

میزان اثر دستگاه‌های کنترل‌کننده هوشمند بر پارامترهای ترافیکی در تقاطع‌های چراغ‌دار

مقاله علمی - پژوهشی

شهریار افندی‌زاده*، استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
هادی قویدل، دانشجوی کارشناسی ارشد، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
حمید بیگدلی راد، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: zargari@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۵ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۲

صفحه ۵۶-۳۷

چکیده

هدف از مطالعه حاضر ارزیابی اثر هوشمندسازی چراغ راهنمایی بر شاخص‌های ترافیکی است. برای این منظور به کالیبراسیون نرم افزار شبیه‌ساز سینکرو پرداخته شد و سپس شرایط تقاطع قبل و بعد از هوشمندسازی در آن شبیه‌سازی شد و به مقایسه نتایج پرداخته شد. تقاطع خیابان شریعتی و ۲۲ بهمن که یکی از تقاطع‌های مهم و مرکزی شهر خوی است به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. این تقاطع در هسته مرکزی شهر قرار دارد و یکی از تقاطع‌های با تردد بالا و اصلی شهر است. نتایج نشان داد که نقاط ماکزیمم بهبود زمان تاخیر در محل‌های تغییر سیکل در چراغ غیرهوشمند بود. همچنین رابطه معناداری بین بهبود زمان تاخیر ناشی از هوشمندسازی چراغ با طول سیکل، حجم تردد و زمان تاخیر (چراغ هوشمند و غیرهوشمند) یافته نشد. عدم هماهنگی و همخوانی سیکل چراغ راهنمایی با حجم تردد، عامل اصلی ایجاد تاخیر در حالت 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 تاخیر بود. بهبود زمان تاخیر از توزیع نرمال پیروی نمی‌کرد و بیشتر به سمت اعداد پایین‌تر تمایل داشت.

واژه‌های کلیدی: تقاطع چراغ‌دار، هوشمندسازی، تاخیر تقاطع، طول چرخه چراغ راهنمایی

۱- مقدمه

چراغ‌دار امری مهم و ضروری برای برآورد شرایط شبکه حمل و نقل می‌باشد. تقاطع‌های چراغ‌دار به‌عنوان بخشی کلیدی از سیستم حمل و نقل و ترافیک، تنظیم‌کننده جریان ترافیک می‌باشد (Abdi et al., 2020). ترافیک عبوری از تقاطع چراغ‌دار به‌علت مواجه شدن با چراغ قرمز، متحمل زمان تاخیر می‌شوند. تاخیر تحمیل شده بر اثر عملکرد تقاطع‌های چراغ‌دار باعث افزایش زمان سفر در شبکه معابر، کاهش سرعت، قابلیت اطمینان و بهره‌وری اقتصادی سیستم حمل و نقل می‌گردد (Ameri et al., 2021;

شبکه حمل‌ونقل شهری از دو بخش معابر و تقاطعات تشکیل می‌گردد. با توجه به این‌که تقاطع‌های چراغ‌دار نقاط کنترل‌کننده جریان ترافیک در سطح شبکه هستند و به‌عنوان گره‌های شبکه حمل‌ونقل شهری بیشترین تأخیر را به وسایل نقلیه تحمیل می‌کنند (Afandizadeh Zargari et al., 2019). به‌دست آوردن مقدار تأخیر در آن‌ها، معیار اندازه‌گیری مناسبی است که برای بیان خصوصیات عملکردی تقاطع چراغ‌دار به‌کار می‌رود. از این رو مطالعه و بررسی شرایط جریان ترافیک در تقاطع‌های

جستجوی باکتریایی بهینه بود. تاخیر تقاطع در شرایط کنونی ۷۸ ثانیه بود در حالی که استفاده از روش جستجوی باکتریایی و سینکرو، تاخیر را به ۱۱ و ۲۳ ثانیه کاهش داد که نشان از کارایی روش پیشنهادی داشت (Jamal et al., 2020). داماسکو و همکاران در سال ۲۰۲۲، با تعیین رفتار رانندگان و اعمال پارامترهای بومی در نرم‌افزار ایمسان، تلاش کردند نزدیک‌ترین شبیه‌سازی به واقعیت ارائه شود. پارامترهایی که در این تحقیق تحلیل شدند شامل:

الف- گام زمانی به هنگام کردن پارامترها،

ب- زمان عکس العمل راننده،

ج- پارامترهای مختص رفتار رانندگان هنگام سبقت‌گیری. رفتار رانندگان هنگام سبقت‌گرفتن،

د- خصوصیات و ویژگی‌های وسایل نقلیه (عبارتند 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 (Damaskou et al., 2022).

مهدوی و ممدوحی در پژوهشی در سال ۲۰۱۹ به تحلیل حساسیت مشخصات جریان ترافیک در مقابل تغییرات حجم ترافیک برای دو حالت چراغ راهنمایی عادی و چراغ راهنمایی هوشمند پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان دادند که هوشمندسازی چراغ راهنمایی به طور میانگین باعث کاهش ۲۴٫۵ درصدی زمان تأخیر، شد. در نهایت با توجه به تحلیل حساسیت مشخص شد که تغییرات مشخصات ترافیکی برای چراغ راهنمایی عادی در مقابل تغییرات حجم ترافیک به صورت یک خط است درحالی‌که تغییرات مشخصات ترافیکی برای چراغ راهنمایی هوشمند متشکل از دو خط با شیب‌های متفاوت است (Mahdavi and Mamdohi, 2019). گالی و همکاران در سال ۲۰۱۷ به بررسی نقش پارامترهای مختلف در طراحی تقاطع‌ها با استفاده از کالیبراسیون نرم افزار AIMSUN و داده‌های ترافیکی دو تقاطع پرداختند. نتایج این بررسی‌ها نشان دادند که تقاطع دارای چراغ هوشمند و فاز انحصاری گردش به چپ با خط عبور انحصاری گردش به چپ نسبت به سایر طرح‌های پیشنهادی دارای پارامترهای بهتری همچون تاخیر کمتر، آلودگی کمتر، سرعت بیشتر و ایمنی بیشتر

(Hajisoleimani et al., 2021). همچنین افزایش تاخیر باعث تنزل وضعیت محیط‌زیستی به سبب افزایش آلودگی هوا و آلودگی صوتی می‌گردد. با افزایش حجم ورودی به تقاطع، به تناسب آن باید زمان‌بندی چراغ راهنمایی نیز تغییر کند. تغییر زمان‌بندی موجب تغییر شرایط جریان ترافیکی عبور از تقاطع می‌شود که تاخیر وارده بر خودروها یکی مهم‌ترین مشخصات یک تقاطع چراغ‌دار می‌باشد (Afandizadeh and Bigdeli Rad, 2021). تاخیر تقاطع معیار اصلی برای تعیین سطح سرویس می‌باشد. از این رو در این تحقیق بررسی می‌گردد که هوشمندسازی تقاطع بر اساس حجم ورودی آن به چه صورت خودروهای حاضر در جریان ترافیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و چگونه تاخیر کاهش می‌یابد. تاخیر تقاطع معیار اصلی برای تعیین سطح سرویس می‌باشد و با استخراج آن سایر عوامل مانند آلودگی هوا نیز قابل تخمین خواهد بود. کنترل تطبیقی چراغ راهنمایی یکی از ابزارهای هوشمندسازی تقاطع‌های با چراغ راهنمایی است که اثربخشی آن را می‌توان از طریق شبیه‌سازی جریان ترافیک ارزیابی کرد. اندروف و لورنتس در سال ۲۰۱۸ با مدل‌سازی یک تقاطع چراغ‌دار به ارزیابی اثربخشی کنترل تطبیقی در موقعیت‌های مختلف ترافیکی، از جمله وجود یا عدم وجود ترافیک عابر پیاده پرداختند. در نتیجه این مطالعه، تأخیر وسایل نقلیه، طول صف و مدت چرخه چراغ راهنمایی با توجه به شدت‌های مختلف جریان ترافیک ورودی و وجود یا عدم وجود ترافیک عابر پیاده محاسبه شد. یافته شد که استفاده از کنترل تطبیقی چراغ راهنمایی می‌تواند تاخیر در تقاطع را کاهش دهد. البته این مسئله هنگامی که عابرین در تقاطع در نظر گرفته می‌شدند کمتر نمود پیدا می‌کرد (Andronov and Leverents, 2018).

جمال و همکاران در سال ۲۰۲۰ با استفاده از محیط برنامه‌نویسی متلب و داده‌های موجود در یک تقاطع، آنالیزهای ترافیکی برای بهینه‌سازی زمان بندی چراغ‌های راهنمایی بر اساس الگوریتم سلول ای. کولی را شبیه‌سازی کردند. از نرم‌افزار سینکرو برای کاهش تاخیر خودروها در تقاطع موردنظر بهره بردند. با مقایسه زمان بندی چراغ راهنمایی در وضع موجود با نتایج الگوریتم جستجوی باکتریایی و نرم افزار سینکرو، نتایج حاکی از آن بودند که مقادیر بدست آمده برای طول سیکل و زمان‌های سبز حاصل از الگوریتم

انتخاب شده برای مدل‌سازی عبارت بودند از عرض رویکرد، زمان سبز مؤثر، درجه اشباع، نرخ رسیدن خودرو، نسبت وسایل نقلیه سنگین و نسبت وسایل نقلیه به راست گردش. داده‌های مورد نیاز برای مطالعه از ۱۱ تقاطع چراغدار واقع در مناطق شهری ایالت کرالی هند جمع‌آوری شدند.

ملاحظات اساسی در انتخاب تقاطع‌ها این بود که رویکردها باید دارای تنوع گسترده‌ای در ترافیک و ویژگی‌های هندسی باشند. داده‌ها در ساعات اوج روزهای معمولی هفته به مدت ۱٫۵ تا ۲ ساعت جمع‌آوری شدند. از پردازش فیلم برای جمع‌آوری ویژگی‌های جریان ترافیک استفاده شد. زمان بندی چراغ و جزئیات هندسی مانند عرض نزدیک، شعاع چرخش به صورت 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 (Preethi et al., 2016).

سوفیا و همکاران در سال ۲۰۱۴ به توسعه یک مدل تجربی برای پیش‌بینی تاخیر در تقاطع‌های چراغدار به عنوان تابعی از ترافیک و ویژگی‌های هندسی پرداختند. آن‌ها دو تقاطع چراغدار با مشخصات متفاوت در شهر سلیمانیه عراق انتخاب کردند. حجم ترافیک، زمان بندی چراغ و تاخیر در دوره‌های اوج و خارج از پیک با استفاده از روش‌های پردازش تصویر ثبت شد. عناصر طراحی هندسی از طریق بررسی میدانی و تصویر ماهواره‌ای اندازه‌گیری شد. از رویکرد آماری برای توسعه مدل تاخیر (مدل رگرسیون خطی با ۹۵ درصد) استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری نشان دادند که متغیرهای هندسی و ترافیکی هر دو اثر معنی داری بر زمان تاخیر داشتند.

مدل رگرسیون، توسعه یافته برای تخمین تاخیر، 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 (Sofia et al., 2014). جدول (۱) مطالعات مربوطه را به صورت خلاصه و بر اساس سال پژوهش ارائه می‌کند.

بود (Gallelli et al., 2017). تخمین تراکم ترافیک و طبقه‌بندی وسایل نقلیه را نیز می‌توان با استفاده از سیستم‌های نظارت تصویری به دست آورد. کانگو و همکاران در سال ۲۰۱۴ 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. آن‌ها یک تقاطع در شهر پنجاب هند را انتخاب کردند و جمع‌آوری داده‌ها از طریق همان دوربین‌هایی بود که در تقاطع‌ها نصب شده بودند. از آن جایی که ویدیو با سرعت ۳۰ فریم در ثانیه ضبط می‌شد، در هر ثانیه تراکم خودروها محاسبه می‌شد. این سیستم از دوربین‌های فیلمبرداری در تقاطع‌های ترافیکی برای هر طرف تشکیل شده است که گویی یک اتصال چهار طرفه است. بنابراین چهار دوربین فیلمبرداری بر روی چراغ‌های قرمز رو به جاده نصب خواهد شد. دوربین‌ها، ویدیو را ضبط کرده و آن را به سرورها انتقال می‌دهند، جایی که با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر و ویدیو، تراکم خودرو در هر رویکرد محاسبه می‌شد و الگوریتمی برای تغییر چراغ‌های راهنمایی استفاده می‌شد.

نرم افزار مورد استفاده در سیستم شامل جعبه ابزار پردازش تصویر و ویدئو متلب و کامپایلر ++C برای تولید نتایج الگوریتمی بود. نتایج حاکی از آن بود که هوشمندسازی تقاطع با استفاده از سیستم پیشنهادی موجب افزایش ۳۵٪ عبور خودروها شد و زمان تاخیر را متناسب با آن کاهش داد (Kanungo et al., 2014).

پرتی و همکاران در سال ۲۰۱۶ به اصلاح مدل تاخیر وبستر برای مطابقت با شرایط ترافیک جاده‌ای موجود در هند پرداختند. پارامترهای تعدیل نیمه تجربی در مدل و وبستر بر اساس مشاهدات میدانی تاخیر برای شرایط کنترل مختلف در تقاطع‌های چراغدار اصلاح و کالیبره شد. داده‌های مربوط به پارامترهای جریان ترافیک، جزئیات زمان بندی چراغ و تاخیر وسایل نقلیه از تقاطع‌های چراغدار مختلف با شرایط کنترل متفاوت با استفاده از بررسی ویدئویی و سیستم موقعیت‌یابی جهانی جمع‌آوری شدند. بر اساس تأخیر مشاهده شده میدانی، مدت تعدیل با استفاده از رویکرد شبکه عصبی مصنوعی برآورد و مدل‌سازی شدند. متغیرهای ورودی

جدول ۱. خلاصه‌ای از مطالعات پیشین

ردیف	پژوهشگر (ها)	سال	موضوع پژوهش
۱	ویلازینهو و همکاران	۲۰۱۷	ارائه تابع زمان تاخیر با در نظر گرفتن شرایط بومی
۲	افکادو	۲۰۲۰	بررسی راهکارهای کاهش زمان تاخیر در تقاطع چراغدار با استفاده از شبیه‌سازی
۳	کومار و همکاران	۲۰۱۸	هوشمندسازی تقاطع چراغدار به منظور کاهش تاخیر با استفاده از روش کلونی مورچگان
۴	جمال و همکاران	۲۰۲۰	هوشمندسازی تقاطع چراغدار به منظور کاهش تاخیر با استفاده از روش بهینه‌سازی جستجوی هوشمند
۵	گاللی و همکاران	۲۰۱۷	بررسی روش‌های بهبود شرایط تقاطع چراغدار با استفاده از شبیه‌سازی به منظور کاهش زمان تاخیر
۶	لین و همکاران	۲۰۲۲	بررسی میزان تاخیر در تقاطع چراغدار با ویژگی‌های مربوط به جریان ترافیک
۷	آلموتاری و همکاران	۲۰۱۷	تحلیل حساسیت اثر هوشمندسازی بر زمان تاخیر در تقاطع چراغدار
۸	ناوارو و همکاران	۲۰۲۲	مقایسه چند روش هوش مصنوعی به منظور یافتن بهترین روش هوشمندسازی تقاطع چراغدار برای کاهش تاخیر
۹	داماسکو و همکاران	۲۰۲۲	کالیبراسیون نرم افزار AIMSUN به منظور شبیه‌سازی تاخیر در تقاطع چراغدار
۱۰	کانوگو و همکاران	۲۰۱۴	بررسی استفاده از روش‌های پردازش تصویر به منظور هوشمندسازی تقاطع و کاهش زمان تاخیر
۱۱	ماریسامیناتان و همکاران	۲۰۱۸	توسعه یک مدل تجربی برای پیش‌بینی تاخیر در تقاطع‌های چراغدار با شرایط بومی
۱۲	کبیر و همکاران	۲۰۲۱	بررسی رابطه تاخیر در تقاطع چراغدار با متغیرها تراکم و سطح سرویس
۱۳	پریتی و همکاران	۲۰۱۶	اصلاح مدل تاخیر وبستر برای مطابقت با شرایط ترافیکی بومی
۱۴	اندروف و لورتس	۲۰۱۸	هوشمندسازی تقاطع چراغدار به منظور کاهش تاخیر با استفاده از روش کنترل تطبیقی

۲- روش پژوهش

در این بخش به بیان روش تحقیق و مراحل انجام آن پرداخته می‌شود. به طور کلی می‌توان مراحل تحلیل را در دو دسته تقسیم‌بندی نمود. در وهله اول به تحلیل‌های اولیه به منظور آماده‌سازی داده پرداخته می‌شود. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها در فاز دوم روش شناسی استفاده می‌شود. در فاز دوم تحقیق، شبیه‌سازی شرایط هوشمند و غیرهوشمند تقاطع در نرم افزار انجام می‌شود و نتایج حاصل از آن تحلیل و ارزیابی می‌گردد.

۲-۱- برداشت حجم تردد

می‌توان حجم تردد را مهم‌ترین عامل اثرگذار بر طراحی زمان بندی و فازبندی چراغ راهنمایی در تقاطع‌ها دانست. در اینجا داده‌های حجم ورودی به تقاطع از طریق لوپ‌ها القایی برداشت می‌شود. لوپ‌های القایی می‌توانند به صورت پیوسته حجم عبوری و سطح اشغال روی خود را محاسبه و ثبت کنند. از این رو می‌توان حجم عبوری در تمام ساعات روز را در اختیار داشت. شایان ذکر است که لوپ‌های القایی حجم ورودی از هر رویکرد به تقاطع را می‌توانند ثبت کنند و نمی‌توانند تفکیکی از گردش‌ها ارائه کنند. البته اگر راستگردهای مجزا وجود داشته باشند و در آن‌ها لوپ القایی نصب شده باشد می‌توان حجم گردش به راست را نیز ثبت نمود، ولی برای گردش به چپ عملاً محاسبه تعداد گردش‌ها ممکن نیست. در بخش‌های بعدی به گردش‌ها و ثبت آن‌ها پرداخته می‌شود.

۲-۲- دسته بندی جریان ترافیک بر اساس حجم

در بخش قبلی بیان شد که می‌توان حجم ترافیک را از لوپ‌های القایی برداشت نمود. گرچه که این داده‌ها دارای کمیت زیادی هستند ولی شاید کیفیت آن‌ها مناسب نباشد. به عبارت دیگر شاید تمام داده‌های مورد نیاز در آن یافت نشود. از این رو نیاز به برداشت میدانی داده‌ها توسط محقق می‌باشد. برداشت میدانی داده‌ها توسط آماربردار یا محقق به مراتب مشکل‌تر و پیچیده‌تر از برداشت داده‌ها از لوپ‌های القایی است و باید تلاش شود که حجم داده‌های مورد نیاز برای برداشت میدانی بهینه یا کمینه شود. بنابراین در وهله اول از داده‌های لوپ‌های القایی استفاده می‌شود تا بتوان زمان‌های مناسب برای برداشت میدانی داده را محاسبه و برآورد نمود. 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 ساعتی 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 به صورت ریاضی و نه صرفاً با قضاوت مهندسی، وضعیت حجم در طی شبانه روز 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.

در خوشه‌بندی K-means از بهینه‌سازی یک تابع هدف استفاده می‌شود. پاسخ‌های حاصل از خوشه‌بندی در این روش، ممکن است به کمک کمینه‌سازی یا بیشینه‌سازی تابع هدف صورت گیرد. به این معنی که اگر ملاک، میزان فاصله بین اشیاء باشد، تابع هدف براساس کمینه‌سازی خواهد بود پاسخ عملیات خوشه‌بندی، پیدا کردن خوشه‌هایی است که فاصله بین اشیاء هر خوشه کمینه باشد. در مقابل، اگر از تابع برای اندازه‌گیری مشابهت اشیاء استفاده شود، تابع هدف را طوری انتخاب می‌کنند که پاسخ خوشه‌بندی مقدار آن را در هر خوشه بیشینه کند (Rad et al., 2019).

روش k-means جزء روش‌های یادگیری بدون نظارت هست که هدف آن خوشه‌بندی کردن داده‌ها براساس ویژگی‌های آن است. در این روش نیاز به یک تابع امتیاز برای ارزیابی میزان کیفیت خوشه‌بندی است. بنابراین نیاز به یک تابع هدف است تا بتوان با توجه به آن خوشه‌بندی را سنجید؛ از تابع توان دوم خطا می‌توان استفاده نمود که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$SSE(C) = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in C_i} \|x_j - \mu_i\|^2 \quad (1)$$

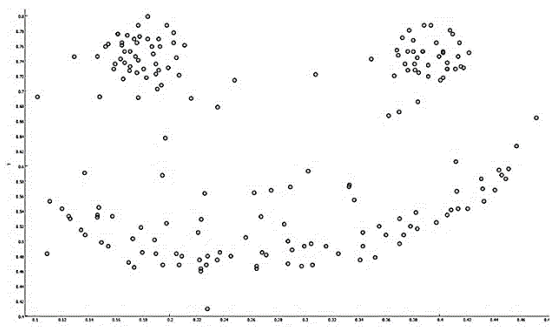
در اینجا X مقدار هر داده و μ میانگین هر خوشه است.

۲-۲-۱- مراحل الگوریتم های روش k-means

در اینجا مراحل الگوریتم این روش شرح داده می‌شود و این مراحل تا زمانی مشخص تکرار می‌شوند.

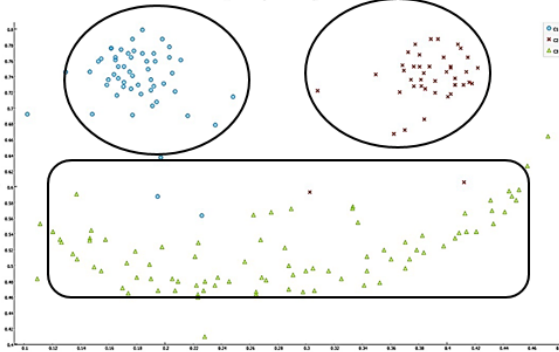
رویکردهای تقاطع همزمان برداشت شود. برای این منظور از روش فیلمبرداری استفاده می‌شود که فیلم‌های ضبط شده به گونه‌ای هستند که احجام گردش‌ها، چپگرد و راستگرد، و طول صف را می‌توان از آن‌ها استخراج کرد. با توجه به نسبت گردش‌ها به احجام کل می‌توان احجام گردش در ساعات همان خوشه را تخمین زد. همچنین طول صف به کالیبره کردن نرم‌افزارهای شبیه‌ساز کمک می‌کند. شایان ذکر است که باید از نرم‌افزار شبیه‌ساز جریان در تقاطع‌های چراغ دار استفاده شود تا بتوان شرایط تقاطع در طی یک روز را تحلیل نمود، زیرا که برداشت داده‌های میدانی به طور کامل در طی یک روز امری بسیار سخت و تقریباً غیرممکن است که تحلیل آن‌ها نیز بسیار زمان‌بر است.

داده اصلی



شکل ۱. داده‌های خوشه‌بندی نشده دو بعدی

داده خوشه بندی شده



شکل ۲. داده‌های خوشه‌بندی شده در سه خوشه

علاوه بر داده‌های جریان ترافیک، طول چرخه، تعداد فازها و طول زمان‌های سبز، زرد و تمام قرمز نیز در طی زمان ۵ دقیقه برداشت می‌شود تا در تحلیل‌ها و نرم‌افزار شبیه‌ساز وارد شود. مشخصات هندسی تقاطع مانند تعداد خط و عرض خط نیز به صورت میدانی

-انتخاب k نقطه به صورت تصادفی؛ در این مرحله به صورت رندوم k نقطه انتخاب می‌شود و به عنوان مرکز خوشه شناخته می‌شوند.

-تشکیل دادن k خوشه براساس میزان فاصله هر نقطه تا مراکز انتخابی، به گونه‌ای که برای هر نقطه (داده) فاصله تا تمام مراکز محاسبه می‌شود و نهایتاً نقطه (داده) متعلق به خوشه با کمترین فاصله است.

$$x_i \in C_j | j = \operatorname{argmin}_{i=1}^k \{ \|x_j - \mu_i\| \} \quad (2)$$

معادله ۲ نشان دهنده تابع محاسبه کمترین فاصله نقطه x از مراکز خوشه C و نقطه (داده) i ام متعلق به خوشه j ام است.

-بعد از تخصیص نقطه (داده)ها به هر خوشه، میانگین جدید هر خوشه محاسبه می‌شود و میانگین جدید به عنوان مرکز خوشه در نظر گرفته می‌شود.

-الگوریتم بالا تا جایی تکرار می‌شود که فاصله میانگین‌های دو مرحله پیاپی (μ) کمتر از سطح حساسیت (ϵ) مورد نظر باشد.

$$\sum_{i=1}^k \|\mu_j^t - \mu_{j-1}^{t-1}\|^2 \leq \epsilon \quad (3)$$

شکل‌های ۱ و ۲ به صورت شهودی خوشه‌بندی داده‌های دو بعدی را نشان می‌دهند. داده‌ها در سه دسته خوشه‌بندی شده‌اند.

۲-۳- برداشت میدانی داده‌های مورد نیاز

همانطور که پیشتر بیان شد، علاوه بر داده‌های به دست آمده از لوپ‌های القایی، نیاز به برداشت میدانی داده‌ها نیز می‌باشد. حال که خوشه‌بندی جریان ترافیکی و احجام آن انجام شده است، می‌توان به جای 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. به عبارت دیگر به نمونه‌برداری دیتای میدانی در ساعات مشخص پرداخته می‌شود و نتایج آن به ساعات مشابه آن تعمیم داده می‌شود. به این صورت می‌توان گفت که داده‌های میدانی مورد نیاز در تمام روز در دسترس خواهد بود. در این پژوهش به منظور برداشت داده‌های میدانی، میانه احجام در یک خوشه انتخاب می‌شوند و ۵ دقیقه داده برداشت می‌شود. در مدت زمان برداشت داده، باید داده‌های تمام

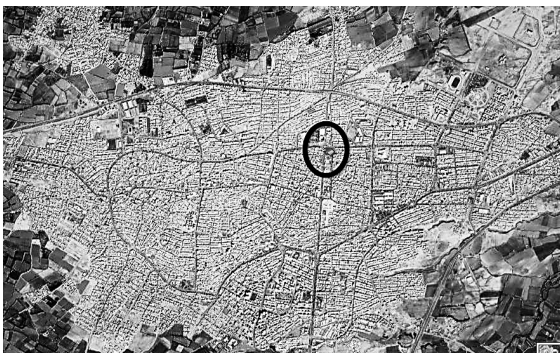
دیگری را نمایندگی کند. در ادامه به صورت مختصر به معرفی نرم‌افزار سینکرو و نحوه کالیبره کردن آن پرداخته می‌شود.

۳- منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش یک تقاطع درون شهری با چهار رویکرد در شهر خوی مورد بررسی قرار می‌گیرد. تقاطع مورد نظر باید در طی شبانه روز 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 قابل برداشت باشد. همین امر موجب گشت که بعد از هماهنگی‌ها و مکاتبات انجام شده با متخصصین حمل و نقل 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. شکل‌های ۳ و ۴ طرح هندسی تقاطع و موقعیت آن در شهر را نشان می‌دهد.



شکل ۳. تقاطع شریعتی و ۲۲ بهمن



شکل ۴. موقعیت تقاطع مورد مطالعه در شهر خوی

برداشت می‌شود و در نرم افزار شبیه‌ساز وارد می‌گردد. به صورت خلاصه می‌توان گفت که داده برداری در طی زمان‌های مشخص و بهینه شده به منظور کالیبره کردن برنامه شبیه‌ساز برداشت می‌شود و سپس با استفاده از شبیه‌ساز، داده‌ها به سایر ساعات نیز تعمیم داده شده و نتایج استحصال می‌گردد. در بسیاری از تحقیقات زمان ۱۵ دقیقه برای برداشت داده انتخاب شده است ولی با توجه به اینکه این داده‌ها برای کالیبراسیون استفاده می‌شود، نیاز به یک چرخه از تقاطع است که طبیعتاً نباید بیش از ۵ دقیقه باشد. برداشت بازه زمانی بیشتر از یک سو موجب تکراری شدن داده‌های ورودی به نرم‌افزار می‌شود و از سوی دیگر موجب ارائه چندین مقدار برای یک پارامتر کالیبراسیون می‌گردد که می‌تواند پیچیدگی برآوردها را افزایش دهد.

۲-۴- کالیبره کردن نرم افزار شبیه ساز

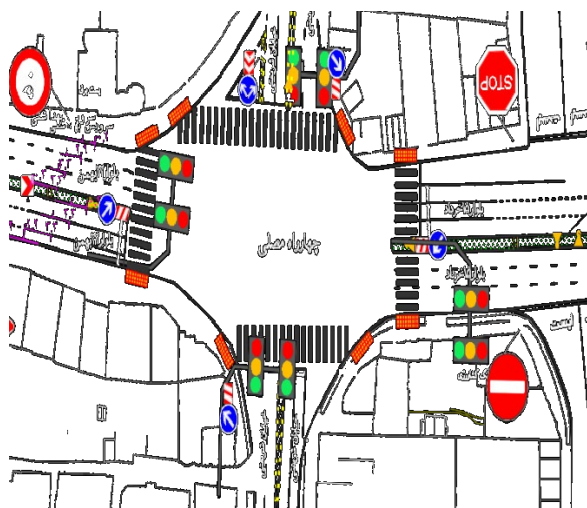
بعد از جمع‌آوری داده‌ها، از نرم‌افزار سینکرو برای شبیه‌سازی تقاطع و جریان‌های ترافیکی استفاده می‌شود. برای استفاده از نرم‌افزار، باید آن را با شرایط تقاطع مورد مطالعه کالیبره نمود. کالیبره نمودن یک مدل یا یک نرم افزار، مستلزم در اختیار داشتن و وارد کردن همزمان داده‌های خروجی و ورودی است. مطالعه ترافیکی تقاطع چراغ‌دار، داده‌های حجم، زمان‌بندی و فازبندی و طرح هندسی تقاطع از دسته داده‌های ورودی هستند و داده‌های تاخیر و طول صف از دسته داده‌های خروجی هستند. به عبارت دیگر، هدف آن است که با داشتن داده‌های ورودی به داده‌های خروجی دست پیدا کنیم. برای کالیبره کردن نرم‌افزار، داده‌های ورودی به نرم‌افزار شبیه‌ساز وارد شده و داده‌های خروجی استخراج و ثبت می‌گردد. حال با تغییر در پارامترهای تقاطع و روش آزمون و خطا، تلاش می‌شود تا خروجی مشابه خروجی واقعی برداشت شده گردد. بعد از اینکه پارامترهای تنظیم شونده جهت کالیبراسیون انتخاب شد، باید متغیر خروجی که هدف کالیبراسیون هست نیز انتخاب شود. متغیر خروجی مورد نظر در اینجا طول صف است. به عبارت دیگر، پارامترهای ورودی به صورت آزمون و خطا به گونه‌ای تنظیم می‌گردند که طول صف به دست آمده از نرم افزار، مشابه طول صف ثبت شده از داده‌های میدانی باشد. گرچه که زمان تاخیر متوسط وسایل نقلیه متغیری دقیق‌تر است اما به علت آنکه برداشت آن از طریق فیلمبرداری و به صورت میدانی بسیار دشوار و عملاً ممکن نیست، از طول صف استفاده می‌شود. همچنین طول صف و زمان تاخیر متوسط، تابعی از یکدیگر هستند و هر یک می‌تواند

جدول ۲. حجم رویکردهای تقاطع در ساعات مختلف شبانه روز

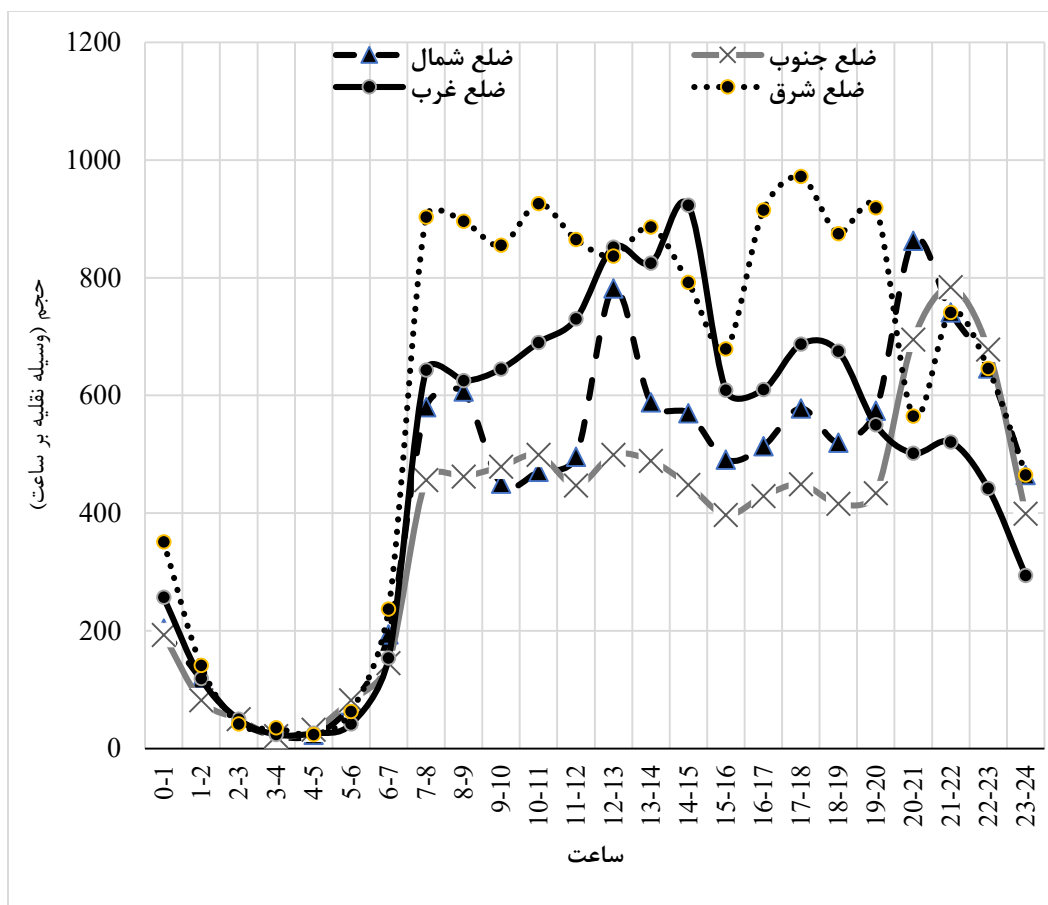
ساعت	ضلع شمال	ضلع جنوب	ضلع غرب	رویکرد شرق
۱-۰	۲۰۴	۱۹۳	۲۵۷	۳۵۱
۲-۱	۱۱۸	۸۲	۱۱۹	۱۴۱
۳-۲	۴۷	۵۰	۵۰	۴۲
۴-۳	۲۲	۲۱	۲۴	۳۵
۵-۴	۲۳	۳۲	۲۶	۲۴
۶-۵	۷۴	۸۲	۴۲	۶۳
۷-۶	۱۹۴	۱۴۵	۱۵۴	۲۳۷
۸-۷	۵۸۰	۴۵۶	۶۴۳	۱۰۷۶
۹-۸	۶۰۷	۴۶۲	۶۲۵	۸۹۶
۱۰-۹	۴۵۰	۴۷۹	۶۴۵	۸۵۵
۱۱-۱۰	۴۷۰	۴۹۹	۶۹۰	۹۲۶
۱۲-۱۱	۴۹۶	۴۴۷	۷۳۰	۸۶۵
۱۳-۱۲	۷۸۲	۴۹۹	۸۵۲	۸۳۷
۱۴-۱۳	۵۸۸	۴۸۹	۸۲۵	۸۸۶
۱۵-۱۴	۵۷۰	۴۴۸	۹۲۳	۷۹۲
۱۶-۱۵	۴۹۱	۳۹۷	۶۰۹	۶۷۹
۱۷-۱۶	۵۱۴	۴۲۹	۶۱۰	۹۱۵
۱۸-۱۷	۵۷۸	۴۴۹	۶۸۷	۹۷۲
۱۹-۱۸	۵۲۰	۴۱۶	۶۷۵	۸۷۵
۲۰-۱۹	۵۷۴	۴۳۴	۵۵۰	۹۱۹
۲۱-۲۰	۸۶۳	۶۹۵	۵۰۲	۵۶۵
۲۲-۲۱	۷۴۱	۷۸۴	۵۲۱	۷۴۱
۲۳-۲۲	۶۴۶	۶۷۸	۴۴۲	۶۴۶
۲۴-۲۳	۴۶۵	۳۹۹	۲۹۴	۴۶۵

احجام ترافیکی از شهرداری دریافت شد. شایان ذکر است شهر خوی دارای مرکز کنترل نمی‌باشد و داده‌ها و کنترل تقاطع‌ها به صورت مجزا و محلی انجام می‌گیرد. سایر مشخصات مورد نیاز مانند جهت‌های حرکتی و طرح هندسی تقاطع به صورت میدانی برداشت شد. به جهت امکان مطالعه باید داده‌های دریافت شده به صورت پیوسته در یک دوره زمانی در دسترس باشد.

طی بررسی‌های انجام شده، مشخص شد که امکان دریافت داده‌ها شامل حجم، زمان سبز، زرد و چرخه تقاطع در طی یک شبانه روز وجود دارد، از این رو دوره زمانی مطالعه یک شبانه روز و در بازه‌های یک ساعته در نظر گرفته شد. روز انتخاب شده باید در اواسط هفته، غیر تعطیل، بدون حادثه یا سانحه خاص و با شرایط جوی آرام و بدون بارش باشد. به عبارت دیگر باید یک روز کاملاً عادی باشد تا بتواند بسیاری از روزهای سال را نمایندگی کند. شکل (۵) مشخصات هندسی تقاطع را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود رویکردهای شمال و جنوب دارای دو خط عبور و رویکرد شرق و غرب دارای سه خط عبور هستند. یکی از عامل‌های مهم تاثیر گذار بر چرخه تقاطع تعداد فاز چرخه می‌باشد. زمانبندی چراغ راهنمایی تقاطع شامل ۴ فاز می‌شود. زمان زرد و تمام قرمز، به ترتیب، ۳ و ۱ ثانیه انتخاب شده بودند. انتخاب ۴ فاز به این معناست که حجم رویکردهای تقاطع قابل توجه بوده و این تقاطع در ناحیه مرکزی شهر قرار دارد.



شکل ۵. طرح هندسی تقاطع



شکل ۶. حجم وسیله نقلیه در ضلع‌های مختلف تقاطع در ساعات مختلف

۳-۱-۱- احجام رویکردهای تقاطع

خطوط رویکردها استحصال شده‌اند. به جهت نمایش بصری بهتر، احجام در نمودارها در شکل به تصویر کشیده شده است.

جدول ۲ حجم رویکردهای تقاطع در طی ۲۴ ساعت را به تفکیک یک ساعت نشان می‌دهد که از لوپ‌های القایی نصب شده در

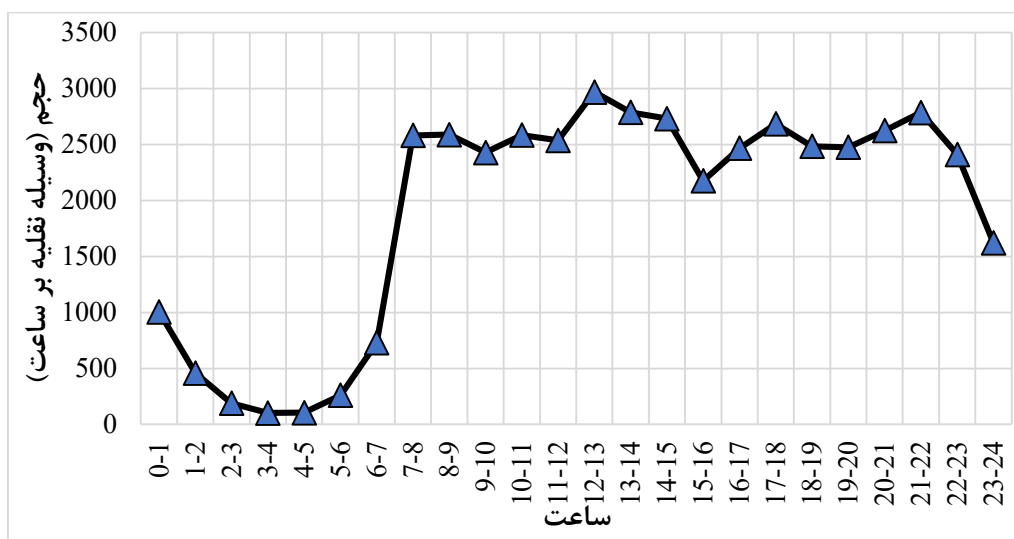
۳-۱-۱-۱- خوشه بندی احجام تردد

به سایر بازه‌ها تعمیم داده شود. برای این منظور، داده‌های حجم با روش K-means خوشه بندی می‌شود و در هر خوشه یک بازه زمانی ۵ دقیقه جهت برداشت میدانی انتخاب می‌گردد و نتایج به سایر بازه‌های زمانی آن خوشه تعمیم داده می‌شود. جدول ۳ مجموع احجام وارد شده به تقاطع در طی یک روز را نمایش می‌دهد. به جهت نمایش بهتر نمودار تغییرات حجم در شکل ۷ ترسیم شده است.

در این بخش به خوشه بندی احجام تردد پرداخته می‌شود. همانطور که پیشتر بیان شد احجام برداشت شده از لوپ‌های القایی برای این تحقیق کافی نیستند. نیاز است که اطلاعات بیشتری در خصوص اینکه چه درصد یا حجمی از ترافیک گردش، به چپ یا راست، انجام داده‌اند نیز در دسترس باشد. برداشت داده‌های گردش در تمام طول روز ممکن نیست از این رو باید بازه‌های زمانی انتخاب و داده‌های احجام گردشی برداشت شود و نتایج حاصل از آن

جدول ۳. مجموع حجم تردد برای ساعات مختلف شبانه روز

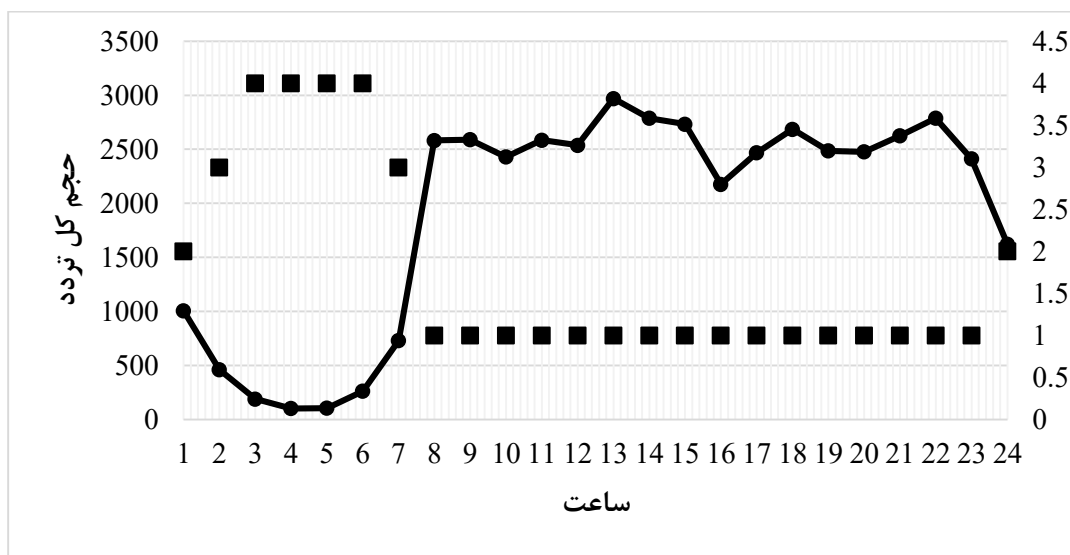
ساعت	حجم (Veh/hr)	ساعت	حجم (Veh/hr)
۱-۰	۱۰۰۵	۱۳-۱۲	۲۹۷۰
۲-۱	۴۶۰	۱۴-۱۳	۲۷۸۸
۳-۲	۱۸۹	۱۵-۱۴	۲۷۳۳
۴-۳	۱۰۲	۱۶-۱۵	۲۱۷۶
۵-۴	۱۰۵	۱۷-۱۶	۲۴۶۸
۶-۵	۲۶۱	۱۸-۱۷	۲۶۸۶
۷-۶	۷۳۰	۱۹-۱۸	۲۴۸۶
۸-۷	۲۵۸۲	۲۰-۱۹	۲۴۷۷
۹-۸	۲۵۹۰	۲۱-۲۰	۲۶۲۵
۱۰-۹	۲۴۲۹	۲۲-۲۱	۲۷۸۷
۱۱-۱۰	۲۵۸۵	۲۳-۲۲	۲۴۱۲
۱۲-۱۱	۲۵۳۸	۲۴-۲۳	۱۶۲۳



شکل ۷. حجم مجموع تردد در ساعات مختلف شبانه روز

شکل ۸ تعلق هر ساعت به هر خوشه را نشان می‌دهد. خط پیوسته که همان مجموع احجام تردد است و نقاط سیاه رنگ نشان دهنده شماره خوشه است که مقادیر آن همواره بین ۱ تا ۴ و عدد صحیح می‌باشد.

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. برای خوشه‌بندی از نرم‌افزار Minitab استفاده شد که یک نرم‌افزار آماری است و در عین حال آنکه امکانات بسیاری دیگر نرم افزارهای آماری را دارد، کار با آن بسیار راحت و قابل فهم است.



شکل ۸ خوشه متناظر ساعات مختلف

جدول ۴: خوشه‌های مختلف احجام تقاطع

اعضا	شماره خوشه
ساعات ۸ الی ۱۵	یک
ساعات ۱۶ الی ۲۳	دو
ساعات ۲۴ الی ۲ - ساعت ۷	سه
ساعات ۲ الی ۶	چهار

با توجه به موقعیت مکانی تقاطع که در هسته مرکزی شهر قرار داد و یکی از تقاطع‌های پرتردد است، تقریباً دو خوشه غالب وجود دارد که عبارتند از خوشه شماره ۱ و خوشه شماره ۴. در دو خوشه دیگر مجموعاً ۴ ساعت وجود دارد. از این رو خوشه ۲ و ۳ با یکدیگر ادغام می‌شوند تا از نظر تعداد و توجیه معنا دار شود. با نظر کارشناسان ترافیک، خوشه شماره ۱ به دو زیرخوشه تقسیم می‌شوند که یکی در برگیرنده ساعات اداری و دیگری غیر اداری است. از این رو از ساعت ۸ الی ۱۵ یک زیر خوشه و ۱۶ الی ۲۳ یک زیر خوشه دیگر در نظر گرفته می‌شود. با این امر در نهایت باز ۴ خوشه وجود خواهد داشت که جدول ۳ خوشه‌های نهایی را نشان می‌دهد.

حال که درصد و تعداد هر حرکت برای تردد رویکردها مشخص شده است می‌توان داده‌ها را در نرم‌افزار شبیه‌ساز وارد کرد.



شکل ۹. نمونه تصویر برداشت شده با پهباد



شکل ۱۰. نمونه تصویر برداشت شده از ساختمان مجاور تقاطع

حال که خوشه مشخص شد از هر خوشه به مدت ۵ دقیقه برداشت میدانی انجام می‌گیرد و داده‌های گردش‌ها و طول صف ثبت می‌شود. این بازه زمانی تقریباً در میانه خوشه انتخاب می‌شود تا نماینده بهتری برای آن خوشه باشد.

۳-۱-۲- برداشت داده‌های میدانی تقاطع

اکنون که ساعات مختلف جریان ترافیک خوشه بندی شده‌اند باید داده‌های میدانی در این خوشه‌ها برداشت شود تا بتوان به کالیبراسیون نرم افزار پرداخت. همانطور که پیشتر بیان شد از هر خوشه ۵ دقیقه داده برداشت می‌شود که شامل زمان بندی 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. گرچه که استفاده از پهباد می‌تواند در تمام تقاطع را پوشش دهد ولی با توجه به حجم تردد گاهی اوقات طول صف خارج از تصویر می‌شد که برای ثبت طول صف (که در کالیبراسیون نرم‌افزار مورد استفاده خواهد بود) از فیلم‌های برداشت شده از ساختمان مجاور استفاده شد. سایر مشخصات مانند زمان‌بندی و فازبندی تقاطع نیز از روی فیلم‌ها قابل برداشت می‌باشند.

شکل ۹ و ۱۰ نمونه‌ای از فیلم‌های برداشت شده را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که از هر خوشه و از هر رویکرد در هر خوشه به صورت جداگانه داده برداشت شد.

۳-۱-۳- تعمیم نتایج برداشت میدانی به خوشه‌ها

داده‌های تردد خودروها به تفکیک نوع حرکت شامل مستقیم، گردش به چپ و گردش به راست در بازه‌های زمانی شرح داده شده برداشت شدند. با تقسیم این داده‌ها بر حجم کل رویکرد می‌تواند درصد هر یک از حرکات را محاسبه نمود و این مقدار را به ساعات دیگر در همان خوشه تعمیم داد. جدول ۵ نشان می‌دهد که درصد گردش‌ها برای هر خوشه از احجام مختلف چگونه است.

جدول ۵. تفکیک احجام تردد رویکردها بر اساس درصد نوع حرکت در هر خوشه از احجام

غرب			شرق			جنوب			شمال			رویکرد
مستقیم	گردش به راست	گردش به چپ	مستقیم	گردش به راست	گردش به چپ	مستقیم	گردش به راست	گردش به چپ	مستقیم	گردش به راست	گردش به چپ	نوع حرکت
۸۴	۱۰	۶	۷۷	۱۵	۸	۸۵	۹	۵	۷	۱۰	۸۳	خوشه یک
۷۹	۱۱	۱۰	۸۱	۱۲	۷	۸۰	۱۱	۹	۸	۱۲	۸۰	خوشه دو
۷۸	۱۳	۹	۷۵	۱۳	۱۲	۸۲	۱۳	۵	۹	۱۷	۷۶	خوشه سه
۷۵	۱۴	۱۱	۷۹	۱۲	۹	۷۹	۱۳	۸	۷	۱۴	۷۹	خوشه چهار

تفکیک نوع حرکت به نرم افزار وارد شد و زمان بندی و فازبندی وضع موجود وارد نرم افزار 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 به دست آمده از نرم‌افزار به مقدار طول صف واقعی نزدیک شود. اگر طول صف به دست آمده از شبیه ساز 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 شده از فیلم‌ها در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱. طول صف در فیلم‌های برداشت شده

۴- نتایج پژوهش

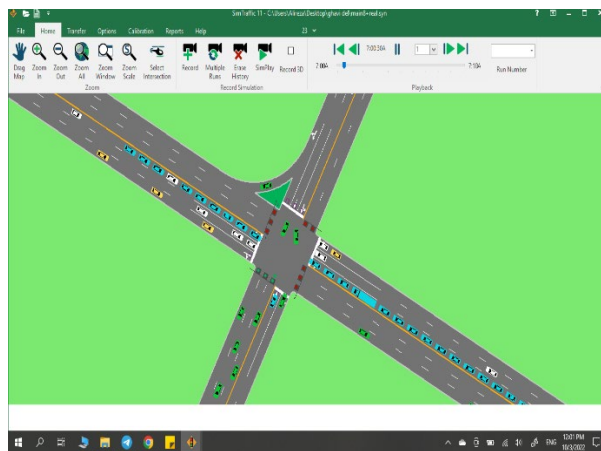
در این بخش به بررسی نتایج و مقایسه داده‌های استفاده از پارامترهای جریان ترافیک قبل و بعد از استفاده از هوشمندسازی تقاطع پرداخته می‌شود. شایان ذکر است که مهم‌ترین پارامتر جریان ترافیک در تقاطع‌ها، زمان تاخیر (کل یا به ازای وسایل نقلیه) است، از این رو از تجزیه و تحلیل این پارامتر برای بررسی اثرات هوشمندسازی استفاده می‌شود. برای این مقایسه، زمان بندی آن قبل و بعد از هوشمندسازی در نرم‌افزار Synchro، شبیه‌سازی می‌شود. برای شبیه‌سازی در نرم‌افزار نیز نیاز به کالیبراسیون نرم‌افزار با توجه به داده‌های میدانی می‌باشد.

۴-۱- کالیبره کردن نرم‌افزار شبیه‌ساز

برای استفاده از نرم‌افزار باید آن را کالیبره کرد. یعنی باید آن را به گونه‌ای تنظیم کرد که بعد از وارد کردن داده‌های تردد، نتایج تردد مشابه واقعیت تقاطع مورد مطالعه باشد. برای کالیبراسیون نیاز به مشخص کردن یک خروجی یا معیار هدف می‌باشد تا نرم‌افزار بر اساس آن کالیبره گردد. در اینجا از طول صف بر اساس تعداد وسیله نقلیه بهره‌برده می‌شود. زیرا که برداشت آن ممکن و راحت‌تر از پارامترهای دیگر است و همچنین خود می‌تواند نماینده مقدار تاخیر در تقاطع باشد که یکی از مهم‌ترین معیارهای نحوه عملکرد تقاطع است. به منظور کالیبره کردن داده‌های تردد به

طرح هندسی تقاطع در آن‌ها ثابت و فقط احجام برداشت شده متناظر ساعات مختلف در آن‌ها وارد شد. هر مدل یک بار در حالت هوشمند و یک بار در حالت غیر هوشمند اجرا و تحلیل شد. به این صورت ۴۸ حالت از تقاطع ساخته شد.

در حالت غیر هوشمند احجام تردد و همچنین سیکل، فازبندی و زمان بندی تقاطع در نرم افزار وارد شد و فقط زمان تاخیر برداشت شد. یکی از مسائل مهم در مقایسه نتایج هوشمندسازی، چگونگی محاسبه طول چرخه و زمان بندی تقاطع قبل در حالت غیر هوشمند می‌باشد. با بررسی‌ها و مکاتبات انجام شده با بخش ترافیک شهرداری خوی مشخص شد که در چند بازه زمانی احجام تردد آمار برداری شده است و بر اساس فرمول ویستر و همچنین نسبت احجام هر رویکرد به محاسبات مورد نیاز پرداخته شده است. در حالت هوشمند احجام تردد و فازبندی تقاطع در نرم افزار وارد شد و طول سیکل چراغ و زمان تاخیر برداشت شد. شایان ذکر است که در هر دو حالت احجام تردد و فازبندی چراغ یکسان بوده است. جدول ۵ نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها را نشان می‌دهد.



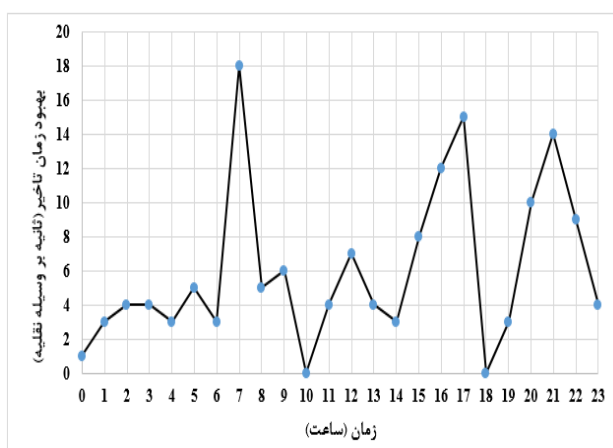
شکل ۱۲. طول صف در نرم افزار Synchro

۴-۲- مقایسه تاخیر 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 شبانه روز در آن وارد می‌شود و زمان تاخیر وسایل نقلیه از آن برداشت می‌شود. برای برداشت زمان تاخیر در تقاطع، ۲۴ مدل در سینکرو ساخته شد که

جدول ۶. تاخیر قبل و بعد از هوشمندسازی تقاطع

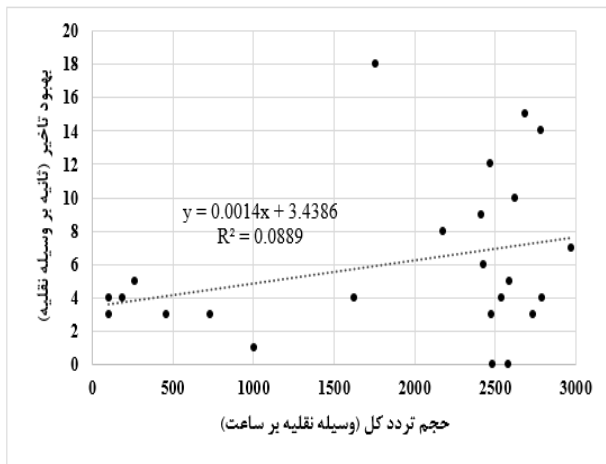
تفاوت تاخیر قبل و بعد (ثانیه بر وسیله نقلیه)	بعد از هوشمندسازی			قبل از هوشمندسازی		
	تاخیر (ثانیه بر وسیله نقلیه)	سیکل تقاطع (ثانیه)	زمان (ساعت)	تاخیر (ثانیه بر وسیله نقلیه)	سیکل تقاطع (ثانیه)	زمان (ساعت)
۱	۳۶	۵۵	۰	۳۷	۶۰	۰
۳	۲۰	۴۵	۱	۲۳	۶۰	۱
۴	۱۸	۴۵	۲	۲۲	۶۰	۲
۴	۱۸	۴۵	۳	۲۲	۶۰	۳
۳	۱۸	۴۵	۴	۲۱	۶۰	۴
۵	۲۵	۴۵	۵	۳۰	۶۰	۵
۳	۲۵	۴۵	۶	۲۸	۶۰	۶
۱۸	۷۹	۱۵۰	۷	۹۷	۱۱۰	۷
۵	۷۱	۱۱۰	۸	۷۶	۱۱۰	۸

۶	۶۲	۹۰	۹	۶۸	۱۱۰	۹
۰	۷۰	۱۱۰	۱۰	۷۰	۱۱۰	۱۰
۴	۶۸	۱۰۰	۱۱	۷۲	۱۱۰	۱۱
۷	۹۸	۱۶۰	۱۲	۱۰۵	۱۲۰	۱۲
۴	۸۰	۱۵۰	۱۳	۸۴	۱۲۰	۱۳
۳	۷۹	۱۵۰	۱۴	۸۲	۱۲۰	۱۴
۸	۲۷	۹۰	۱۵	۳۵	۷۰	۱۵
۱۲	۷۴	۹۰	۱۶	۸۶	۷۰	۱۶
۱۵	۷۵	۱۴۰	۱۷	۹۰	۱۲۰	۱۷
۰	۶۹	۱۲۰	۱۸	۶۹	۱۲۰	۱۸
۳	۶۴	۱۰۰	۱۹	۶۷	۱۲۰	۱۹
۱۰	۵۶	۹۰	۲۰	۶۶	۱۲۰	۲۰
۱۴	۷۴	۱۰۰	۲۱	۸۸	۸۰	۲۱
۹	۵۲	۹۰	۲۲	۶۱	۸۰	۲۲
۴	۳۲	۶۰	۲۳	۳۶	۸۰	۲۳



شکل ۱۳. بهبود زمان تاخیر در ساعات مختلف شبانه روز

در ادامه به بررسی رابطه بهبود زمان تاخیر با مشخصات ترافیکی تقاطع پرداخته می‌شود. شکل ۱۵ رابطه حجم کلی تردد در تقاطع به بهبود زمان تاخیر را نمایش می‌دهد. به صورت شهودی به نظر می‌رسد که به طور نسبی با افزایش تقاطع بهبود زمان تاخیر افزایش یافته است. به عبارت دیگر در ساعات شلوغ‌تر، هوشمندسازی اثرات بیشتری داشته است. اما شیب خط بسیار کوچک و نزدیک به صفر (۰,۰۰۱۴) است یعنی به ازای هر ۱۰۰۰ واحد افزایش حجم، ۱,۴ ثانیه بهبود افزایش یافته است. از سوی دیگر، نکویی برازش خط بسیار پایین (۰,۰۸۸۹) است و نشان از عدم تناسب خط برازش شده با داده‌ها دارد. به عبارت دیگر تغییرات بسیار اندک بوده است و متوسط بهبود زمان تاخیر در ساعات مختلف تغییرات قابل توجهی نداشته یا از روندی پیروی نکرده است. با توجه به خط برازش شده می‌توان گفت که اثرات قابل اغماض بوده و عملاً رابطه‌ای بین حجم تردد کل و بهبود زمان تاخیر وجود ندارد. به همین دلیل به رابطه سیکل چراغ راهنمایی و بهبود زمان تاخیر بررسی می‌گردد.

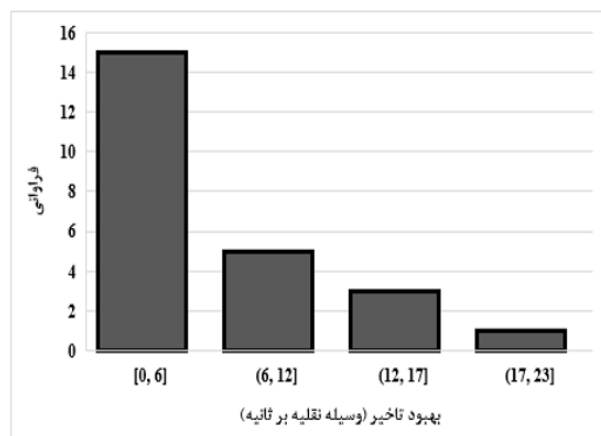


شکل ۱۵. رابطه حجم و بهبود زمان تاخیر

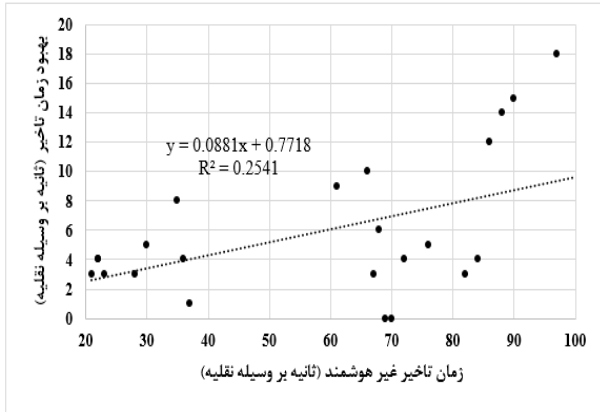
شکل ۱۶ رابطه سیکل چراغ راهنمایی و بهبود زمان تاخیر حاصل از هوشمندسازی تقاطع را نشان می‌دهد. در اینجا نیز مانند رابطه حجم و بهبود زمان تاخیر، به صورت شهودی به نظر می‌رسد که رابطه خطی و صعودی وجود دارد. اما مقادیر شیب (۰,۰۴۴۱) و نکویی برازش (۰,۱۲۸۵) نشان از عدم وجود رابطه قابل توجه دارند. شایان ذکر که نکویی برازش هنگامی که بزرگتر ۰,۷ باشد،

ستون آخر جدول ۶ نشان‌دهنده تفاوت یا بهبود ناشی از هوشمندسازی تقاطع است. این ستون نشان می‌دهد که در اثر هوشمندسازی چه مقدار تاخیر متوسط وسایل نقلیه، کاهش یافته است. به عبارت دیگر به اختلاف زمان تاخیر حالت هوشمند و غیرهوشمند، بهبود زمان تاخیر گفته می‌شود. بدیهی است که این عدد همواره مثبت است زیرا تاخیر در حالت غیرهوشمند همواره از حالت هوشمند بیشتر است. شکل ۱۳ این تفاوت را به صورت گرافیکی به نمایش می‌کشد. همانطور که ملاحظه می‌شود این تفاوت در ساعات مختلف روز تغییر می‌کند. در ادامه به بررسی چگونگی تغییرات بهبود زمان تاخیر پرداخته می‌شود.

مشاهده می‌گردد که هوشمندسازی به طور متوسط باعث کاهش زمان تاخیر ۶ ثانیه بر وسیله نقلیه هر سیکل از تقاطع در ساعات مختلف شده است. در کمترین و بیشترین حالت، به ترتیب، ۱ و ۱۸ ثانیه بر وسیله نقلیه بوده است. اگر در هر ساعت یک سیکل تقاطع در فرض شود، در طی یک روز ۱۴۵ ثانیه بر وسیله نقلیه کاهش زمان تاخیر حاصل شده است. بدیهی است که به منظور محاسبه دقیق باید تعداد سیکل‌ها در ساعات مختلف محاسبه شود. شکل ۱۴ توزیع بهبود زمان تاخیر را نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که حدود ۵۰ درصد از داده‌های بهبود تاخیر در بازه ۰ تا ۶ ثانیه هستند که میانگین زمان تاخیر نیز در همین بازه قرار داشت. به عبارت دیگر توزیع داده‌های تاخیر به سمت اعداد کوچکتر تمایل دارند و از یک توزیع مشابه نرمال پیروی نمی‌کنند.

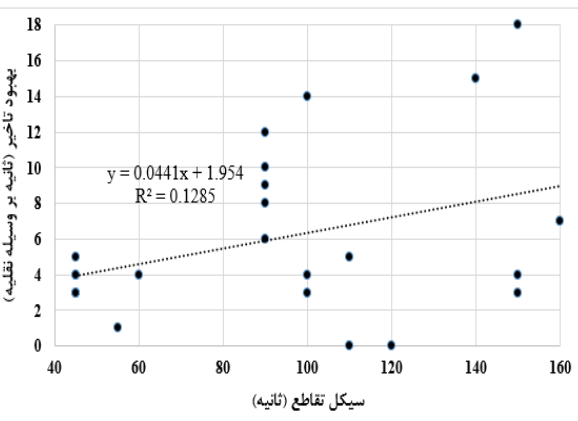


شکل ۱۴. توزیع بهبود زمان تاخیر



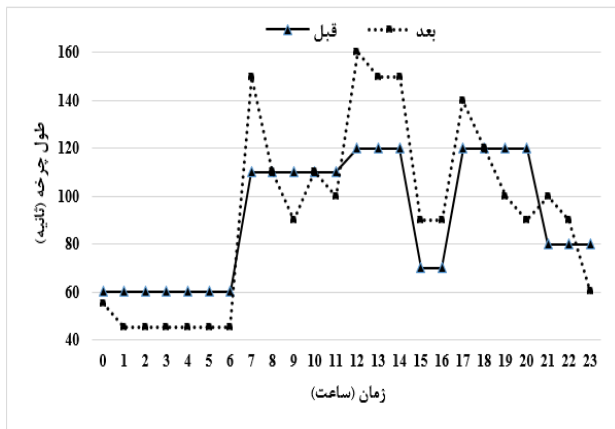
شکل ۱۷. رابطه زمان تاخیر غیر هوشمند و بهبود زمان تاخیر

شکل ۱۸ به مقایسه سیکل چراغ راهنمایی قبل و بعد از هوشمندسازی می پردازد. دیده می شود که روند کلی در هر دو حالت یکی است ولی تغییرات در حالت هوشمند بیشتر و شدیدتر است. این امر بدیهی و قابل انتظار می شود زیرا که خصوصیت اصلی حالت هوشمند، تغییرات آن متناسب و همزمان با تغییرات حجم و شرایط ترافیکی جریان است. در حالیکه در حالت غیرهوشمند سیکل چراغ از پیش تعیین شده است و به جریان ترافیک تحمیل می گردد. در ادامه همین مسئله، تفاوت تغییرات سیکل در طی بازه های زمانی در حالت هوشمند و غیر هوشمند، بررسی می گردد که آیا رابطه ای بین این تغییرات و بهبود زمان تاخیر وجود دارد.



شکل ۱۶. رابطه سیکل چراغ و بهبود زمان تاخیر

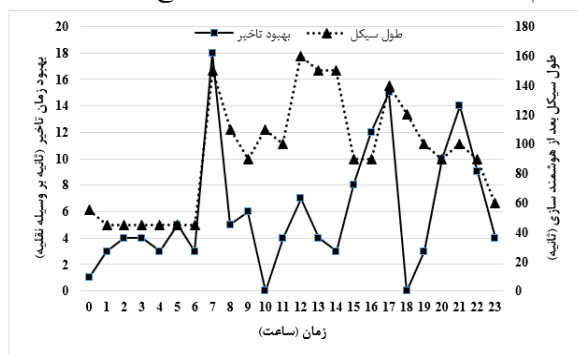
شکل ۱۷ رابطه زمان تاخیر در حالت غیرهوشمند و بهبود زمانی تاخیر را به تصویر کشیده است. گرچه که نسبت به دو رابطه قبلی بررسی شده، پارامترهای برازش بهتر شده و افزایش یافته اند، اما کماکان نمی توان رابطه ای معنادار بین زمان تاخیر در حالت غیرهوشمند و بهبود زمان تاخیر مشاهده نمود. همچنان که مشاهده می گردد که با افزایش زمان تاخیر غیرهوشمند، نمودار صعودی بوده است اما در برخی نقاط (مانند ثانیه ۷۰) بهبود زمان تاخیر به مقدار مینیمم خود رسیده است. پس نمی توان نتیجه گرفت که رابطه ای معنادار وجود دارد و باید رابطه بهبود زمان تاخیر با سایر مشخصات ترافیکی تقاطع را باز جستجو نمود. از این رو طول سیکل چراغ در ادامه بیشتر بررسی می گردد.



شکل ۱۸. طول سیکل چراغ قبل و بعد از هوشمندسازی

غیرهوشمند است. می‌توان گفت که با توجه به اینکه تغییرات سیکل غیرهوشمند به طول کامل و پیوسته متناسب با حجم جریان ترافیک نیست، همین مسئله موجب ایجاد تاخیر بیش از مقدار بهینه می‌گردد. همانطور که مشاهده شد تغییرات طول سیکل غیرهوشمند دارای تاخیر یا تقدم نسبت تغییرات حجم جریان بوده است و همین مسئله موجب عدم همخوانی طول سیکل غیرهوشمند با حجم جریان و ایجاد تاخیر شده است.

حال که تقاطع، هوشمندسازی شده است و تاخیرات کاملاً متناسب با حجم تردد هستند، این تاخیرات آشکار شده‌اند و تفاوت آن با حالت غیرمشهود قابل رویت شده است. به عبارت دیگر هوشمندسازی چراغ موجب تغییرات بیشتر و سریع تر سیکل و متناسب با حجم تردد شده است تا از بروز تاخیرات بیشتر ناشی از عدم هماهنگی و همخوانی با مشخصات تقاطع جلوگیری کند.



شکل ۲۰. رابطه طول سیکل بعد از هوشمندسازی و بهبود زمان تاخیر

۵- نتیجه‌گیری

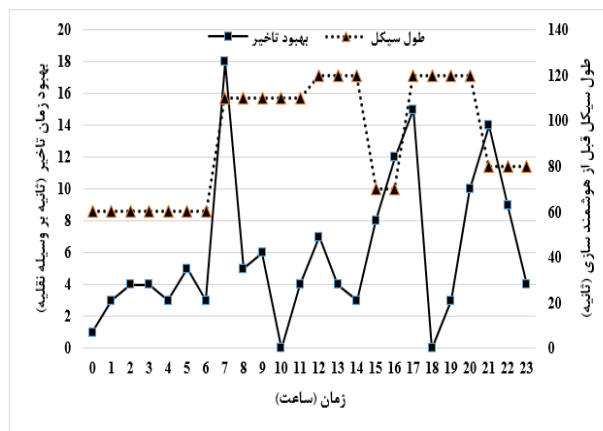
هدف از این پژوهش بررسی اثر هوشمندسازی چراغ راهنمایی تقاطع بر شاخص‌های جریان ترافیکی است. برای این منظور به کالیبراسیون نرم‌افزار شبیه‌ساز تقاطع سینکرو پرداخته شد و سپس شرایط تقاطع قبل و بعد از هوشمندسازی در آن شبیه‌سازی گردید و به مقایسه نتایج پرداخته شد. در نیل به این هدف نتایجی حاصل شد که در زیر به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

-رابطه معناداری بین بهبود زمان تاخیر ناشی از هوشمندسازی چراغ با طول سیکل، حجم تردد و زمان تاخیر (چراغ هوشمند و غیرهوشمند) یافته نشد.

-عدم هماهنگی و همخوانی سیکل چراغ راهنمایی با حجم تردد عامل اصلی ایجاد تاخیر در حالت غیرهوشمند بود.

-نقاط ماکزیمم بهبود زمان تاخیر در محل‌های تغییر سیکل در چراغ غیرهوشمند بود. مقادیر بهبود زمان نیز متناسب با مقدار تغییر تغییرات سیکل چراغ هوشمند بود.

شکل ۱۹ بهبود زمان تاخیر را متناظر با سیکل قبل از هوشمندسازی نمایش می‌دهد. دیده می‌شود که در ساعاتی که طول سیکل چراغ تغییراتی داشته است، بهبود زمان تاخیر، تغییر قابل ملاحظه‌ای کرده است. در ساعت ۷، که حجم جریان ترافیک افزایش یافته است، بهبود زمان تاخیر کاملاً مشهود است. به عبارت دیگر کارایی هوشمندسازی چراغ راهنمایی تقاطع در ساعات تغییر حجم تردد جریان ترافیک افزایش یافته است زیرا که بهبود زمان تاخیر افزایش یافته است. همین‌الگو در ساعت ۱۷ نیز قابل مشاهده است. یک ماکزیمم بهبود زمان تاخیر در ساعت ۲۱ نیز مشاهده می‌گردد که بر خلاف دو اکستریم قبلی، در شرایطی رخ داده است که طول سیکل به صورت چشم‌گیری کاهش یافته است. این مسئله نشان می‌دهد که در شرایطی که کاهش ناگهانی سیکل در حالت غیرهوشمند هم وجود داشته است موجب افزایش بهبود زمان تاخیر هوشمندسازی شده است. نکته قابل توجه دیگر در خصوص نمودارها آن است که مقدار بهبود زمان تاخیر هوشمندسازی، متناسب با مقدار تاخیر سیکل است. مثلاً در ساعت ۱۳ که تغییرات طول سیکل کوچک بوده است، ماکزیمم ناشی از بهبود زمان تاخیر ایجاد شده است ولی این ماکزیمم کوچک بوده است و قابل قیاس با سه ماکزیمم دیگر نیست. برای بررسی بیشتر و استحصال نتایج دیگر به بررسی رابطه بهبود زمان تاخیر هوشمندسازی و طول سیکل بعد از هوشمندسازی پرداخته می‌شود.



شکل ۱۹. رابطه طول سیکل قبل از هوشمندسازی

و بهبود تاخیر

شکل ۲۰ رابطه طول سیکل چراغ بعد از هوشمندسازی و بهبود زمان تاخیر را نشان می‌دهد. دیده می‌شود که نرخ و روند تغییرات بهبود زمان تاخیر متناسب با طول سیکل بعد از هوشمندسازی است. این مسئله موید نمودار قبلی، رابطه بهبود زمان تاخیر و سیکل

Mode Choice; Case Study: Qazvin City. *Space Ontology International Journal*, 10(3), 31-46.

-Jamal, A., Tauhidur Rahman, M., Al-Ahmadi, H. M., Ullah, I., & Zahid, M. (2020). Intelligent intersection control for delay optimization: Using meta-heuristic search algorithms. *Sustainability*, 12(5), 1896.

-Kabir, R., Remias, S. M., Lavrenz, S. M., & Waddell, J. (2021). Assessing the impact of traffic signal performance on crash frequency for signalized intersections along urban arterials: A random parameter modeling approach. *Accident Analysis & Prevention*, 149, 105868.

-Kanungo, A., Sharma, A., & Singla, C. (2014, March). Smart traffic lights switching and traffic density calculation using video processing. In 2014 recent advances in Engineering and computational sciences (RAECS), IEEE. 1-6.

-Kumar, P. M., Manogaran, G., Sundarasekar, R., Chilamkurti, N., & Varatharajan, R. (2018). Ant colony optimization algorithm with internet of vehicles for intelligent traffic control system. *Computer Networks*, 144, 154-162.

-Lin, H., Han, Y., Cai, W., & Jin, B. (2022). Traffic signal optimization based on fuzzy control and differential evolution algorithm. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*.

-Mahdavi, A., Mamdohi, A. (2019). Sensitivity analysis of traffic characteristics against volume changes for normal and actuated traffic lights (case study: Mahan City Street, Karaj). *Road Journal*, Vol. 27, No. 98, 133-144 (in Persian).

-Marisamynathan, S., & Vedagiri, P. (2018). A new approach to estimate pedestrian delay at signalized intersections. *Transport*, 33(1), 249-259.

-Navarro-Espinoza, A., López-Bonilla, O. R., García-Guerrero, E. E., Tlelo-Cuautle, E., López-Mancilla, D., Hernández-Mejía, C., & Inzunza-González, E. (2022). Traffic flow prediction for smart traffic lights using machine learning algorithms. *Technologies*, 10(1), 5.

-Preethi, P., Varghese, A., & Ashalatha, R. (2016). Modelling delay at signalized intersections under heterogeneous traffic conditions. *Transportation Research Procedia*, 17, 529-538.

-Sofia, G. G., Kadhim, A. J., & Khalil, S. M. (2014). Development of delay model for selected signalized intersections at CBD in Sulaymaniyah City. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 18(5), 294-307.

-V.B. Rad, H. Najafpour, E. Shieh, H.B. Rad, Questionnaire design: relation of physical activity and safety, *Int. J. Architect. Eng. Urban Plan* 29 (1) (2019) 113-123.

-Vilarinho, C., Tavares, J. P., & Rossetti, R. J. (2017). Intelligent traffic lights: Green time period negotiaton. *Transportation Research Procedia*, 22, 325-334.

-روند تغییرات سیکل در چراغ هوشمند متناسب با تغییرات بهبود زمان تاخیر بود.
بهبود زمان تاخیر از توزیع نرمال پیروی نمی‌کرد و بیشتر به سمت اعداد پایین‌تر تمایل داشت.

۶- مراجع

-Abdi, A., Mosadeq, Z., & Bigdeli Rad, H. (2020). Prioritizing Factors Affecting Road Safety Using Fuzzy Hierarchical Analysis. *Journal of Transportation Research*, 17(3), 33-44.

-Afandizadeh Zargari, S., Bigdeli Rad, H., & Shaker, H. (2019). Using optimization and metaheuristic method to reduce the bus headway (Case study: Qazvin Bus Routes). *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, 10(4), 833-849.

-Afandizadeh, S., & Bigdeli Rad, H. (2021). Developing a model to determine the number of vehicles lane changing on freeways by Brownian motion method. *Nonlinear Engineering*, 10(1), 450-460.

-Almutairi, F., Yang, H., & Rakha, H. (2017, June). Eco-cooperative adaptive cruise control at multiple signalized intersections: Network-wide evaluation and sensitivity analysis. In 2017 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), IEEE. 520-525.

-Ameri, A., Bigdeli Rad, H., Shaker, H., & Ameri, M. (2021). Cellular Transmission and Optimization Model Development to Determine the Distances between Variable Message Signs. *Journal of Transportation Infrastructure Engineering*, 7(1), 1-16.

-Andronov, R., & Leverents, E. (2018). Calculation of vehicle delay at signal-controlled intersections with adaptive traffic control algorithm. In MATEC Web of Conferences, *EDP Sciences*. Vol. 143, 04008.

-Damaskou, E., Kehagia, F., Karagiotas, I., Anagnostopoulos, A., & Pitsiava-Latinopoulou, M. (2022). Driver's Perceived Satisfaction at Urban Roundabouts—A Structural Equation-Modeling Approach. *Future Transportation*, 2(3), 675-687.

-Fkadu Kebede, A. (2020). Evaluation of Adaptive Traffic Signal Control Using Traffic Simulation: A case study in Addis Ababa, Ethiopia.

-Gallelli, V., Iuele, T., Vaiana, R., & Vitale, A. (2017). Investigating the transferability of calibrated microsimulation parameters for operational performance analysis in roundabouts. *Journal of Advanced Transportation*.

-Hajisoleimani, M. M., Abdi, A., & Bigdeli Rad, H. (2021). Intermodal Non-Motorized Transportation

The Impact of Smart Controller Devices on Traffic Indicators at Signalized Intersections

Shahriar Afandizadeh, Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Hadi Ghavidel, M.Sc., Student, Islamic Azad University-South Tehran Branch, Tehran, Iran.

Hamid Bigdeli Rad, Ph.D., Candidate, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: zargari@iust.ac.ir

Received: April 2025- Accepted: November 2025

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the effect of smart traffic signals on traffic indicators. For this purpose, the calibration of the Synchro 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. The intersection of Shariati St. and 22 Bahman Street, which is one of the most important and central intersections of Khoy city, was chosen as the case study. This intersection is located in the central core of the city and is one of the main and high-traffic intersections of the city. The results showed that the maximum points of delay time improvement were in the places of cycle change in non-smart signals. Also, no significant relationship was found between the improvement of the delay time due to the intelligentization of the signal with the cycle length, traffic volume and delay time (smart and non-intelligent signal). The lack of coordination and matching of the traffic signal cycle with the volume of traffic was the main cause of the delay in the unintelligent mode. 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, Intelligentization, Intersection Delay, Traffic Signal Cycle Length