

## کنترل ترافیک تطبیقی غیر خط مبنا برای تقاطعات چراغ‌دار شهر تهران

### مقاله علمی - پژوهشی

محمدرضا سلطانی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

علیرضا اسلامی، دانشجوی دکتری، گروه حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

افشین شریعت مهیمنی\*، استاد، گروه حمل و نقل، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: shariat@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۵ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱

صفحه ۶۲-۴۵

چکیده

امروزه برای شناسایی و مدیریت ترافیک تقاطعات چراغ‌دار با تغییرات حجم قابل توجه، از سیستم‌های کنترل ترافیک تطبیقی استفاده می‌شود که در مقایسه با سیستم‌های کنترل هوشمند و زمان ثابت، می‌توانند با شناخت لحظه‌ای ترافیک، زمان‌بندی تطبیقی و هماهنگ‌سازی بین تقاطعات منجر به بهبود شرایط ترافیکی در سراسر شبکه شوند. در ایران از سیستم کنترل ترافیک تطبیقی اسکتس استفاده می‌شود که در آن، شناسایی ترافیک در هر خط توسط حلقه‌های القاتی و به صورت خط مبنا انجام می‌گردد، این در حالی است که در چندین کلان‌شهر کشور در عمل جریان ترافیک به صورت غیرخط مبنا از تقاطعات عبور می‌کند. از این رو اسکتس عملکرد دقیقی در شناسایی شرایط ترافیکی غیر خط مبنا نداشته و همین امر موجب خطا در زمان‌بندی می‌شود. در نتیجه، ارائه‌ی یک روش جدید جهت شناسایی و زمان‌بندی مبتنی بر شرایط ترافیکی غیرخط مبنا برای تقاطعات، امری لازم است. لذا در این مطالعه، یک شاخص عملکردی تحت عنوان سطح اشغال که در شرایط ترافیکی مختلف از جمله شرایط ترافیک غیرخط مبنا قابل محاسبه است ارائه شده است که بر مبنای آن طول سیکل محاسبه شده و به کمک الگوریتم پیشنهادی زمان‌بندی تطبیقی مبتنی بر شرایط ترافیکی غیرخط مبنا برآورد می‌گردد. با مطالعه موردی انجام شده بر روی یک تقاطع تحت کنترل اسکتس، وضعیت موجود تقاطع تحت کنترل اسکتس با وضعیت تقاطع تحت روش پیشنهادی با طول سیکل متغیر و حالت طول سیکل ثابت مقایسه گردیده است. بر اساس نتایج، در شاخص‌های تأخیر و طول صف، وضعیت تقاطع تحت زمان‌بندی الگوریتم کنترل تطبیقی پیشنهادی ارائه شده در این مطالعه نسبت به سایر روش‌های کنترلی بهبود بهتری داشته است. میزان تأخیر در تقاطع مورد نظر در زمانی که زمان‌بندی توسط روش پیشنهادی ارائه می‌شود به‌طور متوسط به میزان ۳۸ درصد نسبت به زمان‌بندی ارائه شده توسط اسکتس و همچنین ۳۱ درصد نسبت به زمان‌بندی ارائه شده مطالعه موردی مشابه با طول سیکل ثابت بهبود داشته است.

واژه‌های کلیدی: سیستم‌های کنترل تطبیقی چراغ، اسکتس، بهینه‌سازی زمان‌بندی تقاطعات چراغ‌دار، سطح اشغال، ترافیک

غیرخط مبنا

### ۱- مقدمه

رویکردهای مختلف هستند، می‌توانند نقش بسزایی در افزایش یا کاهش تراکم ترافیک در شبکه معابر شهری داشته باشند. از همین رو، جهت مدیریت ترافیک تقاطعات از چراغ‌های راهنمایی استفاده شده و نیز زمان‌بندی بهینه و هوشمند چراغ‌های

با افزایش روزافزون جمعیت در شهرها و به دنبال آن نیاز فزاینده به جابجایی افراد با وسایل نقلیه شخصی و عمومی، حجم ترافیک در شبکه معابر شهری با رشد قابل توجهی روبرو شده است. تقاطعات به عنوان نقاطی که محل تلاقی جریان‌های ترافیکی

معايير شهری ایران از جمله شهر تهران، شرایط ترافیکی حاکم بر تقاطعات، به صورت غیرخط مینا و ناهمگن است. در شرایط ترافیکی ناهمگن، موتورسیکلت‌ها و خودروها با ابعاد مختلف در جریان ترافیک حضور دارند. در شرایط ترافیکی غیرخط مینا، وسایل نقلیه بدون توجه به خطوط خیابان در هر فضای در دسترس در عرض خیابان حرکت می‌کنند. در تقاطعات نیز وسایل نقلیه، بدون توجه به خط‌کشی معابر توقف و شروع به حرکت می‌کنند؛ بنابراین در چنین شرایط ترافیکی نمی‌توان جریان ترافیک را با وسایل نقلیه یکسان موردبررسی قرارداد. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است در شرایط ترافیکی ناهمگن و غیرخط مینا، فرض قرارگیری وسایل نقلیه در یک ستون در تقاطعات، غیردقیق به نظر می‌رسد. در نتیجه، با توجه به شرایط ترافیکی غیرخط مینا در تقاطعات شهرهای کشور و شناسایی ترافیک خط مینای اسکنس در هر سیکل، زمان‌بندی انجام شده توسط این سیستم برای چنین شرایط ترافیکی غیردقیق خواهد بود. از همین رو، در این مطالعه، یک روش کنترلی تطبیقی برای شناسایی و زمان‌بندی تقاطعات شهری با شرایط ترافیکی غیرخط مینا نظیر شهر تهران ارائه می‌شود. با به‌کارگیری این روش، شناسایی ترافیک معابر شهری با ترافیک غیرخط مینا به صورت بهتری انجام می‌شود و با ورود داده‌های ترافیکی صحیح به الگوریتم کنترل تطبیقی ارائه شده زمان‌بندی بهینه برای تقاطع محاسبه و پیاده‌سازی می‌شود.

راهنمایی تقاطعات بیش از پیش مورد اهمیت و توجه مدیران شهری قرار گرفته است. در راستای این نیاز، سیستم‌های مختلف زمان‌بندی چراغ برای بهبود وضعیت ترافیک تقاطعات چراغ‌دار شهرها توسعه یافته است. سیستم‌های کنترل چراغ به‌طورکلی بر اساس روش عملکردی در چهار دسته قرار می‌گیرند: سیستم‌های کنترل چراغ زمان ثابت<sup>۱</sup>، نیمه‌هوشمند<sup>۲</sup>، تمام هوشمند<sup>۳</sup> و کنترل تطبیقی<sup>۴</sup> [FHWA, 2008]. سیستم‌های کنترل تطبیقی چراغ، با شناسایی وضعیت لحظه‌ای ترافیک رویکردهای تقاطع، زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی تقاطعات را در پاسخ به تغییرات ترافیکی تغییر می‌دهند و در نتیجه با تطبیق زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی با وضعیت ترافیکی، منجر به کاهش تأخیر و توقف وسایل نقلیه در تقاطعات می‌شوند. تاکنون در دنیا بیش از ۲۵ سیستم کنترل تطبیقی توسعه یافته که سیستم کنترل تطبیقی ترافیک سیدنی<sup>۵</sup> در استرالیا و سیستم کنترل تطبیقی اسکوت<sup>۶</sup> در کشور انگلیس از جمله آن‌ها هستند و همچنین در سایر کشورهای دنیا، سیستم‌های کنترل تطبیقی اوپاک<sup>۷</sup>، پروداین<sup>۸</sup>، اسپات<sup>۹</sup>، یوتوپیا<sup>۱۰</sup>، رودس<sup>۱۱</sup>، بالانس<sup>۱۲</sup> و موشن<sup>۱۳</sup> توسعه یافتند. در ایران نیز در تقاطعات شهرهای تهران، اصفهان، مشهد، شیراز و تبریز از سیستم کنترل تطبیقی ترافیک اسکنس استفاده شده است. در اسکنس، شناسایی ترافیک به صورت خط مینا با برداشت داده‌های ترافیکی خطوط توسط حلقه‌های القایی انجام می‌شود و سپس بر اساس شرایط ترافیکی شناسایی شده، زمان‌بندی انجام می‌شود. قابل ذکر است که در



شکل ۱. ترافیک ناهمگن و بی‌نظم

## ۲- پیشینه تحقیق

در دهه‌های گذشته مطالعات مختلفی در راستای توسعه یا بهبود کنترل تطبیقی ترافیک تقاطعات صورت گرفته است. برخی از این پژوهش‌ها به توسعه یک الگوریتم جدید برای کنترل تطبیقی ترافیک تقاطعات منجر شده و برخی نیز به بهبود عملکرد سیستم‌های کنترل تطبیقی موجود پرداخته‌اند. در ایران نیز مطالعاتی در جهت بهبود عملکرد سیستم کنترل تطبیقی انجام شده است. در پژوهش حاذقی و همکاران [Hazeghi et al. 2012] آمار واقعی به دست آمده ناشی از شمارش وسایل نقلیه در بیش از ۳۰ تقاطع شهر مشهد، طی ساعات اوج و غیر اوج ترافیک با داده‌های نرم‌افزار اسکتس که توسط شناساگرهای القائی برداشت شده، مقایسه شد. پس از مشاهده خطا در حجم‌های شمارش شده توسط حسگرهای القائی سیستم اسکتس، مدل‌هایی ارائه دادند که با ورود احجام شمارش شده توسط اسکتس به آن مدل، حجم محاسبه شده توسط مدل با حجم عبوری واقعی مشاهده شده همخوانی مناسبی دارد. در این پژوهش با تحلیل حساسیت در مدل ارائه شده، مشخص شد که هر چه میزان نرخ اشباع در شناساگر بالاتر رود، میزان خطا بیشتر می‌شود. در پایان‌نامه‌ی حقیقی [Haghighi. 2015] به شناخت الگوریتم اسکتس پرداخته شده و با معرفی درجه‌ی اشباع به عنوان مهم‌ترین پارامتر الگوریتم اسکتس، به کالیبره کردن درجه‌ی اشباع برای دستیابی به طول سیکل‌های دقیق‌تر پرداخته شده است. در پایان‌نامه‌ی اسلامی [Eslami. 2021] باهدف بهبود عملیات اسکتس در تقاطعات با شرایط ترافیک غیرخط منبنا، برای پارامتر درجه‌ی اشباع ضریب کالیبراسیون به صورت ثابت و متغیر تعیین شد. پس از اعمال این ضرایب بر درجه‌ی اشباع اسکتس و محاسبه‌ی زمان‌بندی مبتنی بر آن و سپس شبیه‌سازی دو سناریو، نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که با اعمال ضریب کالیبراسیون ثابت و متغیر به درجه‌ی اشباع، میزان درجه‌ی اشباع رویکردهای تقاطع به ترتیب ۱۰٪ و ۴۱٪ به واقعیت نزدیک شده و منجر به کاهش تأخیر تقاطع به میزان ۲۶٪ و ۳۷٪ نسبت به وضع موجود تقاطع تحت کنترل اسکتس شدند. همچنین با توجه به شرایط ترافیکی ناهمگن و رفتار رانندگی غیرخط منبنا در ایران، با فرض دقیق نبودن شناسایی خط منبنا اسکتس، از یک رویکرد شناسایی خط منبنا اصلاحی برای اصلاح عملکرد اسکتس استفاده شد. در این رویکرد، پس از محاسبه‌ی درجه‌ی اشباع بر پایه‌ی شناسایی خط منبنا اصلاحی

و پیاده‌سازی این سناریو در شبیه‌ساز، نتایج نشان داد که تأخیر تقاطع با زمان‌بندی مبتنی بر این روش شناسایی خط منبنا اصلاحی، ۲۲ درصد کمتر از زمان‌بندی مبتنی بر روش شناسایی خط منبنا بود که بر اساس این نتیجه، برداشت و شناسایی ترافیک به صورت خط منبنا اصلاحی دقیق‌تر است. افندی‌زاده و همکاران [Afandizadeh Zargari et al. 2010] در پژوهشی دیگر، مدلی برای بهبود عملکرد سیستم کنترل تطبیقی اسکتس در شهر تهران در شرایط اشباع ترافیکی ارائه کردند. نتایج این مدل نشان داد که این مدل باعث بهبود عملکرد تقاطع از منظر طول صف و تأخیر خواهد شد. باهدف تصحیح احجام شمارش شده توسط شناساگرهای اسکتس، در پژوهش رحیمی و همکاران مطالعه‌ی میدانی در ۳ تقاطع شهر قزوین صورت گرفته و داده‌های حجم شمارش شده توسط شناساگرهای اسکتس و داده‌های واقعی برداشت شده از ۳ تقاطع بررسی و مقایسه شده است. نتایج این بررسی نشان داد که اختلاف در ساعات غیر اوج ناچیز بوده است اما در ساعات اوج ترافیکی، این اختلاف قابل توجه بوده است و در این پژوهش برای حل این مسئله، ضرایب کالیبراسیون اصلاحی برای خروجی‌های نرم‌افزار ارائه شد. [Rahimi and Taheri. 2016] مطالعات مختلفی نیز باهدف توسعه الگوریتم کنترل تطبیقی برای مدیریت تقاطعات انجام شده است. مک کنی<sup>۱۴</sup> و همکاران [Mckenney et al. 2012] الگوریتمی ارائه دادند که قادر است، چراغ راهنمایی را بر پایه حسگرهای ترافیکی و همچنین ارتباط میان چراغ‌های راهنمایی کنترل کند. مدل ایجاد شده بر پایه اطلاعات به دست آمده از شهر اتاوا<sup>۱۵</sup> در کانادا بوده و توسعه‌ی آن از طریق شبیه‌ساز سومو<sup>۱۶</sup> انجام شده است. برای ارزیابی، مقایسه‌ای میان الگوریتم ارائه شده با زمان‌بندی ثابت انجام می‌شود. معیار عملکردی در این الگوریتم سرعت متوسط خودروها است. نتایج نشان داد که سیستم کنترل تطبیقی پیشنهاد شده، باعث افزایش میزان سرعت عبور خودروها به میزان ۶،۵۸ درصد در مقایسه با زمان‌بندی ثابت شود. الگوریتم دیگری نیز توسط فانگ<sup>۱۷</sup> و همکاران ارائه شد که قادر به محاسبه برنامه‌ی زمانی بهینه برای یک تقاطع دایموند<sup>۱۸</sup> بود [Fang et al. 2012]. در این الگوریتم با اندازه‌گیری سرعت و شمارش تعداد خودروها، برنامه‌ی زمانی بهینه که دربرگیرنده توالی فاز و مدت زمان آن است، ارائه می‌شود. با استفاده از رابط کاربری<sup>۱۹</sup> ایمسان<sup>۲۰</sup>، ارزیابی این تکنیک کنترل فعال که بر پایه‌ی الگوریتم برنامه‌نویسی است،

شرایط ترافیکی و موقعیت شناساگر سازگار و منطبق باشد، توسعه نیافته است. در نتیجه، در این پژوهش، با استفاده از اطلاعات شناساگر بعد از خط توقف، یک مدل کنترل چراغ تطبیقی برای یک تقاطع منفرد ارائه شده است که بتواند حرکات وسیله نقلیه غیرخط مینا را نیز شناسایی و در زمان بندی تقاطع در نظر گیرد. در مدل ساخته شده از معیار عملکردی نظیر تأخیر و طول صف و نرخ تخلیه تقاطع استفاده شده است. در چارچوب پیشنهادی از زمان سبز مؤثر و اطلاعات تخلیه سیکل های قبلی برداشت شده توسط شناساگرهای جانمایی شده پس از خط توقف، استفاده شده تا بتواند شرایط ترافیکی غیرخط مینا و سایل نقلیه را برآورد کند. با مقایسه ی مدل ساخته شده با سیستم کنترل هوشمند، کاهش ۳ درصدی تأخیر، ۶ درصدی طول صف و افزایش ۵ درصدی نرخ تخلیه در تقاطع حاصل شده است. راوی کو مار و همکاران [Ravikumar and Mathew. 2011] اشاره کرده اند که مدل سازی ترافیک تحت شرایط غیرخط مینا و ترافیک ناهمگن به سختی انجام می پذیرد. آن ها تلاش کرده اند یک سیستم هوشمند کاملاً تطبیقی برای شرایط ترافیک ناهمگن که در آن از حرکت در بین خطوط پیروی نمی شود، توسعه دهند. در این پژوهش اشاره شده است که با توجه به ناهمگنی بسیار بالای وسایل نقلیه، محل جانمایی شناساگرها و گروه بندی فازهای چراغ های راهنمایی اهمیت بسیار بالایی خواهد داشت. در این روش پیشنهادی ضمن ارائه یک الگوریتم کنترل تطبیقی جدید، محل مناسب قرارگیری شناساگر و گروه بندی منطقی فازهای چراغ های راهنمایی مرتبط با این الگوریتم و نیز یک مفهوم جدید تحت عنوان فاز مجازی<sup>۲۰</sup> ارائه شده است. تونگ لی و همکاران [Le et al. 2015] یک روش کنترل چراغ ترافیک غیرمتمرکز تحت عنوان الگوریتم کنترل فشار برگشتی<sup>۲۱</sup> برای شبکه های معابر شهری پیشنهاد می کنند آن ها در پژوهش خود بیان می کنند که الگوریتم پیشنهادی که در آن طول سیکل ثابت و زمان سبز مختلف برای فازهای چراغ در نظر گرفته می شود، می تواند ترافیک شبکه تقاطعات را به طور بهینه مدیریت کرده و الگوریتم ارائه شده در مقایسه با سایر سیستم های کنترلی موجود بهتر عمل کند. شارمیل دوی کوماراول و همکاران [Kumaravel et al, 2020] الگوریتم کنترل فشار برگشتی مبتنی بر اشغال را محیط شبیه ساز استفاده می کند. شرایط ترافیکی شبکه مورد مطالعه، ناهمگن، غیر خط مینا و نیز تحت ارتباط وسیله نقلیه به زیرساخت<sup>۲۲</sup> است. نتایج نشان می دهد که

انجام شده است. شاخص عملکردی در نظر گرفته شده توسط این سیستم، طول صف است. اردمه [Ardameh. 2020] در پایان نامه ی خود بر اساس منطق سیستم کنترل تطبیقی اسکتس، یک منطق کنترل ترافیک تطبیقی بر مبنای طول صف در محیط شبیه ساز ایمسان ارائه کرده است. سپس سیستم کنترل تطبیقی ارائه شده را بر اساس شاخص های عملکردی تأخیر و توقف در شرایط اشباع متوسط و اشباع بالا با سیستم های کنترل هوشمند و زمان ثابت مقایسه نموده است. نتایج این مطالعه نشان داده که سیستم کنترل تطبیقی مبتنی ارائه شده در شرایط اشباع کم و متوسط در شاخص های تأخیر و طول صف به ترتیب به میزان ۳٪ و ۱۱٪ بهبود داشته است. در ادامه مطالعاتی که بر روی مدیریت ترافیک تقاطعات شهری در شرایط ترافیک غیرخط مینا و ناهمگن انجام شده است، بررسی می شود. مالیکارجون<sup>۱۹</sup>، راماجاندر راوی [Mallikarjuna and Rao. 2006] با توجه به ابعاد مختلف وسایل نقلیه در معابر شهری هند که منجر به فقدان نظم و عدم حرکت بین خطوط می شود، یک معیار اشغال تحت عنوان اشغال منطقه ارائه داده اند که در طول زمان اندازه گیری می شود و مسئله تفاوت ابعاد خودروها را نیز حل می کند. ثمیز آراسان و دیویا [Arasan and Dhivya. 2009] نیز مفهوم جدیدی به نام «منطقه- اشغال» برای اندازه گیری ترافیک هر جاده و شرایط ترافیکی پیشنهاد می کنند و این مفهوم با استفاده از تکنیک شبیه سازی اعتبارسنجی می شود. آلوک پاتل و همکاران [Patel et al. 2016] با توجه به غیرخط مینا بودن شرایط ترافیکی یک تقاطع منفرد که باعث برآورد اشتباه تقاضای ترافیک و عدم دستیابی به راه حل های درست می شود، یک مدل بهینه سازی برای کنترل تطبیقی تقاطعات چراغ دار ارائه می کنند. این مدل کنترل ترافیک تطبیقی، میانگین تأخیر را به حداقل رسانده و باعث بهبود شرایط موجود می شود. راه حل پیشنهادی، بر اساس شرایط واقعی تقاطع مورد مطالعه، طول سیکل بهینه محاسبه کرده و به هر فاز، زمان سبز بهینه اختصاص می دهد. طبق نتایج شبیه سازی شده این روش در مقایسه با روش های دیگر نظیر یادگیری تقویتی، منجر به کاهش بیشتر تأخیر و طول صف شده است. سادگونا نولی و همکاران [Nuli et al. 2018] اشاره می کنند که شرایط ترافیکی در بسیاری از شهرهای جهان ناهمگن است و خودروها حرکتی غیرخط مینا دارند. از همین رو می توان این مسئله را با قرار دادن شناساگر پس از خط توقف برطرف نمود. با این حال، هیچ مدل کنترل ترافیکی که با چنین

زمان سفر تقاطعات ایجاد کرده است. طالع و همکاران [Taale et al. 2015] یک هدایت مسیر یکپارچه شامل کنترل زمان بندی چراغ با استفاده از سیاست فشار برگشتی ارائه کردند. این روش، فشار مسیر را با استفاده از ترکیب چگالی و زمان سفر محاسبه می کند. طبق نتایج این پژوهش، برای ارزیابی شلوغی مسیر و استفاده در الگوریتم زمان سفر متغیر بهتری نسبت به چگالی بوده و پیشنهاد به استفاده ترکیبی از چگالی و زمان سفر شده است. در پایان نامه دیبائی [Dibaie. 2016] روشی برای کالیبراسیون جریان ترافیک ناهمگن و غیرخط مینا با استفاده از شبیه ساز ویزیم ارائه شده است. برای این منظور، یکی از خیابان های شهر یزد که شرایط ترافیک آن ناهمگن و بی نظم بوده جهت مطالعه انتخاب و سپس داده های ترافیکی و هندسی این محور جمع آوری شده است. سپس این محور در نرم افزار ویزیم پیاده سازی شده و برای شبیه سازی دقیق و واقعی شرایط ترافیک غیر خط مینای این محور، پارامترهای این نرم افزار تنظیم شده است. بیجول ریوندان و همکاران [Raveendran et al, 2020] ضمن اشاره به اینکه اغلب الگوریتم های کنترل ترافیک تطبیقی توسعه یافته در پیش بینی تقاضای شرایط ترافیکی ناهمگن و غیر خط مینا، غیردقیق هستند، یک الگوریتم کنترل ترافیک تطبیقی اکتشافی ارائه کردند. این الگوریتم بر اساس طول صف تقاضای ترافیکی را تخمین می زند و از همین رو می تواند در شناسایی و مدیریت ترافیک غیر خط مینا و ناهمگن عملکرد بهتری داشته باشد. اسلامی و همکاران [Eslami et al. 2023] در طی پژوهشی به بررسی ارزیابی عملکرد سیستم کنترل تطبیقی اسکتس در حالت شناسایی ترافیک به صورت غیر خط مینا و ارائه رویکردی جهت اصلاح آن پرداخته اند. در آن پژوهش برای هر شناساگر تقاطع، یک ضریب جهت اصلاح درجه اشباع به عنوان مهم ترین پارامتر الگوریتم اسکتس تعیین گردید تا با اعمال آن، مقادیر درجه اشباع به واقعیت نزدیک شده و زمان بندی اسکتس به طور بهینه انجام شود. بر اساس نتایج، با اعمال ضریب اصلاحی مبتنی بر شناسایی غیرخط مینا به هر شناساگر، میزان تأخیر، متوسط طول صف و زمان توقف تقاطع ۳۸٪، ۴۰٪ و ۴۲٪ کاهش داشته است. با توجه به شرایط ترافیکی ناهمگن و رفتار رانندگی غیرخط مینا در معابر شهری ایران ارائه روشی برای بهبود زمان بندی تقاطعات شهری امری اجتناب ناپذیر است. لذا به کارگیری یک روش کنترل ترافیک تطبیقی جهت شناسایی و مدیریت ترافیک ناهمگن و غیرخط مینا در مدیریت ترافیک

الگوریتم های پیشنهادی در مقایسه با سیستم کنترل هوشمند و سیستم کنترل فشار برگشت صف مبتنی بر صف مستقر در همان شبکه به طور قابل توجهی وضعیت تأخیر و توقف ترافیک را بهبود داده است. قابل ذکر است که در این الگوریتم از پارامتر اشغال برای نشان دادن شرایط ترافیک ناهمگن و غیرخط مینا استفاده شده است. همچنین در این پژوهش، نشان داده شده که اشغال منطقه<sup>۳۳</sup> یک پارامتر مناسب جهت نشان دادن وضعیت ترافیک ناهمگن و غیر خط مینا است. در مطالعه سادگونا نولیا و تام وی ماثوب [Nuli and Mathew. 2013] با اشاره به دشواری های شناسایی و کنترل ترافیک با شرایط ناهمگن و غیر خط مینا، یک مدل کنترل تطبیقی ترافیکی ارائه شده است که در آن از اطلاعات شناساگرهای خط توقف استفاده می شود. هدف این مدل اختصاص طول سیکل بهینه از طریق یادگیری تقویت بازیگر-منتقد است. این روش توانایی یادگیری روابط بین پارامترهای کنترلی نظیر طول سیکل و تأثیر آن ها در صف خودرو را دارد و می تواند روابط بین پارامترها را بر اساس بهبود وضعیت ترافیک تقاطع تنظیم کند. در این پژوهش، از سه پارامتر نرخ تخلیه، تأخیر و میزان طول صف به عنوان معیار عملکردی استفاده شده است. همچنین طبق نتایج روش پیشنهادی در مقایسه با سیستم کنترل هوشمند منجر به بهبود حدود ۲۰ درصدی نرخ تخلیه، کاهش حدود ۳۰ درصد تأخیر و کاهش حدود ۶ درصدی طول صف در تقاطع اول و دوم و نیز بهبود حدود ۵ درصدی نرخ تخلیه، کاهش ۳ درصدی تأخیر و افزایش ۵ درصدی طول صف در تقاطع سوم و چهارم شده است. این روش از آخرین زمان سبز مورد استفاده به عنوان حداکثر زمان سبز بعدی استفاده می کند و اگر فاز مورد نظر تقاضایی نداشته باشد، مشابه سیستم کنترل هوشمند عمل می کند. همچنین در این پژوهش با توجه به عدم حرکت وسایل نقلیه در خطوط مشخص، تخمین طول صف قابل اعتماد دشوار بوده و این امر، موجب خطای قابل توجهی در تخمین سبز و تأخیر می شود. لذا برای کنترل کارآمد در شرایط ترافیک اشباع یا فوق اشباع، از شاخص حداکثر تخلیه کل رویکرد استفاده شده که از شاخص حداقل سازی تأخیر یا توقف بهتر است. عملکرد مدل با استفاده از شبیه ساز ترافیکی ویزیم<sup>۲۴</sup> در چهار تقاطع شریانی با زمان بندی چهار فازی با جریان متغیر شبیه سازی شده است. طبق نتایج استفاده از این روش در مقایسه با سیستم کاملاً هوشمند، بهبود قابل توجهی در جهت هماهنگی و به ویژه در شرایط ترافیکی با اشباع بالا در تخلیه، صف، تأخیر و

### ۳-روش تحقیق

با توجه به اینکه آشکارسازهای حلقه القایی<sup>۲۰</sup> موجود در تخمین پارامترهایی که شامل شرایط ترافیک غیر خط مینا باشد به طور صحیح عمل نمی‌کنند. در این مطالعه داده‌های مربوط به جریان ترافیک غیرخط مینا جمع‌آوری شده و با توجه به مشخصات جریان ترافیک واقعی زمان‌بندی‌ها برآورد می‌شود. لازم به ذکر است به جای استفاده از شناساگرهای خط مینا و تعیین حضور و سبیله نقلیه با اشغال آن‌ها از مفهوم سطح اشغال در این مطالعه استفاده شده است. مفهوم بصری سطح اشغال در شکل (۲) نمایش داده شده است.

شهری مؤثر خواهد بود. با توجه به لزوم ارزیابی روش ارائه شده، در این پژوهش برخلاف مطالعات قبلی روش پیشنهادی بر روی یک تقاطع واقعی پیاده‌سازی شده است. قابل ذکر است با توجه به اینکه که در مطالعات گذشته که از الگوریتم فشار برگشتی استفاده شده است، ولی در فرایند زمان‌بندی برای پارامتر طول سیکل مقدار ثابتی در نظر گرفته شده است. لذا از همین رو در این پژوهش باهدف پویاسازی و انطباق طول سیکل بر اساس شرایط ترافیکی لحظه‌ای تقاطع، یک رابطه خطی جهت محاسبه طول سیکل بر اساس شاخص عملکردی سطح اشغال ارائه شده است. هدف در این پژوهش ارائه روشی برای کنترل تطبیقی تقاطعات در شرایط غیر خط مینا است، در این پژوهش، از محیط کالیبره شده نرم‌افزار ویزیم که امکان شبیه‌سازی غیر خط مینا در آن فراهم است استفاده شده است.



شکل ۲. مفهوم سطح اشغال

گرفته می‌شود. سطح اشغال یا اشغال منطقه در طول شبیه‌سازی در هر سیکل برای هر فاز به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$S_A = \frac{\sum_{i=1}^N a_{Ni}}{A_d} \quad (1)$$

ما محاسبه و ذخیره می‌شود با توجه به مشخص بودن تعداد و مساحت هر نوع خودرو اعم از خودروهای سبک، سنگین و موتورسیکلت و مساحت کل رویکرد می‌توان سطح اشغال شده را قبل از سبز شدن چراغ محاسبه کرد. با استفاده از مفهوم سطح اشغال رابطه‌ای برای محاسبه طول سیکل در تقاطعات با استفاده از سطح اشغال پیشنهاد شده است. رابطه‌ای که برای تعیین طول سیکل در این مطالعه ارائه می‌شود الهام گرفته از فرآیند تعیین

با توجه به شکل (۲)، برای اندازه‌گیری سطح اشغال یک محدوده به مفهوم خط و خط‌کشی نیازی نیست. لذا جداسازی خطوط در رویکردها را در نظر نگرفته و کل عرض جاده یک واحد در نظر

در این رابطه  $S_A$  برابر میزان سطح اشغال شده،  $a_N$  میزان مساحت هر ماشین که در منطقه شناساگر حضور دارد و  $A_d$  سطح کل شناساگر است. در این مطالعه برای استخراج سطح اشغال محدوده در شبیه‌ساز با استفاده از رابط کاربری ویزیم و اتصال به محیط برنامه‌نویسی پایتون منطقه‌ای را به عنوان کل سطح شناساگر در نظر گرفته شده است. در انتهای فاز قرمز هر رویکرد تعداد خودرو موجود در سطح شناساگر به تفکیک برای

FHWA ۱۲۰ ثانیه را پیشنهاد کرده است [FHWA. 2008].

برای کمترین مقدار طول سیکل نیز می‌توان از مجموع زمان سبز مورد نیاز برای عبور عابرین پیاده استفاده کرد. در نتیجه حداقل زمان سبز برای عبور عابر پیاده در یک رویکرد بر اساس رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

در این رابطه  $G_{pi}$  حداقل زمان سبز مورد نیاز عابر در یک رویکرد،  $L$  طول خط عبور عابر پیاده و  $S_p$  سرعت عابر پیاده (مقدار توصیه شده آن ۱٫۲ متر بر ثانیه)،  $PW_{min}$  از جدول (۱) تعیین می‌شود.

$$G_{pi} = PW_{min} + \frac{L}{S_p}$$

جدول ۱. زمان حداقل پیاده روی  $PW_{min}$  [Mchane et al. 2019]

$PW_{min}$	شرایط
۱۰-۱۵	مناطق با حجم زیاد عابر پیاده (به عنوان مثال، مدارس، CBDs، اماکن ورزشی)
۷	حجم عابر پیاده معمولی
۴	حجم عابر پیاده ناچیز
۳	عابران پیاده مسن تر حضور دارند

همچنین  $S_{AMAX}$  برابر بیشترین سطح اشغال موجود در بین دو رویکرد در فاز مدنظر است. در شکل (۳) شکل رابطه پیشنهاد شده برای طول سیکل مشاهده می‌گردد.

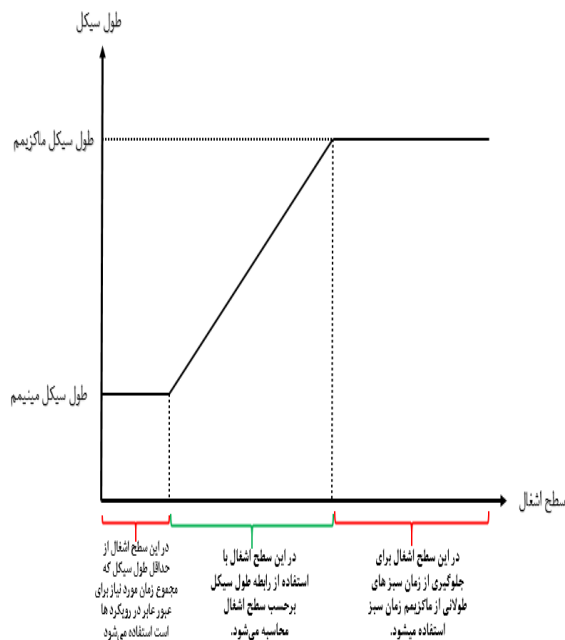
طول سیکل الگوریتم اسکتس است. در اسکتس، طول سیکل طبق یک رابطه خطی بر اساس میزان درجه‌ی اشباع اندازه‌گیری شده توسط داده‌های برداشت شده در شناساگر محاسبه می‌شود. لذا در این مطالعه طول سیکل، بر اساس یک رابطه خطی بر اساس سطح اشغال به دست می‌آید. در این رابطه یک طول سیکل حداقل و یک طول حداکثر در نظر گرفته شد که اگر سطح اشغال از یک مقدار مشخصی کمتر شد، طول سیکل به میزان طول سیکل حداقل تعیین شود. همچنین یک طول سیکل حداکثر نیز در نظر گرفته شد تا عملکرد تقاطع از حالت بهینه خارج نشود. به طور کلی، برای حداکثر طول سیکل یک تقاطع، (۲)

با الهام از اسکتس که یک رابطه خطی برای محاسبه طول سیکل استفاده می‌کند، رابطه خطی (۳) بر اساس سطح اشغال پیشنهاد می‌گردد. منظور از  $C$  طول سیکل برای سیکل پیشنهادی و  $C_{MAX}$  طول سیکل ماکزیمم و  $C_{Min}$  طول سیکل مینیمم است.

(۳)

$$C_{Min} = \sum_i^N G_{pi}$$

$$C = ROUND((100 * S_{AMAX})) + C_{Min} \leq C_{MAX}$$



شکل ۳. گراف رابطه طول سیکل بر حسب سطح اشغال

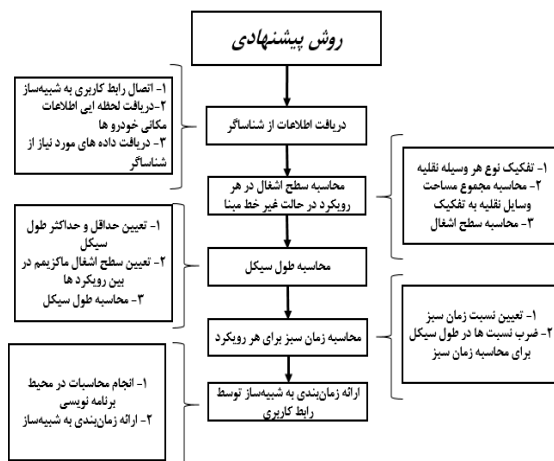
روش مورد نظر است. رابطه (۴) نحوه محاسبه زمان سبزی را مشخص می‌کند که مبتنی بر روند الگوریتم فشار برگشتی است. سپس با ضرب مقدار حاصل شده از این رابطه در طول سیکل محاسبه شده برای آن سیکل زمان سبزی برای هر رویکرد به دست می‌آید.

$$G_{pi}(t) = \frac{\exp(\theta S_{A(i)})}{\sum_{i=1}^N \exp(\theta S_{A(i)})}$$

را به فاز با حداکثر سطح اشغال اختصاص می‌دهد. به طور معمول از مقدار ۲ تا ۵ برای اختصاص استفاده می‌شود، مقادیر بزرگ معمولاً برای تقاطعاتی به کار می‌رود که حرکت مداوم رویکردی برای ما اهمیت دارد. لازم به یادآوری است در مطالعات قبلی که به بررسی این الگوریتم برای تقاطع پرداخته شده است، همگی از یک طول سیکل ثابت استفاده کرده‌اند در این مطالعه با پویا کردن طول سیکل به ارائه نتایج پرداخته می‌شود. در شکل (۴) روند روش پیشنهادی ارائه شده مشاهده می‌شود.

در ادامه در هر سیکل بر حسب سطح اشغال، زمان سبزی به هر رویکرد اختصاص داده می‌شود. روند پیشنهادی با محاسبه سطح اشغال شروع می‌شود، در ادامه، با توجه به سطح اشغال هر رویکرد به هر یک از فازهای تقاطع زمان سبزی تخصیص داده می‌شود. باید توجه داشت محاسبه سطح اشغال منطقه جزء اصلی (۴)

در این رابطه  $S_A$  میزان سطح اشغال رویکرد  $i$  و  $N$  تعداد فازهای موجود در یک تقاطع و  $G_{pi}(t)$  نسبت زمان سبزی مؤثر آن فاز است. یادآوری این نکته ضروری است که میزان زمان سبزی محاسبه شده زمان سبزی مؤثر است، لذا به زمان سبزی محاسبه شده زمان زرد و تمام قرمز برای جداسازی فازها از یکدیگر اضافه می‌شود. پارامتر  $\theta$  یک نوع پارامتر کنترلی است. پارامتر کنترلی  $\theta$  همیشه بزرگتر از صفر است و می‌تواند هر مقداری بین ۰ و  $\infty$  داشته باشد. مقدار کوچک آن نشان دهنده تخصیص زمان سبزی یکنواخت به رویکردها و مقدار بزرگ آن تمام زمان سبزی



شکل ۴. معرفی الگوریتم و متد روش پیشنهادی

#### ۴- مطالعه ی موردی

برای ارزیابی و مقایسه روش موردنظر با طول سیکل پویا با سایر حالات عملکردی، روش بر روی یک تقاطع واقعی ارزیابی شده است. در این تقاطع پس از کالیبره کردن نرم افزار بر اساس طول صف های واقعی در هر یک از رویکردها و استفاده از معیارهای عملکردی تأخیر و طول صف نتایج حاصل از زمان بندی اسکتس، نتایج حاصل حالت عملکرد روش پیشنهادی با طول سیکل ثابت (مطالعات پیشین) و نتایج حاصل از عملکرد روش پیشنهادی مقایسه انجام خواهد شد. در انتها به مقایسه زمان طول سیکل هر سیکل ارائه شده توسط روش پیشنهادی و مقادیر طول سیکل موجود برای هر سیکل در شرایط واقعی (دریافت شده از اسکتس) پرداخته شده است.

#### ۴-۱- معرفی تقاطع

مطالعه بر روی تقاطع سعدی-جمهوری در شهر تهران انجام شده که یک تقاطع دو فازی است. هر رویکرد از این تقاطع، یک طرفه بوده و هر رویکرد متشکل از ۴ خط ۳,۵ متر است که گردش به راست در رویکرد جمهوری آزاد است. با توجه به قرارگیری این تقاطع در منطقه مرکزی شهر و وجود تعداد زیادی موتورسیکلت با مدل کردن موتورسیکلت ها در این تقاطع سعی شد که تأثیر آن ها دیده شود. در شکل (۵) طرح هندسی تقاطع در محیط نرم افزار اسکتس را نشان می دهد. جهت برداشت داده از فیلم ساعت ۱۳:۳۰ الی ۱۴:۳۰ یک روز کاری در این مطالعه استفاده شده است.



شکل ۵. طرح هندسی تقاطع سعدی جمهوری در اسکتس

#### ۲-۴- داده‌های برداشت‌شده

شرایط واقعی مبتنی بر شاخص عملکردی طول صف کالیبره می‌شود. پس از کالیبره شرایط می‌توان خروجی نتایج عملکردی برای زمان‌بندی اسکتس را در نظر گرفت.

برای انجام روند شبیه‌سازی به حجم ورودی به تقاطع و همچنین برای کالیبره شرایط موجود به طول صف در سیکل‌های مختلف نیاز است. لذا، با استفاده از فیلم به برداشت اطلاعات موردنیاز پرداخته‌شده است. در جدول (۲) میانگین طول صف واقعی خودروها برحسب متر در رویکردهای تقاطع برای هر سیکل برداشت‌شده است. در ادامه تقاطع در شبیه‌ساز بر اساس

جدول ۲. طول صف برحسب متر در رویکردهای تقاطع سعدی-جمهوری

زمان (دقیقه)	رویکرد_سعدی	رویکرد_جمهوری
۱۳:۳۰-۱۳:۴۰	۱۲,۵	۱۵,۶
۱۳:۴۰-۱۳:۵۰	۱۵,۰	۱۰,۶
۱۳:۵۰-۱۴:۰۰	۱۷,۳	۱۰,۱
۱۴:۰۰-۱۴:۱۰	۱۹,۵	۱۶
۱۴:۱۰-۱۴:۲۰	۱۳,۱	۱۰,۷
۱۴:۲۰-۱۴:۳۰	۱۰,۸	۸,۵

#### ۳-۴- کالیبره کردن نرم‌افزار برای شرایط واقعی تقاطع

ویزیم با بررسی انجام‌شده در مطالعات پیشین، متغیرهای جدول (۳) برای تنظیم و کالیبراسیون انتخاب شد.

نرم‌افزار مورد استفاده بر اساس شرایط واقعی و مبتنی بر شرایط زمان‌بندی اسکتس کالیبره گردید. برای کالیبره کردن شبیه‌ساز

جدول ۳. پارامترهای قابل تغییر و حدود بازه تغییرات

واحد	بازه تغییرات	معادل ویزیم	پارامتر
ضریب	(۱ و ۳)	۲	متوسط فاصله بین خودروهای ساکن
ضریب	(۰ و ۳)	۲	ضریب افزایش در فرمول ایمن
ضریب	(۰ و ۴)	۳	ضریب تشدیدکننده در فرمول فاصله ایمن
متر	(۰ و ۳۰)	۰	کمینه دید فاصله عقب
متر	(۰ و ۳۰)	۰	کمینه فاصله جلو
متر	(۱۵۰ و ۴۰۰)	۲۰۰	فاصله تغییر خط
ثانیه	(۰ و ۱۰۰)	۰	زمان بین دو تغییر جهت

فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، سال بیست و دوم، دوره سوم، شماره ۸۴، پاییز ۱۴۰۴

نتایج به دست آمده برای شرایط مورد نظر مطابق جدول (۴) است.

جدول ۴. حدود پارامترهای تنظیم شده

مقدار پیش فرض	مقدار انتخابی		پارامتر
۲	۱,۶۵		متوسط فاصله بین خودروهای ساکن
۲	۰,۹		ضریب افزایش در فرمول ایمن
۳	۰,۱		ضریب تشدیدکننده در فرمول فاصله ایمن
۰	۲۵		کمینه دید فاصله عقب
۰	۲۵		کمینه فاصله جلو
۲۰۰	۲۰۰		فاصله تغییر خط
۰	۲۰		زمان بین دو تغییر جهت
غیرفعال	۰,۹		زمان واکنش
غیرفعال	در هنگام توقف	در سرعت بالا	فواصل جانبی ماشین
	۰,۲	۱	
غیرفعال	۰,۲	۰,۲	فواصل جانبی موتور
غیرفعال	۱	۱	فواصل جانبی ماشین سنگین

در جدول (۵) و (۶) طول صف واقعی و میانگین طول صف ۱۰ شبیه سازی انجام شده برای رویکرد سعدی و جمهوری پس از اعمال پارامترهای اصلاح شده نشان داده شده است.

جدول ۵. اندازه طول صف واقعی و شبیه سازی شده در رویکرد سعدی

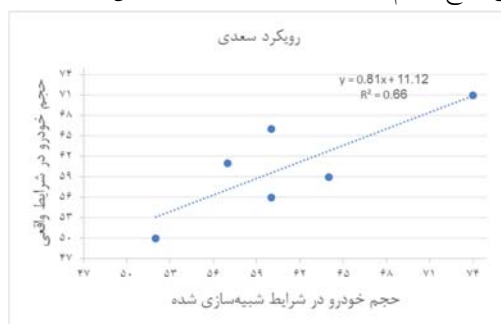
زمان	شبیه سازی شده (متر)	واقعی (متر)	درصد خطا
۱۳:۳۰ - ۱۳:۴۰	۱۶,۱۶	۱۲,۵	٪۲۲,۶
۱۳:۴۰ - ۱۳:۵۰	۱۵,۲۵	۱۵,۰	٪۱,۱
۱۳:۵۰ - ۱۴:۰۰	۱۸,۶۷	۱۷,۳	٪۷,۳
۱۴:۰۰ - ۱۴:۱۰	۱۸,۹۵	۱۹,۵	٪۳,۰۱
۱۴:۱۰ - ۱۴:۲۰	۱۳,۱۹	۱۳,۱	٪۰,۵
۱۴:۲۰ - ۱۴:۳۰	۹,۸	۱۰,۸	٪۹,۲

جدول ۶. اندازه طول صف واقعی و شبیه‌سازی شده در رویکرد جمهوری

زمان	شبیه‌سازی شده (متر)	واقعی (متر)	درصد خطا
۱۳:۳۰- ۱۳:۴۰	۱۵,۰۸	۱۵,۶	٪۳,۳۳
۱۳:۴۰- ۱۳:۵۰	۹,۷۵	۱۰,۶	٪۸,۱
۱۳:۵۰- ۱۴:۰۰	۸,۵۸	۱۰,۱	٪۱۵,۰۴
۱۴:۰۰- ۱۴:۱۰	۱۴,۵۲	۱۶	٪۹,۲۵
۱۴:۱۰- ۱۴:۲۰	۱۰	۱۰,۷	٪۶,۷
۱۴:۲۰- ۱۴:۳۰	۷,۳۵	۸,۵	٪۱۳,۵۱

رویکرد سعدی و جمهوری نیز در بازه موردنظر پرداخته شده است. برای رویکرد سعدی در شکل (۶) نتایج مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است جهت بررسی و محاسبه تعداد این خودروها در بازه‌های ۱۰ دقیقه‌ای حجم‌های شمارش شده میانگین‌گیری شده است. هر چه نقاط به خط نزدیک‌تر بوده کالیبره دقیق‌تر است. شکل (۷) نمودار مقایسه حجم خروجی از رویکرد جمهوری در واقعیت و شبیه‌سازی است که نشان می‌دهد تطبیق نسبتاً مناسبی از واقعیت در محیط شبیه‌ساز ارائه شده است.

همان‌طور که در جدول (۵) و (۶) مشاهده می‌شود میزان خطای مطلق اندازه‌گیری شده در بازه‌های ۱۰ دقیقه‌ای مشخص است. هرچند در ابتدای شبیه‌سازی، ۱۰ دقیقه زمان گرم شدن شبکه در نظر گرفته شده است اما در رویکرد سعدی در بازه ۱۰ دقیقه اول مقدار طول صف واقعی در حدود ۲۲ درصد کمتر از مقدار به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی است که در نهایت اندازه طول صف در این رویکرد نیز، تطبیق پیدا می‌کند. برای اعتبارسنجی کالیبره انجام شده برحسب طول صف به بررسی نتایج حجم عبوری از



شکل ۶. مقایسه حجم واقعی و شبیه‌سازی شده در رویکرد سعدی



شکل ۷. مقایسه حجم واقعی و شبیه‌سازی شده در رویکرد جمهوری

شد. آن‌ها در مطالعه خود از الگوریتم کنترل فشار برگشتی مبتنی بر اشغال برای یک شبکه ترافیکی ناهمگن غیر خط مبنا استفاده کردند. در این مطالعه که در هند انجام شده است از طول سیکل ثابت استفاده شده است و نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم‌های پیشنهادی به‌طور قابل توجهی عملکرد شبکه ترافیک را در مقایسه با کنترل هوشمند بهبود می‌بخشد. برای مقایسه روش پیشنهادی حاضر و مقایسه با مطالعات پیشین این شبیه‌سازی انجام گردید.

#### ۴-۳-۴- شبیه‌سازی عملکرد تقاطع تحت الگوریتم کنترل

##### تطبیقی پیشنهاد شده در این مقاله

روش پیشنهادی در این مقاله برای مقایسه با دو روش دیگر در محیط شبیه‌سازی پیاده شد. در ابتدا الگوریتم پیشنهادی در محیط برنامه‌نویسی پایتون کد نویسی شد و سپس از طریق رابط نرم‌افزاری COM محیط برنامه‌نویسی به شبیه‌سازی اتصال پیدا کرد. سپس با توجه به در نظر گرفتن تعداد خودروهای موجود در هر شناساگر سطحی به تفکیک در انتهای زمان قرمز مشخص شد، سپس سطح اشغال و زمان سیکل از رابطه (۱) و (۳) محاسبه شدند. پس‌از آن، بر اساس رابطه (۴) نسبت زمان سبز هر رویکرد محاسبه و به شبیه‌سازی ارسال شد.

#### ۵- نتایج شاخص‌ها در هر رویکرد

این عملیات در مدت ۱ ساعت انجام شد که در ابتدا ۱۰ دقیقه زمان برای گرم کردن شبکه در نظر گرفته شد. همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود روش پیشنهادی به‌طور متوسط به میزان ۳۸٫۵ درصد کاهش تأخیر نسبت به زمان‌بندی ارائه شده توسط اسکتس و همچنین ۲۹ درصد کاهش تأخیر عملکرد تقاطع تحت روش پیشنهادی با طول سیکل ثابت در تقاطع موردنظر فراهم می‌سازد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود نقاط از خط در هر رویکرد فاصله قابل قبولی داشته است. لازم به ذکر است که علی‌رغم شمارش دقیق خودروها و موتورسیکلت و اعمال تمامی تغییرات اشاره شده به شبیه‌سازی میزان حجم عبوری تطابق ۱۰۰ درصدی با واقعیت نداشته که البته نمی‌توان هیچ زمان به‌طور کامل شبیه‌سازی را مطابق واقعیت نمود. هرچند در صورت دسترسی به پارامترهای و معیارهای عملکردی دیگر نظیر زمان سفر امکان بهینه‌سازی دقیق‌تر نرم‌افزار ممکن خواهد شد.

#### ۴-۴- پیاده‌سازی سه روش کنترل ترافیک تقاطع

در این تحقیق، برای مقایسه روش پیشنهادی، این روش با دو روش استفاده از اسکتس (روش موجود مبتنی بر شناسایی خط مبنا ترافیک) و روش غیر خط مبنا اشاره شده توسط محققین هندی (آخرین روش موجود) مقایسه انجام گردید.

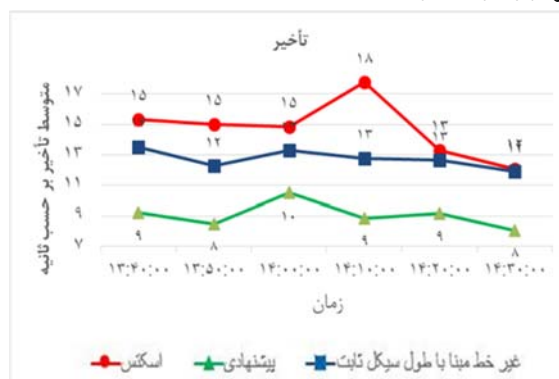
#### ۴-۴-۱- شبیه‌سازی عملکرد تقاطع تحت کنترل اسکتس

اولین روش مورد استفاده برای مقایسه این روش، کنترل تطبیقی خط مبنا اسکتس است، که درجه اشباع<sup>۲۶</sup> را با توجه به شناساگرهای خطی استخراج نموده و زمان‌بندی بهینه را محاسبه کرده است. در این مقایسه زمان‌بندی از فایل‌های اسکتس در همان زمان برداشت و داده‌ها دریافت شده است. سپس برای مقایسه داده‌های دریافتی و حجم برداشت شده پس از کالیبره کردن نرم‌افزار ویزیم در آن وارد شده و میانگین طول صف و تأخیر ۱۰ شبیه‌سازی با سید<sup>۲۷</sup>های تصادفی مختلف به دست آمده است.

#### ۴-۴-۲- شبیه‌سازی عملکرد تقاطع با یک روش غیر خط مبنا

##### با طول سیکل ثابت

برای مقایسه روش پیشنهادی با نزدیک‌ترین روش مشابه انجام شده از مطالعه شارمیلا دوی کوماراول و همکاران استفاده

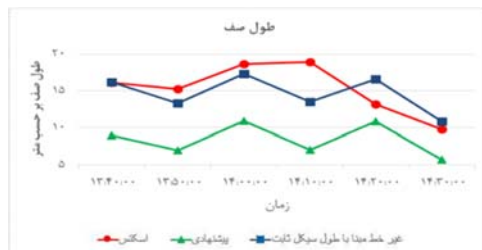


شکل ۸. میزان متوسط تأخیر در تقاطع تحت سه روش

۵-۱- مقایسه نتایج معیارهای عملکردی در رویکرد سعدی

شکل (۹) نتایج به دست آمده برای معیاری عملکردی طول صف در رویکرد سعدی برای سه حالت ارائه شده مشاهده می شود.

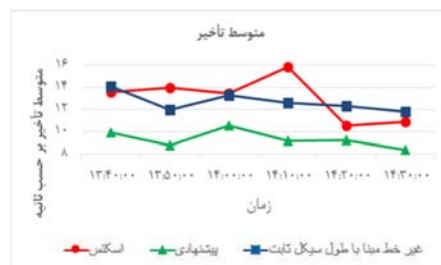
در این قسمت به بررسی عملکرد کلی تقاطع توسط معیارهای عملکردی تأخیر پرداخته شده است در شکل (۸) میزان متوسط تأخیر موجود در هر روش برای تقاطع مورد بررسی مشاهده می شود.



شکل ۹. مقایسه نتایج طول صف سه حالت ارائه شده برای رویکرد سعدی

ارائه شده مشاهده می شود. با توجه به شکل (۱۰) مشاهده می شود که روش پیشنهادی به طور متوسط به میزان ۲۸,۵ درصد کاهش تأخیر نسبت به زمان بندی ارائه شده توسط اسکتس و همچنین ۳۳,۵ درصد کاهش تأخیر نسبت به عملکرد تقاطع تحت روش پیشنهادی با طول سیکل ثابت را دارد.

با توجه به شکل (۹) مشاهده می شود که روش پیشنهادی به طور متوسط به میزان ۴۵,۲ درصد کاهش طول صف نسبت به زمان بندی ارائه شده توسط اسکتس و همچنین ۴۲,۵ درصد کاهش طول صف نسبت به عملکرد تقاطع تحت روش پیشنهادی با طول سیکل ثابت را دارد. در شکل (۱۰) نتایج به دست آمده برای معیاری عملکردی تأخیر در رویکرد سعدی برای سه حالت



شکل ۱۰. مقایسه نتایج متوسط تأخیر سه حالت ارائه شده در رویکرد سعدی

۵-۲- مقایسه نتایج معیارهای عملکردی در رویکرد جمهوری

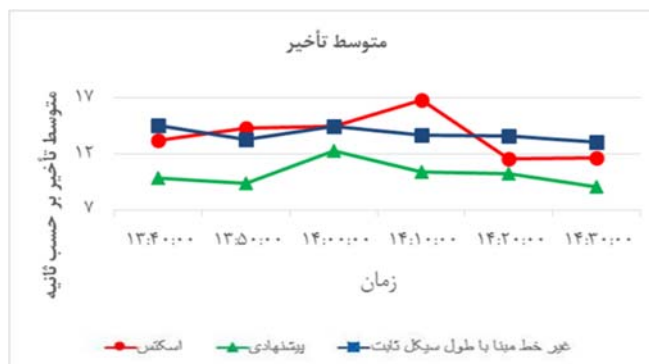
شکل (۱۱) نتایج به دست آمده برای معیاری عملکردی طول صف در رویکرد جمهوری برای سه حالت ارائه شده مشاهده می شود.



شکل ۱۱. مقایسه نتایج طول صف سه حالت ارائه شده برای رویکرد جمهوری

نسبت به عملکرد تقاطع تحت روش پیشنهادی با طول سیکل ثابت را دارد. در شکل (۱۲) نتایج به دست آمده برای معیار عملکردی تأخیر برای سه حالت ارائه شده مشاهده می شود.

با توجه به شکل (۱۱) مشاهده می شود که روش پیشنهادی به طور متوسط به میزان ۷۵ درصد کاهش طول صف نسبت به زمان بندی ارائه شده توسط اسکتس و همچنین ۵۴ درصد کاهش طول صف



شکل ۱۲. مقایسه نتایج متوسط تأخیر سه حالت ارائه شده



شکل ۱۳. مقایسه طول سیکل در روش پیشنهادی و اسکتس

### ۵-۳- مقایسه زمان طول سیکل و زمان سبز رویکردها

#### در روش پیشنهادی با اسکتس

در این مطالعه به ارائه رابطه ای برای محاسبه طول سیکل برای استفاده در الگوریتم پیشنهادی پرداخته شده است. این رابطه باعث پویا شدن طول سیکل در هر سیکل خواهد شد و امکان تطبیق با شرایط مختلف را به کاربر خواهد داد. به منظور مقایسه طول سیکل های محاسبه شده در شکل (۱۳) تغییرات طول سیکل در بازه یک ساعته برای طول سیکل ارائه شده توسط اسکتس و طول سیکل پیشنهادی در روش تحقیق مشاهده می شود. لازم به ذکر است در روش پیشنهادی طول سیکل با حداقل زمان سبز نیز کنترل شده است.

با توجه به شکل (۱۲) مشاهده می شود که روش پیشنهادی به طور متوسط به میزان ۲۵,۴ درصد کاهش تأخیر نسبت به زمان بندی ارائه شده توسط اسکتس و همچنین ۲۶ درصد کاهش تأخیر نسبت به عملکرد تقاطع تحت روش پیشنهادی با طول سیکل ثابت را دارد.

### ۶- نتیجه گیری

ادامه با الهام از رابطه تعیین طول سیکل در الگوریتم اسکتس، رابطه ای برای محاسبه طول سیکل ارائه شده است که برخلاف مطالعات قبلی پویا شدن طول سیکل را امکان پذیر کرده است و

در این مطالعه با بررسی ویژگی های جریان ترافیک ناهمگن و نامنظم و عدم کارکرد با دقت شناساگرهای القائی در این شرایط، به معرفی پارامتری تحت عنوان سطح اشغال پرداخته شد. در

سیکل اسکتس تغییرات کمتری را در طول یک ساعت ارائه کرده است. لازم به ذکر است مقادیر بهبود به دست آمده در این مطالعه اعداد بالایی هستند. اما نمی توان با اطمینان آن را برای همه حالت ها و وضعیت ها برقرار دانست بلکه لازم است با مطالعات بیشتر در زمینه های مختلف بررسی های بیشتری انجام داد. اما همین مطالعه ضرورت بازنگری در روش های فعلی زمان بندی را نشان می دهد.

#### ۷- سپاسگزاری

با تقدیر و تشکر شایسته از جناب آقای مهندس حقیقی و سرکار خانم مهندس مولایی که اطلاعات اولیه این پژوهش را در اختیار قرار دادند و همچنین تقدیر و تشکر از آزمایشگاه تحقیقاتی ترافیک دانشگاه علم و صنعت ایران که زمینه را برای انجام این پژوهش مهیا ساختند.

در انتها زمان سبز مورد نیاز هر رویکرد با استفاده از الگوریتم فشار برگشتی محاسبه می شود. برای پیاده سازی و ارزیابی روش ارائه شده با استفاده از قابلیت COM نرم افزار ویزیم را به محیط برنامه نویسی پایتون متصل کرده و با ارائه روشی جهت برداشت داده های مورد نیاز جهت محاسبه سطح اشغال هر رویکرد به شبیه سازی پرداخته شده است. لذا از نوآوری های این مطالعه می توان به مدل کردن حرکات غیر خط مینا و ارائه رابطه ای برای محاسبه طول سیکل اشاره کرد. نتایج شبیه سازی تقاطع کالیبره شده در سه حالت عملکردی شامل اسکتس، روش پیشنهادی با طول سیکل ثابت (مطالعات پیشین) و روش پیشنهادی با طول سیکل پویا (نوآوری تحقیق) ارائه شده است. معیار عملکردی در این مطالعه طول صف و تأخیر در رویکردهای تقاطع است. میزان تأخیر و طول صف در روش پیشنهادی کاهش قابل توجهی داشته است. همچنین طول سیکل های ارائه شده نسبت به طول

#### ۸- پی نوشت ها

1. Fixed time
2. Semi-actuated
3. Fully-actuated
4. Adaptive traffic control system
5. (SCATS) the Sydney Coordinated Adaptive Traffic System
6. (SCOOT) The Split Cycle Offset Optimization Technique
7. OPAC (Optimization Policies for Adaptive Control)
8. PROLYN (Programming Dynamic)
9. SPOT (System for Priority and Optimization of Traffic)
10. UTOPIA (Urban Traffic Optimization by Integrated Automation)
11. RHODES ( Real-Time Hierarchical Optimized Distributed and Effective System )
12. BALANCE
13. MOTION
14. Mckenney
15. Ottawa
16. SUMO
17. Fang
18. Diamond
19. Mallikarjuna
20. Dummy phase
21. Area Occupancy Back Pressure
22. V2I
23. Area Occupancy
24. Vissim
25. Inductive loop detector
26. DS
27. RandomSeed

#### ۹- مراجع

- حادقی، مانی و امامی میبدی یزدی، سید مهدی و پژومندراد، علی (۱۳۹۱). توسعه مدلی جهت تصحیح خطای ناشی از شمارش حجم وسایل نقلیه در تقاطعات چراغ دار مجهز به سیستم SCATS، یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، تهران، ۲-۳ اسفند ۱۳۹۰.

- حادقی، مانی و امامی میبدی یزدی، سید مهدی و پژومندراد، علی (۱۳۹۱). توسعه مدلی جهت تصحیح خطای ناشی از شمارش حجم وسایل نقلیه در تقاطعات چراغ دار مجهز به سیستم SCATS، یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، تهران، ۲-۳ اسفند ۱۳۹۰.

- طاهری، سعید و رحیمی، امیر مسعود، (۱۳۹۵). ارزیابی و تحلیل داده‌های حجم خروجی از نرم‌افزار SCATS در شبکه معابر درون‌شهری مطالعه موردی: ۳ تقاطع شهر قزوین، چهارمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران: ۷-۸ بهمن ۱۳۹۵.
- امیر دیبایی (۱۳۹۵). مدل‌سازی رفتار ترافیک ناهمگن و دارای بی‌نظمی در خطوط عبوری با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز ویزیم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: مهدی فلاح تفتی، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه یزد.
- اسلامی، علیرضا، سلطانی، محمدرضا، و شریعت مهمی، افشین (۱۴۰۲). ارزیابی عملکرد سیستم کنترل تطبیقی اسکس در حالت شناسایی ترافیک به صورت غیر خط مینا و ارایه رویکردی جهت اصلاح آن. پژوهشنامه حمل‌ونقل سال بیستم، دوره چهارم شماره ۷۷، ۴۴۱-۴۲۳.
- Nuli, S. and T.V. Mathew, (2013). Online coordination of signals for heterogeneous traffic using stop line detection. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 104, 765-774.
- Patel, A. T.V. Mathew, and J. Venkateswaran (2016). Real-time adaptive signal controller for non-lane following heterogeneous road traffic. in 2016 8th International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS). *IEEE*.
- R. V. Y. Kumar, A. Gowri, and R. Raveendran, B., T.V. Mathew, and N.R. Velaga. A Heuristic (2020). Adaptive Traffic Control Algorithm for Signalized Intersections. In 2020 International Conference on Communication Systems & NETWORKS (COMSNETS). *IEEE*.
- Ravikumar, P. and T.V. Mathew (2011). Vehicle-actuated signal controller for heterogeneous traffic having limited lane discipline. *Institute of Transportation Engineers. ITE Journal*, 81(5), 44.
- T. Le, P. Kovács, N. Walton, H. L. Vu, L. L. Andrew, and S. S. Hoogendoorn, (2015). Decentralized signal control for urban road networks. *Transp. Res. C, Emerg. Technol.*, Vol. 58, 431-450.
- T. Le, P. Kovács, N. Walton, H. L. Vu, L. L. Andrew, and S. S. Hoogendoorn (2015). Decentralized signal control for urban road networks. *Transp. Res. C, Emerg. Technol.*, vol. 58, 431-450.
- Traffic Engineering, Roess, Roger; Prassas, Elena, McShane, William, 5th Edition, (2019).
- V. T. Arasan and G. Dhivya, (2009). Measurement of occupancy of heterogeneous traffic using simulation technique. *IFAC Proc. Vol.*, 42, No. 15, 19-24.
- علیرضا اسلامی (۱۴۰۰). ارائه رویکردی برای بهبود عملیات سیستم کنترل ترافیک تطبیقی بر اساس شرایط ترافیکی ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: افشین شریعت مهمی، تهران: دانشگاه پیام نور.
- افندی زاده زرگری، شهریار و حاج محمدی، هاجر و دهقانی، نازلی، (۱۳۹۰). هماهنگ‌سازی بهینه کنترل چراغ‌ها در معابر شهری فوق‌اشباع و زیر اشباع، دهمین کنفرانس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران، تهران-اسفند.
- اردمه، صالح (۱۳۹۹). ارائه مدلی برای بهبود عملکرد سیستم کنترل تطبیقی چراغ در شبکه‌ی معابر شهری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: افشین شریعت مهمی، تهران: دانشکده مهندسی عمران، گروه مهندسی حمل‌ونقل، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- C. Mallikarjuna and K. R. Rao, (2006). Area occupancy characteristics of heterogeneous traffic. *Transportmetrica*, Vol. 2, No. 3, 223-236.
- Fang, F., (2004). Optimal adaptive signal control for diamond interchanges using dynamic programming.
- Fang, F.C. and L. Elefteriadou (2008). Capability-enhanced microscopic simulation with real-time traffic signal control. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 9(4): 625-632.
- Fang, F.C. and L. Elefteriadou, (2006). Development of an optimization methodology for adaptive traffic signal control at diamond interchanges. *Journal of Transportation Engineering*, 132(8): 629-637.
- FHWA, (2008). Traffic signal Timing Manual Second Edition.
- H. Taale, J. Van Kampen, and S. Hoogendoorn (2015). Integrated signal control and route guidance based on back-pressure principles. *Transp. Res. Procedia*, Vol. 10, 226-235, Jan.
- Kumaravel, S.D. and R. Ayyagari, (2020). A decentralized signal control for non-lane-based heterogeneous traffic under V2I communication. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(4): 1741-1750
- Mckenney, D. and T. White, (2013). Distributed and adaptive traffic signal control within a realistic traffic simulation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(1), 574-583.
- Nuli, S. and S.S.V. Subbarao (2018). Adaptive Signal Control for Non-lane based Vehicle movements. *International Journal for Traffic & Transport Engineering*.

# Non-Lane-Based Adaptive Traffic Control for Intersections in Tehran

*Mohammad Reza Soltani, M.Sc., Grad., School of Civil Engineering, Iran University  
of Science and Technology, Tehran, Iran.*

*Alireza Eslami, M.Sc., Grad., School of Civil Engineering, Iran University  
of Science and Technology, Tehran, Iran.*

*Afshin Shariat Mohaymany, Professor, School of Civil Engineering, Iran University  
of Science and Technology, Tehran, Iran.*

*E-mail: shariat@iust.ac.ir*

Received: May 2025- Accepted: August 2025

## **ABSTRACT**

Today, adaptive traffic control systems are employed to identify and manage signal timing at intersections experiencing significant traffic volume changes. Compared to actuated and fixed-time signal control systems, these systems can improve traffic conditions through real-time traffic recognition, adaptive timing, and coordination between intersections across the network. In Iran, the SCATS adaptive traffic control system is utilized, where traffic detection in each lane is performed using induction loops as a baseline. However, in several metropolises of the country, traffic flows through intersections without lane-based movement in practice. Consequently, SCATS does not perform accurately in identifying non-lane-based traffic conditions, leading to errors in signal timing. Therefore, it is necessary to propose a new method for identifying and timing based on non-lane-based traffic conditions at intersections. In this study, a performance index called area occupancy has been introduced, which can be calculated under various traffic conditions, including non-lane-based traffic scenarios. Using this index, the cycle length is calculated, and the timing of traffic signals is estimated with the back-pressure control algorithm. A case study was conducted on an intersection controlled by SCATS, comparing its current state under SCATS control with the intersection's performance under the proposed method in both variable cycle length and fixed cycle length modes. The results indicate that, based on delay and queue length metrics, the intersection's performance under the proposed adaptive control algorithm has improved significantly compared to other control methods. Specifically, the delay at the target intersection under the proposed method's timing has been reduced by an average of 38% compared to SCATS timing and by 31% compared to the back-pressure algorithm with fixed cycle length.

**Keywords:** Adaptive Traffic Control Systems, SCATS, Optimization of Traffic Signal Timing, Area Occupancy, Non-Lane Based Traffic