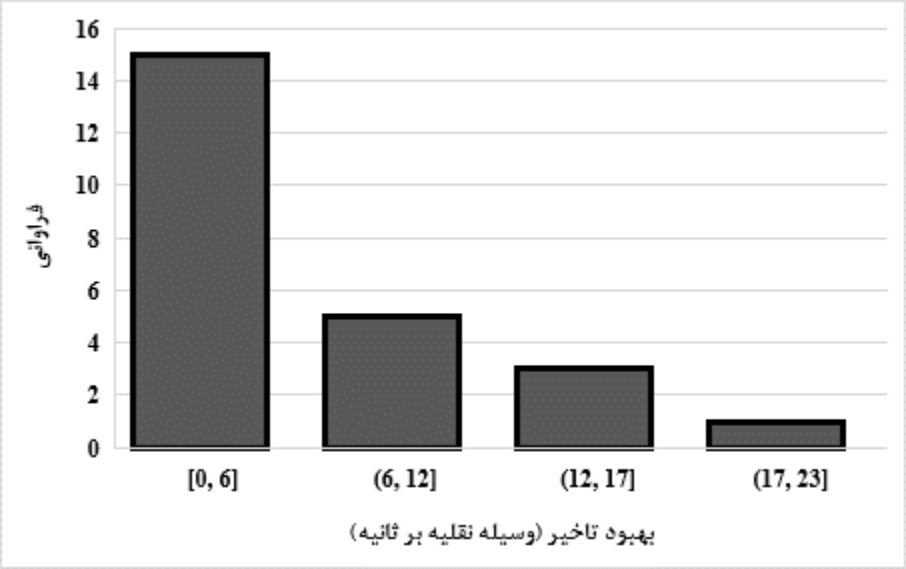
حال که نرم‌افزار کالیبره شده است می‌توان از خروجی‌های آن برای بررسی شرایط جریان ترافیک قبل و بعد از هوشمندسازی بهره برد. به این منظور احجام تردد در ساعات مختلف شبانه‌روز در آن وارد می‌شود و زمان تأخیر وسایل نقلیه از آن برداشت می شود. برای برداشت زمان تأخیر در تقاطع، ۲٤ مدل در سینکرو ساخته شد که طرح هندسی تقاطع در آن‌ها ثابت و فقط احجام برداشت‌شده متناظر ساعات مختلف در آن‌ها وارد شد. هر مدل یک بار در حالت هوشمند و یک بار در حالت غیرهوشمند اجرا و تحلیل شد. به این صورت ٤۸ حالت از تقاطع ساخته شد. در حالت غیرهوشمند احجام تردد و همچنین سیکل، فازبندی و زمان‌بندی تقاطع در نرم‌افزار وارد شد و فقط زمان تأخیر برداشت شد. یکی از مسائل مهم در مقایسه نتایج هوشمند سازی، چگونگی محاسبه طول چرخه و زمان‌بندی تقاطع قبل در حالت غیرهوشمند است. با بررسی‌ها و مکاتبات انجام‌شده با بخش ترافیک شهرداری خوی مشخص شد که در چند بازه زمانی احجام تردد آماربرداری شده است و بر اساس فرمول وبستر و همچنین نسبت احجام هر رویکرد به محاسبات موردنیاز پرداخته شده است. در حالت هوشمند احجام تردد و فازبندی تقاطع در نرم‌افزار وارد شد و طول سیکل چراغ و زمان تأخیر برداشت شد. شایان‌ذکر است که در هر دو حالت احجام تردد و فازبندی چراغ یکسان بوده است. جدول ۱ نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. تأخیر قبل و بعد از هوشمندسازی تقاطع

تفاوت تأخیر قبل و بعد (ثانیه بر وسیله نقلیه)	بعد از هوشمندسازی				قبل از هوشمندسازی		
	تأخیر (ثانیه بر وسیله نقلیه)	سیکل تقاطع (ثانیه)	زمان (ساعت)		تأخیر (ثانیه بر وسیله نقلیه)	سیکل تقاطع (ثانیه)	زمان (ساعت)
۱	۳٦	٥٥	۰		۳۷	٦۰	۰
۳	۲۰	٤٥	۱		۲۳	٦۰	۱
٤	۱۸	٤٥	۲		۲۲	٦۰	۲
٤	۱۸	٤٥	۳		۲۲	٦۰	۳
۳	۱۸	٤٥	٤		۲۱	٦۰	٤
٥	۲٥	٤٥	٥		۳۰	٦۰	٥
۳	۲٥	٤٥	٦		۲۸	٦۰	٦
۱۸	۷۹	۱٥۰	۷		۹۷	۱۱۰	۷
٥	۷۱	۱۱۰	۸		۷٦	۱۱۰	۸
٦	٦۲	۹۰	۹		٦۸	۱۱۰	۹
۰	۷۰	۱۱۰	۱۰		۷۰	۱۱۰	۱۰
٤	٦۸	۱۰۰	۱۱		۷۲	۱۱۰	۱۱
۷	۹۸	۱٦۰	۱۲		۱۰٥	۱۲۰	۱۲
٤	۸۰	۱٥۰	۱۳		۸٤	۱۲۰	۱۳
۳	۷۹	۱٥۰	۱٤		۸۲	۱۲۰	۱٤

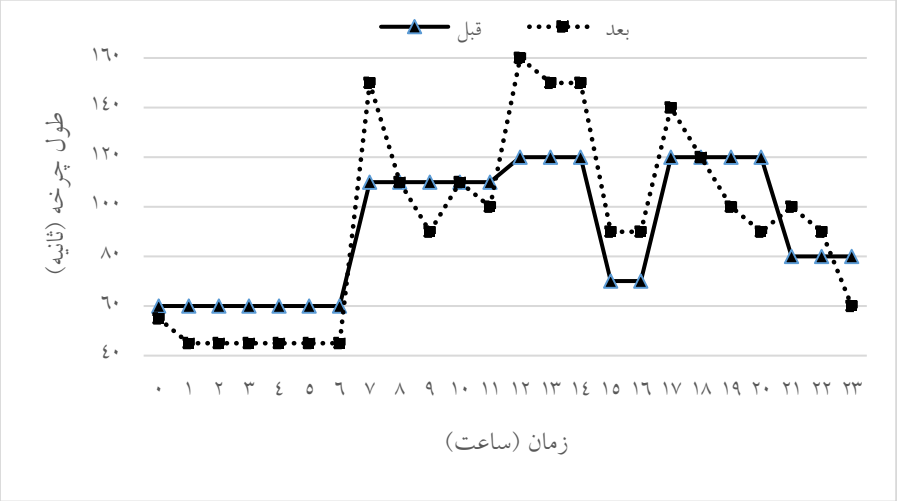
تفاوت تأخیر قبل و بعد (ثانیه بر وسیله نقلیه)	بعد از هوشمندسازی			قبل از هوشمندسازی		
	تأخیر (ثانیه بر وسیله نقلیه)	سیکل تقاطع (ثانیه)	زمان (ساعت)	تأخیر (ثانیه بر وسیله نقلیه)	سیکل تقاطع (ثانیه)	زمان (ساعت)
٨	٢٧	٩٠	١٥	٣٥	٧٠	١٥
١٢	٧٤	٩٠	١٦	٨٦	٧٠	١٦
١٥	٧٥	١٤٠	١٧	٩٠	١٢٠	١٧
٠	٦٩	١٢٠	١٨	٦٩	١٢٠	١٨
٣	٦٤	١٠٠	١٩	٦٧	١٢٠	١٩
١٠	٥٦	٩٠	٢٠	٦٦	١٢٠	٢٠
١٤	٧٤	١٠٠	٢١	٨٨	٨٠	٢١
٩	٥٢	٩٠	٢٢	٦١	٨٠	٢٢
٤	٣٢	٦٠	٢٣	٣٦	٨٠	٢٣

ستون آخر جدول ١ نشان‌دهنده تفاوت یا بهبود ناشی از هوشمندسازی تقاطع است. مشاهده می‌گردد که هوشمند سازی به‌طور متوسط باعث کاهش زمان تأخیر ٦ ثانیه بر وسیله نقلیه هر سیکل از تقاطع در ساعات مختلف شده است. در کمترین و بیشترین حالت، به ترتیب، ١ و ١٨ ثانیه بر وسیله نقلیه بوده است. اگر در هر ساعت یک سیکل تقاطع در فرض شود، در طی یک روز ١٤٥ ثانیه بر وسیله نقلیه کاهش زمان تأخیر حاصل شده است. بدیهی است که به‌منظور محاسبه دقیق باید تعداد سیکل‌ها در ساعات مختلف محاسبه شود. شکل ٨ توزیع بهبود زمان تأخیر را نشان می‌دهد.



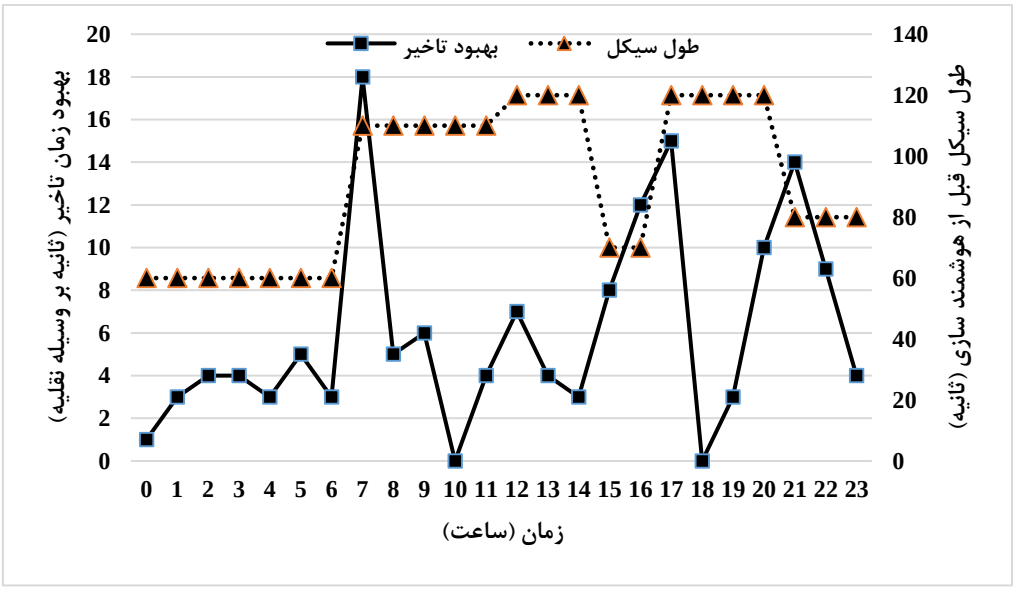
شکل .Error! No text of specified style in document٨ توزیع بهبود زمان تأخیر

شکل ٩ به مقایسه سیکل چراغ راهنمایی قبل و بعد از هوشمندسازی می‌پردازد. دیده می‌شود که روند کلی در هر دو حالت یکی است ولی تغییرات در حالت هوشمند بیشتر و شدیدتر است. این امر بدیهی و قابل‌انتظار می‌شود زیرا که خصوصیت اصلی حالت هوشمند، تغییرات آن متناسب و هم‌زمان با تغییرات حجم و شرایط ترافیکی جریان است.



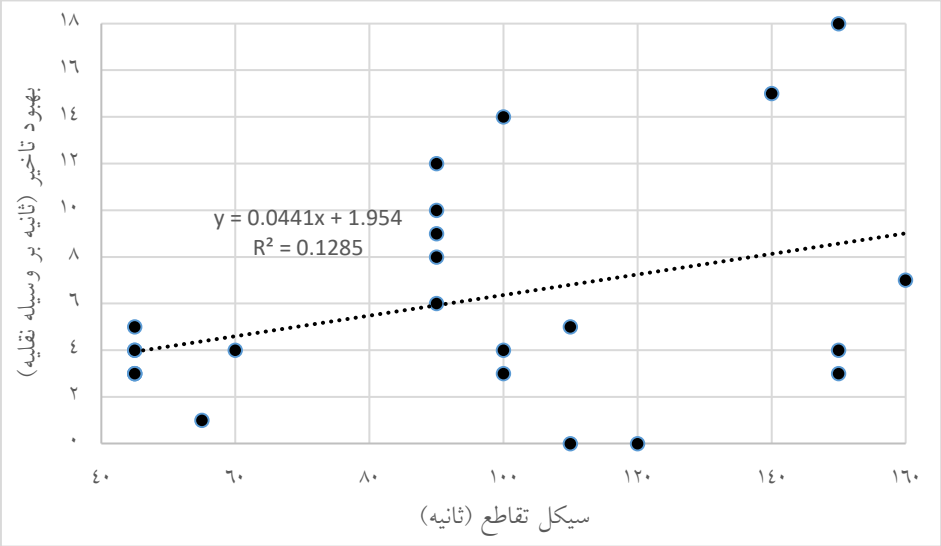
شکل ۹. طول سیکل چراغ قبل و بعد از هوشمندسازی

شکل ۱۰ بهبود زمان تأخیر را متناظر با سیکل قبل از هوشمندسازی نمایش می‌دهد. دیده می‌شود که در ساعاتی که طول سیکل چراغ تغییراتی داشته است، بهبود زمان تأخیر تغییر قابل‌ملاحظه‌ای کرده است. به‌عبارت‌دیگر کارایی هوشمندسازی چراغ راهنمایی تقاطع در ساعات تغییر حجم تردد جریان ترافیک افزایش یافته است زیرا که بهبود زمان تأخیر افزایش یافته است.



شکل ۱۰. رابطه طول سیکل قبل از هوشمندسازی و بهبود تأخیر

شکل ۱۱ رابطه سیکل چراغ راهنمایی و بهبود زمان تأخیر حاصل از هوشمندسازی تقاطع را نشان می‌دهد. در اینجا نیز مانند رابطه حجم و بهبود زمان تأخیر، به‌صورت شهودی به نظر می‌رسد که رابطه خطی و صعودی وجود دارد؛ اما مقادیر شیب (۰,۰٤٤۱) و نکویی برازش (۰,۱۲۸۵) نشان از عدم وجود رابطه قابل‌توجه دارند. شایان‌ذکر که نکویی برازش هنگامی‌که بزرگ‌تر ۰,۷ باشد، مناسب ارزیابی می‌شود که مقدار نکویی برازش در اینجا بسیار کمتر بوده است. به‌عبارت‌دیگر میانگین تغییرات بهبود زمان تأخیر در سیکل‌های مختلف چراغ راهنمایی تغییرات قابل‌توجه نداشته‌اند و نمی‌توان رابطه‌ای معنادار بین آن‌ها در نظر گرفت. در ادامه به بررسی رابطه زمان تأخیر در حالت غیرهوشمند و بهبود زمان تأخیر پرداخته می‌شود که مشخص گردد آیا رابطه‌ای معنادار وجود دارد.



شکل ۱۱. رابطه سیکل چراغ و بهبود زمان تأخیر

٤. نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش بررسی اثر هوشمندسازی چراغ راهنمایی تقاطع بر شاخص‌های جریان ترافیکی است. برای این منظور به کالیبراسیون نرم‌افزار شبیه‌ساز تقاطع Synchroپرداخته شد و سپس شرایط تقاطع قبل و بعد از هوشمندسازی در آن شبیه‌سازی شد و به مقایسه نتایج پرداخته شد. در نیل به این هدف نتایجی حاصل شد که در زیر به جمع‌بندی آنها پرداخته شده است:

- رابطه معناداری بین بهبود زمان تأخیر ناشی از هوشمندسازی چراغ با طول سیکل، حجم تردد و زمان تأخیر (چراغ هوشمند و غیرهوشمند) یافته نشد.
- عدم هماهنگی و همخوانی سیکل چراغ راهنمایی با حجم تردد عامل اصلی ایجاد تأخیر در حالت غیرهوشمند بود.
- نقاط ماکزیمم بهبود زمان تأخیر در محل‌های تغییر سیکل در چراغ غیرهوشمند بود. مقادیر بهبود زمان نیز متناسب با مقدار تغییر تغییرات سیکل چراغ هوشمند بود.
- روند تغییرات سیکل در چراغ هوشمند متناسب با تغییرات بهبود زمان تأخیر بود.
- بهبود زمان تأخیر از توزیع نرمال پیروی نمی‌کرد و بیشتر به سمت اعداد پایین‌تر تمایل داشت.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. Kumala
2. Andronov
3. Leverents
4. Kanungo
5. Preethi
6. Sofia
7. Loop detectors / Induction loops

٦. مراجع

– م. حقانی و ز. شاه حسینی, برنامه‌ریزی حمل و نقل و مهندسی ترافیک به همراه مروری بر آمار و احتمالات. تهران، ایران: کتاب آوا, ١٣٩٤.

– ع. ا. نیک نفس و ا. آرمون، "مدیریت هوشمند چراغ‌های راهنمایی و رانندگی با استفاده از بهینه‌سازی کلونی مورچگان در جهت کاهش ازدحام ترافیک شهری," چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک. تهران، ١٣٩٤.

– ا. برگ گل، ب. ذبیحی و ر. وطنی نظافت، "بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی با استفاده از الگوریتم جستجوی باکتریایی (مطالعه موردی: شهر رشت)," چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک. تهران، ١٣٩٤.

– الیاسی، فائزی، س. فرزین و پذیره، "شبیه‌سازی رفتار رانندگان در میادین چراغ‌دار با رویکرد مدیریت ترافیک شهری (مطالعه موردی میدان ١٣ آبان شهر همدان)," نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، vol. ٢٥, no. ٧٦, pp. ٢١٥–٢٣١, ٢٠٢١.

– مهدوی، ا. رضا، ممدوحی و امیررضا، "تحلیل حساسیت مشخصات ترافیکی در مقابل تغییرات حجم برای چراغ‌راهنمایی عادی و هوشمند (مطالعه موردی: خیابان ماهان شهر کرج)," جاده، vol. ٢٧, no. ٩٨, pp. ١٣٣–١٤٤, ١٣٩٨.

– س. آقاجانی، ع. اسدی نیا، ا. مهدوی و س. شاکری، "بررسی نقش چراغ‌های هوشمند به‌عنوان ابزاری بهینه برای حذف دوربرگردان‌ها با کالیبراسیون نرم‌افزار Aimsun," پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک. تهران، ١٣٩٤.

– ح. زارع مهرجردی و ا. نظارات، "تکنیک‌های یادگیری عمیق برای هوشمندسازی چراغ راهنمایی," بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی کامپیوتر انجمن کامپیوتر ایران، ١٣٩٩.

– منصور امراللهی‌زرندی و سیدمحمد سیدحسینی، "توسعه روشی جهت کاهش تأخیر و بهبود سطح سرویس تقاطع‌های چراغ‌دار پیش زمان‌بندی‌شده با استفاده از آنالیز حساسیت," راهور، vol. ١٣, no. ٨, pp. ٢١–٣٨, ١٣٩٠.

– ح. دیواندری و م. امرادی، "ارائه مدل تخمین تأخیر چراغ‌های راهنمایی و راهکارهای کاهش آن (مطالعه موردی: تقاطع‌های چراغ‌دار خیابان ولی‌عصر تهران)," دومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، معماری و مدیریت بحران. تهران، ١٣٩٦.

– ه. ذکایی آشتیانی و ا. مظلومی، "تابع زمان تأخیر برای تقاطع‌های با چراغ راهنمایی," اولین کنگره ملی مهندسی عمران. تهران، ١٣٨٣.

– C. J. Khisty and B. K. Lall, Transportation engineering, 3rd editio. Pearson Education India, 2006.

– R. M. Waterman, M. F. Makuch, P. E. L. H. James, and M. J. Cloutier, "Traffic Control Signal Design Manual," 2014.

– T. Kumala, E. T. Quezon, and B. Shiferaw, "Effect Of Cycle Time And Signal Phase On Average Time Delay, Congestion And Level Of Service: A Case Study At Hager Astedader Signalized Intersection in Addis Ababa".

– R. Andronov and E. Leverents, "Calculation of vehicle delay at signal-controlled intersections with adaptive traffic control algorithm," in MATEC Web of Conferences, 2018, vol. 143, p. 4008.

– A. Kanungo, A. Sharma, and C. Singla, "Smart traffic lights switching and traffic density calculation using video processing," in 2014 recent advances in Engineering and computational sciences (RAECS), 2014, pp. 1–6.

– P. Preethi, A. Varghese, and R. Ashalatha, "Modelling delay at signalized intersections under heterogeneous traffic conditions," Transp. Res. Procedia, vol. 17, pp. 529–538, 2016.

– G. G. Sofia, A. J. Kadhim, and S. M. Khalil, "Development of delay model for selected signalized intersections at CBD in Sulaymaniyah City," J. Eng. Dev., vol. 18, no. 5, pp. 294–307, 2014.

Evaluating the Effect of Intelligent Controller Devices on Traffic Parameters in Signalized Intersections (Case Study: Khoi City)

Hadi Ghavidel*, MSc of transportation Engineering, Khoi, Western Azerbaijan, Iran
Shahriar Afandizadeh, PhD in Transportation, Tehran, Iran
Mahdi ZarinKamar, MSc of Civil Engineering-Construction Management, Tehran Municipality, Tehran, Iran

E-mail: Hadi.ghavidel@yahoo.com

Abstract

Traffic lights are important means of establishing order, safety and traffic flow control. The purpose of this research is to investigate the effect of intelligentization of intersection traffic lights on traffic flow indicators. For this purpose, the calibration of the Synchro intersection simulator software was done and then the conditions of the intersection before and after the intelligentization were simulated in it and the results were compared. No significant relationship was found between the improvement of delay time due to intelligentization of lights with cycle length, traffic volume and delay time (intelligent and non-intelligent lights). The lack of coordination and matching of the traffic light cycle with the volume of traffic was the main cause of the delay in the unintelligent mode. The maximum points of delay time improvement were in the places of cycle change in the non-smart light. The time improvement values were also proportional to the change value of the smart light cycle changes. The process of cycle changes in the smart light was proportional to the changes in delay time improvement. Latency improvement did not follow a normal distribution and tended towards lower numbers.

Keywords: Signalized intersection, Intelligent controller, Traffic delay