

## ارزیابی عملکرد سیستم کنترل تطبیقی اسکتس در حالت شناسایی ترافیک

### به صورت غیر خط مبنا و ارایه رویکردی جهت اصلاح آن

مقاله علمی - پژوهشی

علیرضا اسلامی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران،

تهران، ایران

محمد رضا سلطانی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت

ایران، تهران، ایران

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

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

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵

صفحه ۴۴۱-۴۲۳

چکیده

امروزه از سیستم‌های کنترل ترافیک تطبیقی با ویژگی زمان‌بندی لحظه‌ای و تطبیقی جهت بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی تقاطعات استفاده می‌شود. از معروف‌ترین سیستم‌های کنترل ترافیک تطبیقی، اسکتس نام داشته که معماری و الگوریتم اسکتس بر اساس شرایط ترافیکی خط مبنا طراحی شده است. در اسکتس جریان ترافیکی تقاطعات با جانمایی حلقه‌های القایی در هر خط از خیابان شناسایی شده و داده‌های ترافیکی از هر خط خیابان برداشت می‌شود. با توجه به اینکه در معابر شهری کشورهای در حال توسعه نظیر ایران، ترافیک در اغلب مواقع به صورت ناهمگن جریان داشته و خودروها، بدون توجه به خطوط خیابان حرکت می‌کنند، در این پژوهش، عملکرد اسکتس در حالتی که جریان ترافیک را به صورت خط مبنا شناسایی می‌کند با حالتی که بتواند جریان ترافیک را به صورت غیر خط مبنا شناسایی کند، ارزیابی شد. مطابق با نتایج به دست آمده، با اجرای سناریوی "زمان‌بندی اسکتس مبتنی بر شناسایی ترافیک غیر خط مبنا" میزان تأخیر، متوسط طول صف و زمان توقف تقاطع به طور متوسط ۳۳٪، ۳۵٪ و ۳۴٪ کمتر از وضع موجود تقاطع تحت کنترل اسکتس مبتنی بر شناسایی خط مبنا شده است. در نتیجه، وضعیت ترافیکی تقاطع تحت کنترل اسکتس مبتنی بر شناسایی ترافیک غیر خط مبنا بهبود داشته و اسکتس در صورتی که قابلیت شناسایی ترافیک غیر خط مبنا را داشته باشد، عملکرد بهتری خواهد داشت. بر همین اساس، در صورت تجهیز اسکتس به شناساگرهای دقیق‌تر نظیر دوربین‌هایی که قابلیت شناسایی ترافیک را به صورت غیر خط مبنا دارند، وضعیت ترافیکی تقاطعات تحت کنترل اسکتس می‌تواند بهبود قابل توجهی پیدا کند. در نهایت، با هدف اصلاح اسکتس، از داده‌های برداشت شده با شناسایی غیر خط مبنا استفاده شد و برای هر شناساگر تقاطع، یک ضریب جهت اصلاح درجه اشباع به عنوان مهم‌ترین پارامتر الگوریتم اسکتس تعیین گردید تا با اعمال آن، مقادیر درجه اشباع به واقعیت نزدیک شده و زمان‌بندی اسکتس به طور بهینه انجام شود. بر اساس نتایج، با اعمال ضریب اصلاحی مبتنی بر شناسایی غیر خط مبنا به هر شناساگر، میزان تأخیر، متوسط طول صف و زمان توقف تقاطع ۳۸٪، ۴۰٪ و ۴۲٪ کاهش داشته است.

واژه‌های کلیدی: سیستم کنترل تطبیقی، اسکتس، شرایط ترافیک ناهمگن، بهینه‌سازی زمان‌بندی تقاطعات چراغ‌دار

#### ۱- مقدمه

ترافیکی در سطح معابر و نیز افزایش زمان سفر شهروندان مواجه می‌باشند. از آنجایی که چراغ‌های راهنمایی تقاطعات،

امروزه شهرها با گسترش جمعیت و به دنبال آن، افزایش ترافیک معابر شهری، با مسائل فراوانی نظیر افزایش گره‌های

اسکس توسط حلقه‌های القایی و مبتنی بر خطوط خیابان انجام می‌شود و از آنجاییکه شرایط ترافیکی معابر شهرهای ایران، غیر خط مینا است، لذا اسکس نمی‌تواند شناسایی دقیقی از وضعیت ترافیکی صورت دهد و با توجه به مطالعات صورت گرفته، برداشت داده‌های ترافیکی معابر توسط اسکس، همراه با خطا است. در نتیجه، اصلاح شناسایی اسکس برای شرایط ترافیکی غیر خط مینا، امری ضروری به نظر می‌رسد. از همین رو ابتدا در این تحقیق، به ارزیابی عملکرد اسکس در حالتی که قابلیت شناسایی ترافیک به صورت غیر خط مینا را داشته باشد، پرداخته می‌شود و سپس رویکردی جهت اصلاح اسکس بر اساس شناسایی ترافیک به صورت غیر خط مینا ارائه می‌شود.

## ۲- پیشینه تحقیق

تا به امروز مطالعات متعددی برای ارزیابی و اصلاح عملیات سیستم‌های کنترل ترافیک تطبیقی برای شرایط ترافیکی مختلف صورت گرفته است. سازمان حمل و نقل شهر اوکلند<sup>۹</sup> باهدف اصلاح عملیات سیستم کنترل ترافیک تطبیقی اسکس، با به‌کارگیری برنامه‌ی بهینه‌سازی زمان‌بندی تقاطعات چراغ‌دار ترانسیت<sup>۱۰</sup>، به بهینه‌سازی پارامترهای قابل تنظیم در زمان‌بندی اسکس برای زمان‌های اوج صبح و عصر پرداخت. بر اساس نتایج، قبل و بعد از بهینه‌سازی پارامترهای زمان‌بندی اسکس، تراکم ترافیک در شبکه تقاطعات مورد مطالعه، کاهش داشته و در زمان اوج عصر، متوسط زمان سفر دریکی از رویکردها ۶۰٫۳ درصد و در اوج صبح در رویکرد دیگر ۱۹٫۸ درصد کاهش داشته است. [Auckland, Transpot, 2012] ژانگ<sup>۱۱</sup> و همکاران باهدف بهبود شناسایی وضعیت ترافیک در تقاطعات چراغ‌دار، یک مدلی برپایه شبکه شناساگرهای مغناطیسی بی‌سیم ارائه دادند. آن‌ها بر اساس این نتیجه که شناسایی ترافیک با شناساگرهای القایی در سیستم‌های کنترل ترافیک تطبیقی نظیر اسکس و اسکوت، برای برداشت داده‌های ترافیک، دقت لازم و قابلیت تفکیک مکانی-زمانی بالا را ندارند و نیز در محل‌های از مشخص داده‌ها را برداشت می‌کنند، از شناساگرهای بی‌سیم مغناطیسی استفاده نمودند. با ارزیابی عملکرد این سیستم مبتنی بر شبکه شناساگرهای مغناطیسی بی‌سیم در نرم‌افزار ویزیم<sup>۱۲</sup>، نتایج بیانگر بهبود در عملکرد سیستم

تأثیر بسزایی در ظرفیت تقاطعات چراغ‌دار دارند، در دهه‌های گذشته نیز تلاش‌های فراوانی برای بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی تقاطعات انجام شده است که از جمله‌ی آن‌ها توسعه‌ی سیستم‌های کنترل ترافیک تطبیقی است. ویژگی اصلی سیستم‌های کنترل ترافیک تطبیقی، واکنش به لحظه و زمان‌بندی تطبیقی در مقابل تغییرات ترافیکی تقاطعات است که در نهایت می‌تواند موجب کاهش تأخیر و توقف سفرهای شهری شود. از انواع سیستم‌های کنترل ترافیک تطبیقی می‌توان اسکس<sup>۱</sup>، اسکوت<sup>۲</sup>، اوپاک<sup>۳</sup>، رودس<sup>۴</sup>، پروداین<sup>۵</sup>، موشن<sup>۶</sup> و بالانس<sup>۷</sup> را نام برد. [Stevanovic, 2010] از معروف‌ترین سیستم‌های کنترل تطبیقی در دنیا که در دهه‌ی ۱۹۷۰ توسعه‌یافته، اسکس نام دارد. در ایران نیز از سال ۱۳۷۲ از این سیستم جهت بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی تقاطعات استفاده شده است. در سیستم کنترل تطبیقی اسکس جهت شناسایی وضعیت ترافیک، برداشت داده‌های ترافیکی با جانمایی حلقه‌های القایی در هر خط از خیابان، با مینا قرار دادن خطوط خیابان‌ها انجام می‌شود که در بعضی از کشورها، برای برداشت داده‌های ترافیکی از دوربین‌ها استفاده شده است. [Taylor, et al. 1998] شرایط ترافیکی ایران در اغلب کشورهای درحال توسعه نظیر ایران، هند و بنگلادش خودروها به صورت ناهمگن<sup>۱۳</sup> در معابر شهری جریان دارند و نیز از لحاظ ابعاد فیزیکی، خصوصیات متفاوتی دارند. در این کشورها، خودروها و وسایل نقلیه دوچرخ موتوری و غیر موتوری بدون هیچ جداسازی در خیابان‌ها حضور داشته و وسایل نقلیه نیز با سرعت متغیر حرکت می‌کنند. همچنین وسایل نقلیه از حرکت منظم بین خطوط پیروی نکرده و به‌طور آزاد، در هر فضای قابل دسترس در سرتاسر عرض خیابان حرکت می‌کنند. در تقاطعات نیز وسایل نقلیه در زمان قرمز چراغ‌های راهنمایی، بدون توجه به خط‌کشی معابر در هر فضای قابل دسترس در سرتاسر عرض خیابان توقف و در صف قرار می‌گیرند. در نتیجه، این حرکت بدون محدودیت و غیر خط مینای وسایل نقلیه، مفهوم "خط"، برداشت داده‌های ترافیکی و بیان مقادیر جریان بر اساس عرض استاندارد "خط" را بی‌اعتبار می‌سازد.

لزم اصلاح اسکس و عملیات شناسایی آن برای شرایط ترافیکی غیر خط مینا شناسایی ترافیک سیستم کنترل تطبیقی

همکاران بیان داشتند که اکثر الگوریتم‌های کنترل ترافیک تطبیقی که در کشورهای دارای شرایط ترافیک همگن توسعه یافته‌اند، در شرایط ترافیکی ناهمگن به دلیل عدم دقت در شناسایی ترافیک، پیش‌بینی تقاضا و زمان‌بر بودن محاسبات، عملکرد غیر بهینه دارند. از این رو، در این مطالعه یک الگوریتم کنترل ترافیک تطبیقی مبتنی بر تخمین تقاضا بر اساس طول صف پیشنهاد و بررسی شد که نتایج نشان‌دهنده بهبود قابل توجهی در کنترل تطبیقی ترافیک بود. [Raveendran et al, 2020] در ایران نیز، جهت اصلاح حجم‌های شمارش شده توسط شناساگرهای اسکتس، رحیمی و همکاران، یک مطالعه میدانی در ۳ تقاطع شهر قزوین انجام دادند و حجم‌های شمارش شده توسط شناساگرهای اسکتس و احجام عبوری واقعی از ۳ تقاطع را مقایسه کردند. نتایج حاکی از آن بود که اختلاف احجام عبوری واقعی با احجام شمارش شده توسط اسکتس در زمان‌های غیر اوج ناچیز بوده اما این اختلاف در زمان‌های اوج ترافیکی زیاد بوده است. در نهایت نیز، برای کاهش این اختلاف، ضرایب اصلاحی برای خروجی‌های اسکتس ارائه دادند. [Rahimi and Taheri, 2016] در همین زمینه، حادقی و همکاران نیز احجام عبوری واقعی بیش از ۳۰ تقاطع شهر مشهد را طی ساعات اوج و غیر اوج ترافیک برداشت و با احجام شمارش شده توسط اسکتس مقایسه نمودند. 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. [Hazeghi et al, 2012] در زمینه بهبود عملیات زمان‌بندی اسکتس، صفارزاده و همکاران در پژوهشی، یک رابطه بهینه جهت تعیین طول سیکل تنظیمی در اسکتس برای تقاطعات در شرایط فوق اشباع ارائه دادند. مطابق نتایج به دست آمده در این پژوهش، با به کارگیری این رابطه، متوسط زمان سفر در تقاطع مورد مطالعه (ابوطالب- کلاهدوز) بهبود داشته است. [Saffarzadeh et al, 2016] افندی زاده و همکاران در یک مطالعه، به بهبود عملکرد اسکتس در شرایط ترافیکی با تراکم بالا پرداخته و راهکار مترینگ<sup>۱۹</sup> ترافیک را در رویکردهای مطهری و بهشتی شهر تهران در نرم‌افزار ویزیم

پیشنهادی بوده و نیز ۳ تقاطع مورد مطالعه، در تأخیر و حداکثر طول صف کاهش داشتند. [Zhang et al, 2012] در پژوهش و<sup>۱۳</sup> و همکاران بر اساس اینکه در اسکتس روش شناسایی ترافیک محدود و ناقص بوده و نیز با توجه به اینکه پارامتر درجه‌ی اشباع<sup>۱۴</sup> را به عنوان تنها شاخص عملکردی در نظر می‌گیرد و عملکرد کنترلی مطلوبی ندارد، یک استراتژی کنترلی بهینه در چراغ‌ها استفاده شد. بر اساس این استراتژی، با جانمایی شناساگرها در بالادست تقاطع، اطلاعات طول صف و نیز سرعت خروج خودرو از رویکرد تقاطع به کار گرفته شد تا شاخص‌های عملکردی دیگری نیز در فرآیند زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی تقاطع در نظر گرفته شود. با پیاده‌سازی این استراتژی در شبیه‌ساز، نتایج نشان داد که میزان تأخیر و طول صف تقاطع، کاهش داشته است. [Wu et al, 2019] همچنین، یوری<sup>۱۵</sup> در رساله‌ی دکتری خود به توسعه الگوریتمی پرداخت که پلان آفست<sup>۱۶</sup> را بهتر از سیستم‌هایی مانند اسکتس تخمین زده و طول صف را در هر سیکل پیش‌بینی می‌کند که در آن تغییرات پراکندگی دسته‌ی وسایل نقلیه نیز در نظر گرفته شده است. برخلاف سیستم کنترل تطبیقی اسکتس که درصدد پاسخ به تغییرات شرایط ترافیکی است، این الگوریتم برپایه پیش‌بینی شرایط ترافیکی، زمان‌بندی را صورت می‌دهد. [Urie et al, 2016] در زمینه توسعه و اصلاح سیستم‌های کنترل تطبیقی بر اساس شرایط ترافیکی غیر خط مینا، شارمیلا دوی کوماراول<sup>۱۷</sup> و همکاران در یک شبیه‌سازی برای مدیریت تقاطعات یک شبکه با شرایط ترافیکی غیر خط مینا از الگوریتم کنترل فشار برگشتی مبتنی بر اشغال استفاده کردند. در این الگوریتم از پارامتر سطح اشغال به عنوان شاخصی برای نشان دادن وضعیت ترافیکی غیر خط مینا در تقاطع استفاده و نیز تمام عرض خیابان به عنوان سطحی که تراکم ترافیک ناهمگن اندازه‌گیری می‌شود، مدنظر قرار داده شد. نتایج این شبیه‌سازی نشان داد که الگوریتم‌های کنترلی پیشنهادی در مقایسه با کنترل هوشمند و کنترل فشار برگشت صف به‌طور قابل توجهی عملکرد شبکه ترافیک را در شاخص‌های تأخیر و توقف بهبود بخشیده و بر اساس همین نتیجه، پارامتر سطح اشغال، برای نشان دادن شرایط ترافیک غیر خط مینا، شاخص مناسبی است، [Kumaravel et al, 2020] در پژوهشی دیگر نیز، بیجول ریوندرا<sup>۱۸</sup> و

برای اصلاح درجه‌ی اشباع محاسبه شد. نتایج نشان داد که با اعمال این ضریب ثابت بر درجه‌ی اشباع اسکتس، این پارامتر به مقادیر درجه‌ی اشباع واقعی نزدیک شده و موجب بهینه شدن طول سیکل شده است. [Haghighi, 2015]

در نهایت، با بررسی پژوهش‌های انجام شده، به این نتیجه می‌توان دست یافت که سیستم کنترل تطبیقی اسکتس که در تقاطعات شهرهای ایران به کار گرفته شده است، بر اساس شرایط ترافیکی خط مبنا، شناسایی را انجام می‌دهد و از آنجاییکه ترافیک در معابر شهری ایران به صورت غیر خط مبنا جریان دارد، این سیستم کنترل تطبیقی، شناسایی دقیقی از وضعیت ترافیک نمی‌تواند انجام دهد. بر همین اساس، ارائه‌ی یک رویکرد جهت شناسایی بهتر و نیز اصلاح عملکرد اسکتس بر پایه‌ی شرایط ترافیکی ایران امری ضروری به نظر می‌رسد. از همین رو ابتدا در این پژوهش، به ارزیابی عملکرد اسکتس در حالتی که قابلیت شناسایی ترافیک به صورت غیر خط مبنا را داشته باشد، پرداخته می‌شود تا مشخص شود که در صورت تجهیز اسکتس به دوربین یا شناساگرهای دیگر که قابلیت شناسایی غیر خط مبنا دارند، وضعیت ترافیکی تقاطعات چه میزان بهبود خواهد داشت. سپس باهدف بهبود اسکتس، به اصلاح مهم‌ترین پارامتر الگوریتم آن بر اساس شناسایی ترافیک به صورت غیر خط مبنا پرداخته شد تا این پارامتر به مقادیر واقعی مبتنی بر شناسایی ترافیک به صورت غیر خط مبنا نزدیک شده و منجر به بهینه شدن زمان‌بندی اسکتس شود.

پایه‌سازی کردند. بر اساس نتایج، در اثر به‌کارگیری این راهکار، مقادیر زمان سفر و طول صف تقاطعات تحت فرماندهی اسکتس کاهش داشتند. [Afandizadeh, 2016]

Zargari et al. در رساله‌ی ارده در شبیه‌سازی ایمنان<sup>۲</sup>، یک منطق کنترل تطبیقی مبتنی بر سیستم کنترل تطبیقی اسکتس، پایه‌سازی شد. سپس در شرایط ترافیکی با اشباع کم، اشباع متوسط و اشباع بالا، به مقایسه وضعیت تقاطع تحت فرماندهی منطق کنترل تطبیقی مبتنی بر اسکتس، سیستم‌های کنترل هوشمند و زمان ثابت پرداخته شد. بر اساس نتایج، عملکرد منطق کنترل تطبیقی مبتنی بر اسکتس، در شرایط ترافیکی اشباع کم نسبت به سیستم‌های کنترل هوشمند و زمان ثابت بهتر بوده است. سپس در این مطالعه، برای اصلاح عملکرد کنترل تطبیقی اسکتس، شاخص عملکردی آن از درجه اشباع به طول صف تغییر داده شد. مطابق نتایج به‌دست آمده، در شرایط ترافیکی با اشباع کم و اشباع متوسط، منطق کنترل تطبیقی مبتنی بر اسکتس با شاخص عملکردی طول صف نسبت به سیستم کنترل تطبیقی مبتنی بر اسکتس وضعیت بهتری در تقاطع ایجاد کرده است. [Ardameh, 2020]

در رساله‌ی حقیقی با مطالعه بر روی پنج تقاطع، مقادیر واقعی پارامتر درجه‌ی اشباع به عنوان اصلی‌ترین پارامتر سیستم کنترل تطبیقی اسکتس، با به‌کارگیری فیلم دوربین‌های تقاطع مورد مطالعه، اندازه‌گیری و با درجه‌ی اشباع محاسبه شده توسط اسکتس مقایسه گردید. بر اساس نتایج، بین مقادیر واقعی درجه اشباع و درجه اشباع محاسباتی اسکتس اختلاف و خطا وجود داشته است. بر همین اساس باهدف تصحیح درجه‌ی اشباع محاسبه شده اسکتس، در هر تقاطع برای هر شناساگر، یک ضریب ثابت

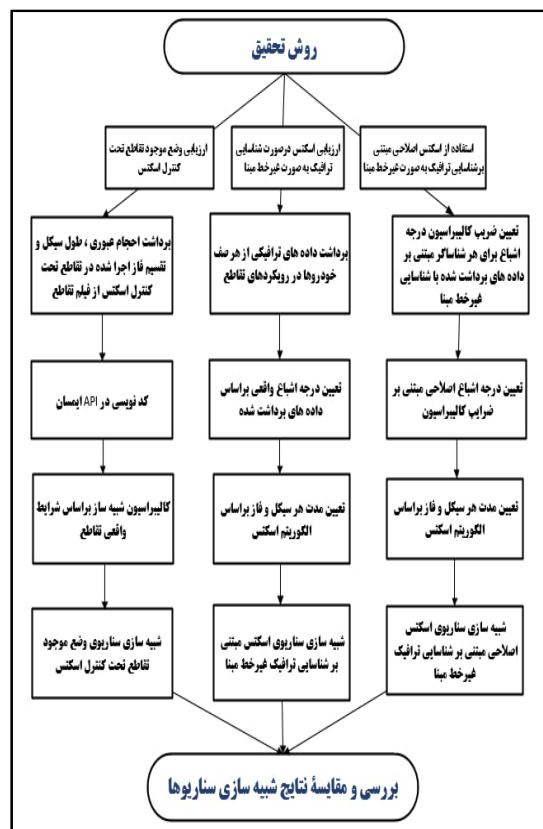
### ۳- روش تحقیق

در این پژوهش، طبق شکل (۱) ابتدا عملکرد کنترلی اسکتس در تقاطع مورد مطالعه بررسی می‌شود و سپس عملکرد اسکتس در حالتی که جریان ترافیک تقاطع را به صورت غیر خط مبنا شناسایی می‌کند، ارزیابی می‌شود. از همین رو، ابتدا به شناخت فرآیند شناسایی و زمان‌بندی اسکتس پرداخته می‌شود. سپس برای ارزیابی عملکرد اسکتس، وضع موجود تقاطعی که تحت فرماندهی اسکتس است، در ایمنان شبیه‌سازی می‌شود. سپس شبیه‌سازی بر اساس شرایط واقعی

در این پژوهش، طبق شکل (۱) ابتدا عملکرد کنترلی اسکتس در تقاطع مورد مطالعه بررسی می‌شود و سپس عملکرد اسکتس در حالتی که جریان ترافیک تقاطع را به صورت غیر خط مبنا شناسایی می‌کند، ارزیابی می‌شود. از همین رو، ابتدا به شناخت فرآیند شناسایی و زمان‌بندی اسکتس پرداخته می‌شود. سپس برای ارزیابی عملکرد اسکتس، وضع موجود تقاطعی که تحت فرماندهی اسکتس است، در ایمنان شبیه‌سازی می‌شود. سپس شبیه‌سازی بر اساس شرایط واقعی

اسکتس و این سناریو پرداخته می‌شود تا مشخص گردد که با شناسایی غیر خط مبنا و زمان‌بندی اسکتس مبتنی بر آن، چه تغییری در وضعیت تقاطع ایجاد می‌شود. در نهایت نیز، با هدف اصلاح اسکتس، بر اساس داده‌های برداشت‌شده مبتنی بر شناسایی ترافیک تقاطع به صورت غیر خط مبنا، برای هر شناساگر یک ضریب اصلاحی ثابت برای پارامتر درجه اشباع اسکتس ارائه می‌شود تا با اعمال آن ضریب به درجه‌ی اشباع در الگوریتم اسکتس، این پارامتر به مقدار واقعی نزدیک شده و پارامترهای زمان‌بندی به‌طور بهینه محاسبه شود.

در حالت شناسایی ترافیک به صورت غیر خط مبنا از فیلم تقاطع استفاده می‌شود و داده‌های حجم و فاصله‌ی زمانی بین خودروها، از هر صف و بدون مبنا قرار دادن خطوط خیابان، برداشت می‌شوند. بر اساس این داده‌ها، درجه‌ی اشباع واقعی هر صف محاسبه و مطابق با فرآیند الگوریتم اسکتس، بر اساس درجه اشباع واقعی، پارامترهای زمان‌بندی محاسبه می‌شوند و سپس تحت عنوان سناریوی "زمان‌بندی اسکتس مبتنی بر شناسایی ترافیک غیرخط مبنا" در ایمسان شبیه‌سازی می‌شوند. سپس به ارزیابی و مقایسه وضعیت ترافیکی تقاطع پس از شبیه‌سازی سناریوی وضع موجود تقاطع تحت کنترل



شکل ۱. فلوچارت روش تحقیق

### ۳-۱ فرآیند شناسایی ترافیک و محاسبه‌ی درجه‌ی اشباع در سیستم کنترل تطبیقی اسکتس

تقسیم زمان سبز زمان سبز مؤثر<sup>۲۱</sup> بر کل زمان سبز برای هر شناساگر (خط)، طبق رابطه‌ی (۱) به دست می‌آید [Haghighi, 2015].

فرآیند شناسایی ترافیک در اسکتس، با برداشت داده‌های حجم و فاصله‌ی زمانی بین خودروها در هر سیکل توسط شناساگر تعبیه‌شده در هر خط انجام می‌شود. سپس با انتقال این داده‌ها به الگوریتم اسکتس، پارامتر درجه‌ی اشباع با

$$DS = g' / g$$

(۱)

' زمان سبز مؤثر است که طبق رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌شود:  $g$  زمان سبز و  $g$  درجه‌ی اشباع،  $DS$  در این رابطه،

$$g' = g - (T - (t * n)) \quad (2)$$

اشباع خطوط بر اساس رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌شود. پس از تعیین درجه‌ی اشباع هر خط در هر سیکل، طبق الگوریتم اسکتس درجه‌ی اشباع هر رویکرد تقاطع، از میانگین درجه‌ی اشباع خطوط رویکرد به دست می‌آید و در نهایت نیز، بزرگ‌ترین درجه‌ی اشباع بین رویکردها در هر سیکل به عنوان درجه‌ی اشباع نهایی تقاطع انتخاب می‌شود.

$$DS = \frac{g - (T - (t * n))}{g} \quad (3)$$

که در آن،  $T$  کل زمان اشغال نبودن<sup>۲۲</sup> شناساگر یا کل فاصله‌ی زمانی بین خودروها در یک سیکل و پارامتر  $t$  که میزان عدم اشغالی بدون اجتناب یا فاصله‌ی زمانی استاندارد بین خودروها بوده و پارامتر  $n$  تعداد عدم اشغالی هر شناساگر در هر سیکل است که از کاهش یک واحدی از حجم عبوری شمارش‌شده در هر شناساگر به دست می‌آید. [Dineen, 2000] در نهایت در هر سیکل، پارامتر درجه‌ی

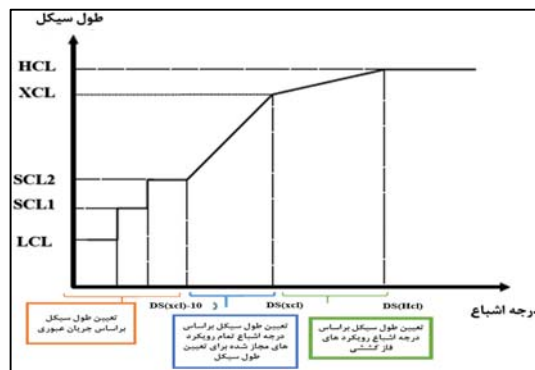
### ۳-۲- فرآیند زمان‌بندی در الگوریتم اسکتس

سیکل حداقل جایگزین دو را پیشنهاد می‌کند. طول سیکل کششی زمانی است که در صورتی که طول سیکل محاسبه‌شده توسط اسکتس از این زمان بیشتر شود، اختلاف طول سیکل اندازه‌گیری شده و طول سیکل کششی به فاز کششی که قبلاً توسط کاربر مشخص‌شده، اضافه می‌شود.

[Haghighi, 2015]

در الگوریتم اسکتس، مطابق با شکل (۲) بین پارامتر درجه‌ی اشباع کششی که طول سیکل کششی را تولید و پارامتر درجه‌ی اشباع حداکثر که طول سیکل حداکثر را تولید می‌کند، یک رابطه‌ی خطی در نظر گرفته‌شده است و در هر سیکل پس از محاسبه بزرگ‌ترین درجه‌ی اشباع در رویکردهای تقاطع محاسبه‌شده و طبق رابطه‌ی خطی بین درجه اشباع و طول سیکل، طول سیکل تقاطع تعیین می‌شود.

در این فرآیند، پارامتر درجه‌ی اشباع برای هر خط در هر سیکل محاسبه و طول سیکل بر اساس آن تعیین می‌شود. در الگوریتم اسکتس پنج طول سیکل تحت عنوان‌های طول سیکل حداقل<sup>۲۳</sup>، طول سیکل حداقل جایگزین یک<sup>۲۴</sup>، طول سیکل حداقل جایگزین دو<sup>۲۵</sup>، طول سیکل کششی<sup>۲۶</sup>، طول سیکل حداکثر<sup>۲۷</sup> در نظر گرفته‌شده است. طول سیکل حداقل، کمترین زمان سیکل قابل‌اعمال در اسکتس است. همچنین برای هر رویکرد به ازای طول سیکل حداقل جایگزین یک و طول سیکل حداقل جایگزین دو به ترتیب یک حجم معیار تحت عناوین  $VF1$  و  $VF2$  تعیین می‌شود که در صورتی که حجم ترافیک عبوری از رویکردهای تقاطع به مقدار  $VF1$  برسد، طول سیکل حداقل جایگزین یک پیشنهاد می‌شود و در شرایطی که حجم ترافیک عبوری از رویکردهای تقاطع به مقدار  $VF2$  برسد، اسکتس طول



شکل ۲. رابطه‌ی درجه‌ی اشباع با طول سیکل

طول صف خودروها در رویکردهای تقاطع نظیر زمان واکنش، پذیرش سرعت، زمان واکنش در حالت توقف و ... تغییر داده می‌شوند تا متوسط طول صف شبیه‌ساز به متوسط طول صف واقعی نزدیک شود. درنهایت پس از کالیبراسیون شبیه‌ساز بر اساس متوسط طول صف، سناریو وضع موجود تقاطع در ایمنان اجرا می‌شود و میزان تأخیر، زمان توقف و طول صف تقاطع برای وضع موجود به دست می‌آید.

### ۳-۵- فرآیند شناسایی ترافیک به صورت غیرخطی مینا و محاسبه‌ی درجه‌ی اشباع واقعی

در این تحقیق، برای شناسایی ترافیک به صورت غیر خطی مینا از فیلم تقاطع استفاده می‌شود. در شناسایی غیر خطی مینا، بدون مینا قرار دادن خط‌کشی‌های خیابان، برداشت داده‌های حجم عبوری و فاصله‌ی زمانی بین خودروها از هر صف خودروها انجام می‌شود به‌عنوان مثال در یک خیابان که به صورت ۴ خطه، خط‌کشی شده و خودروها در ۵ خط در صف قرار گرفته‌اند، برداشت داده‌های حجم عبوری و فاصله‌ی زمانی برای هر ۵ صفی که خودروها ایجاد کرده‌اند، انجام می‌شود. سپس بر اساس این داده‌ها، درجه‌ی اشباع واقعی برای هر ۵ صف در هر سیکل محاسبه می‌شود. طبق رابطه‌ی (۳) برای تعیین درجه‌ی اشباع واقعی، باید مقادیر پارامترهای  $T_n$ ،  $t$  و  $g$  در هر سیکل برای هر صف تعیین شود. بر همین اساس، پارامترهای  $g$  و  $n$  از تصاویر دوربین‌های تقاطع به دست می‌آید. پارامتر  $T$  که مجموع فواصل زمانی بین خودروها است، با استفاده از تصاویر فیلم تقاطع، به صورت دقیق محاسبه می‌شود. لذا برای تعیین فواصل زمانی بین خودروها در هر خط برای هر سیکل، از یک نرم‌افزار ویرایشگر فیلم نظیر ترکر<sup>۲۸</sup>، استفاده می‌شود و مطابق با شکل (۳)، یک خط مبنای مشخص در نزدیکی خط توقف که محل شناساگرهای اسکتس است، قرار داده می‌شود. سپس فاصله‌ی زمانی مابین سپر انتهایی وسیله‌ی نقلیه‌ی جلویی با سپر ابتدایی وسیله‌ی نقلیه عقب مبتنی بر این خط تعیین می‌شود. برای محاسبه‌ی پارامتر  $t$  نیز می‌توان از داده‌های اسکتس برای تقاطع مورد مطالعه، استفاده شود.

در فرآیند تقسیم فاز اسکتس، پلان‌هایی در نظر گرفته شده که در هر یک از این پلان‌ها، اپراتور تعیین می‌کند که چه درصدی از میزان طول سیکل به هر فاز تخصیص داده شود. در هر سیکل، انتخاب پلان بر اساس درجه‌ی اشباع به‌دست‌آمده از رویکردهای تقاطع و زمان سبز فاز در سیکل قبل صورت می‌گیرد. سپس در سیکل بعدی، پلانی برگزیده می‌شود که نسبت به سایر پلان‌ها، متعادل‌ترین میزان درجه‌ی اشباع را برای رویکردهای تقاطع در سیکل بعدی فراهم می‌سازد. [McCann, 2014] درنهایت، پس از محاسبه‌ی مقادیر پارامترهای طول سیکل و تقسیم فاز در هر سیکل در کامپیوتر مرکزی اسکتس، این زمان‌بندی به کنترل‌گر تقاطع اعمال و در چراغ‌های راهنمایی تقاطعات پیاده‌سازی می‌شود.

### ۳-۳- ارزیابی وضع موجود تقاطع تحت کنترل اسکتس

از آنجایی که زمان‌بندی تقاطعات تحت کنترل اسکتس در کامپیوتر مرکزی طبق الگوریتم آن محاسبه شده و سپس در تقاطع اعمال می‌شود، برای ارزیابی عملکرد اسکتس در شبیه‌ساز، اطلاعات زمان‌بندی اعمالی بر تقاطع نظیر زمان هر سیکل و فاز به همراه اطلاعات هندسی و ترافیکی نظیر حجم عبوری رویکردها از فیلم تقاطع برداشت می‌شود. سپس برای شبیه‌سازی از این اطلاعات استفاده شده و شرایط هندسی تقاطع و احجام عبوری در شبیه‌ساز پیاده‌سازی می‌شود. درنهایت برای اعمال زمان‌بندی اعمال شده در تقاطع توسط اسکتس، ابتدا با کد نویسی در API، زمان‌بندی به ایمنان شناسانده می‌شود و سپس این زمان‌بندی در شبیه‌ساز به تقاطع اعمال می‌شود.

### ۳-۴- کالیبراسیون شبیه‌ساز بر اساس وضع موجود تقاطع

در این پژوهش، کالیبراسیون شبیه‌ساز ایمنان بر اساس شاخص متوسط طول صف خودروها در رویکردهای تقاطع، انجام می‌شود. برای این کار، پارامترهای مؤثر در شاخص



شکل ۳. برداشت داده‌های ترافیکی از تصاویر دوربین‌های تقاطع با نرم‌افزار ترکر

پس از تعیین مقدار پارامترهای  $T_m$ ،  $g_m$  و  $t$  در هر سیکل برای هر صف، درجه‌ی اشباع واقعی هر صف در هر سیکل طبق (۴) به دست می‌آید.

$$DS_{real_m} = \frac{(g_m - (T_m - t * n_m))}{g_m} \quad (4)$$

اشباع در رویکردهای تقاطع در هر سیکل، طبق رابطه‌ی خطی بین درجه‌ی اشباع و طول سیکل، طول سیکل تقاطع تعیین می‌شود و فرآیند تقسیم فاز نیز طبق فرآیند الگوریتم اسکتس انجام می‌شود. با مشخص شدن زمان هر سیکل و فاز تقاطع، سناریوی "زمان‌بندی اسکتس مبتنی برشناسایی ترافیک غیر خط مینا" شبیه‌سازی می‌شود. برای شبیه‌سازی این سناریو، زمان‌بندی محاسبه‌شده با کدنویسی در API به ایمسان وارد می‌شود و سپس با اجرای شبیه‌ساز، این زمان‌بندی در تقاطع اعمال می‌شود.

که در آن  $DS_{real_m}$  درجه‌ی اشباع واقعی صف در سیکل  $m$ ،  $g_m$  زمان سبز فاز سیکل  $m$ ،  $T_m$  مجموع فاصله‌ی زمانی بین خودروها در سیکل  $m$  و  $n_m$  تعداد فاصله بین خودروها در سیکل  $m$  است. پس از تعیین درجه‌ی اشباع واقعی هر صف در هر سیکل، درجه‌ی اشباع واقعی هر رویکرد، از میانگین درجه‌ی اشباع‌های واقعی صف‌های رویکرد به دست می‌آید. در نهایت نیز بزرگ‌ترین درجه‌ی اشباع واقعی بین رویکردها به عنوان درجه‌ی اشباع واقعی نهایی تقاطع در هر سیکل انتخاب می‌شود. پس از تعیین بزرگ‌ترین درجه‌ی

### ۳-۶- اسکتس اصلاحی مبتنی برشناسایی ترافیک غیر خط مینا

لذا بر همین اساس، پس از مشخص کردن درجه‌ی اشباع واقعی برای هر خط در هر سیکل و با داشتن اطلاعات درجه‌ی اشباع محاسباتی اسکتس برای همان خط در همان سیکل، ضریب اصلاحی در هر سیکل برای یک خط طبق رابطه (۵) به دست می‌آید.

در الگوریتم اسکتس یک ضریب اصلاحی برای درجه‌ی اشباع هر خط در نظر گرفته‌شده تا با استفاده از آن، پارامتر درجه‌ی اشباع که مهم‌ترین ورودی الگوریتم است، بر اساس شرایط ترافیکی محلی که ممکن است خطایی در برداشت داده‌های توسط شناساگرها وجود داشته باشد، اصلاح شود.

$$NF_m = \frac{DS_{real}(m)}{DS_{scats}(m)} \quad (5)$$



۱. ابتدا هر یک از ضرایب اصلاحی به دست آمده در هر شناساگر، در درجه‌ی اشباع اسکتس سیکل‌ها ضرب شده و درجه‌ی اشباع اصلاحی ( $DS_{mod}$ ) در هر سیکل به دست می‌آید. سپس ضریب اصلاحی انتخاب می‌شود که پس از ضرب آن به درجه‌ی اشباع اسکتس تمام سیکل‌ها، کمترین تعداد  $DS_{mod} - DS_{real} < 0$  مشاهده شود.

۲. در صورتی که در این بازه، چندین  $NF$  هم‌زمان شامل شرط اول باشد، ضریبی انتخاب می‌شود که حاصل رابطه‌ی (۶) در اثر اعمال آن ضریب از همه کمتر باشد.

$$\sum_{i=1}^n \frac{(DS_{mod}(i) - DS_{real}(i))}{n} \quad (6)$$

با از تعیین درجه‌ی اشباع واقعی نهایی تقاطع در هر سیکل، مدت زمان هر سیکل طبق فرآیند تعیین طول سیکل اسکتس محاسبه می‌شود. بعد از آن نیز بر اساس درجه‌ی اشباع اصلاحی رویکردهای تقاطع، فرآیند تقسیم فاز طبق روند تقسیم فاز اسکتس انجام شده و مدت هر سیکل و فاز مشخص می‌شود. با داشتن اطلاعات شرایط هندسی تقاطع، احجام عبوری از رویکردها، مدت هر سیکل و زمان سبز هر فاز، سناریوی "اسکتس اصلاحی مبتنی بر شناسایی ترافیک غیر خط مبنا" نیز با کد نویسی در API ایمسان شبیه‌سازی می‌شود.

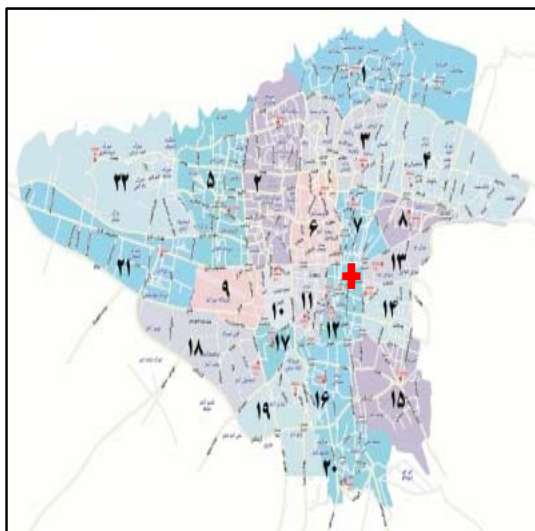
که در آن،  $DS_{real(m)}$  درجه‌ی اشباع واقعی سیکل  $m$  ام خط،  $DS_{SCATS}$  درجه‌ی اشباع محاسباتی اسکتس در سیکل  $m$  ام و  $NF_m$  ضریب اصلاحی سیکل  $m$  ام خط است. طبق مطالعه انجام شده در رساله حقیقی [Haghighi. 2015] با توجه به اینکه ضرایبی که برای هر شناساگر به دست آمده است دارای توزیع نرمال بوده، در نتیجه در این تحقیق، برای ضرایب اصلاحی به دست آمده برای هر شناساگر، می‌توان یک مقدار میانگین ( $NF_{ave}$ ) و انحراف معیار ( $\mu$ ) تعیین و بر اساس این پارامترها، بازه‌ای از مقادیر قابل قبول  $NF$  تعیین کرد. سپس برای تعیین  $NF$  نهایی دو معیار زیر را می‌توان در نظر گرفت:

علت در نظر گرفتن این معیارها، برای انتخاب ضریب اصلاحی است که پس از اعمال آن بر درجه‌ی اشباع کل سیکل‌ها و تعیین درجه‌ی اشباع اصلاحی، مقدار درجه‌ی اشباع اصلاحی اغلب سیکل‌ها بین مقادیر درجه‌ی اشباع اسکتس و درجه‌ی اشباع واقعی شود و میزان این درجه‌ی اشباع اصلاحی از درجه‌ی اشباع واقعی کمتر نشود تا منجر به زمان‌بندی غلط برای تقاطع شود. در نهایت برای هر شناساگر یک ضریب اصلاحی نهایی به دست می‌آید که با ضرب آن در درجه‌ی اشباع اسکتس هر سیکل، درجه‌ی اشباع اصلاح شده به دست می‌آید.

#### ۴- مطالعه‌ی موردی و نتایج

به راست و در خیابان سعدی گردش به چپ آزاد است. اتوبوس‌ها در خطوط ویژه حرکت می‌کنند که تأثیر حضور آن‌ها در این تحقیق در نظر گرفته شده است. قابل ذکر است که در این پژوهش انجام شده بر روی این تقاطع، تأثیر حضور موتورسیکلت‌ها و عابرین پیاده بررسی نشده است.

مطالعه‌ی موردی بر روی تقاطع سعدی- جمهوری واقع در منطقه مرکزی شهر تهران که یک تقاطع با چراغ راهنمایی ۲ فاز است، صورت گرفت. در شکل (۴) موقعیت تقاطع سعدی-جمهوری در شهر تهران نمایش داده شده است. این تقاطع شامل ۴ خط عبوری در هر یک از رویکردها است. رویکردها یک‌طرفه بوده و در خیابان جمهوری گردش



شکل ۴. موقعیت تقاطع سعدی-جمهوری

اشباع‌های مرتبط با هر یک از این طول سیکل‌ها نظیر DSSCL، DSXCL و DSHCL که برای تقاطع سعدی-جمهوری در اسکتس تنظیم شده بود، در جدول (۱) نشان داده شده است.

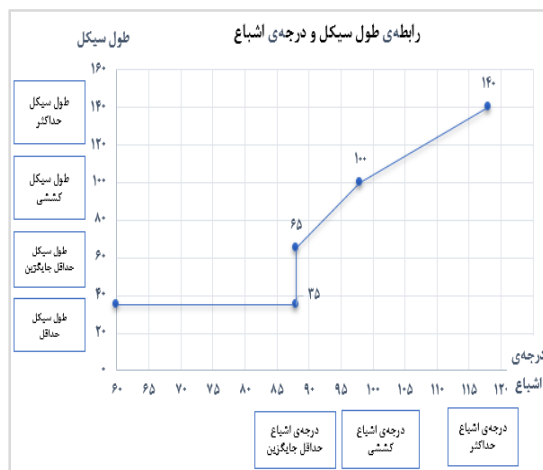
در این مطالعه، فیلم دوربین‌های تقاطع سعدی-جمهوری در یک روز کاری به کار گرفته شده است. متوسط طول صف و حجم عبوری از هر رویکرد، طول سیکل، تعداد فازها و مدت هر فاز در هر سیکل از فیلم تقاطع برداشت شد. مقادیر طول سیکل‌های LCL، SCL، XCL و HCL و نیز درجه‌ی

جدول ۱. مقادیر درجه‌ی اشباع و طول سیکل‌های اسکتس (بر مبنای واحد ثانیه) در تقاطع سعدی-جمهوری

۳۵		طول سیکل حداقل (LCL)	
۸۸	درجه‌ی اشباع جایگزین حداقل (DS <sub>SCL</sub> )	۶۵	طول سیکل جایگزین حداقل (SCL)
۹۸	درجه‌ی اشباع کششی (DS <sub>XCL</sub> )	۱۰۰	طول سیکل کششی (XCL)
۱۱۸	درجه‌ی اشباع حداکثر (DS <sub>HCL</sub> )	۱۴۰	طول سیکل کششی (HCL)

برقرار می‌شود و بر اساس آن، طول سیکل متناسب با درجه‌ی اشباع نهایی تقاطع در هر سیکل به دست آمد.

که با توجه به مقادیر جدول (۲) رابطه‌ی خطی بین پارامترهای طول سیکل و درجه‌ی اشباع طبق شکل (۵)



شکل ۵. رابطه‌ی خطی بین طول سیکل و درجه‌ی اشباع تقاطع سعدي-جمهوری

مقادیر پلان‌های از پیش تعیین‌شده در اسکتس برای تقسیم زمان سبز بین فازها در تقاطع سعدي-جمهوری که در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲. پلان‌های از قبل تعیین‌شده در اسکتس برای تقسیم زمان سبز بین فازهای مختلف در تقاطع سعدي-جمهوری

شماره فاز	پلان ۱	پلان ۲	پلان ۳	پلان ۴
A (سعدي)	٪۶۸	٪۶۵	٪۶۰	٪۵۵
B (جمهوری)	٪۳۲	٪۳۵	٪۴۰	٪۴۵

#### ۱-۴- شبیه‌سازی وضع موجود تقاطع سعدي-جمهوری

در شرایط واقعی، رویکردهای سعدي و جمهوری به صورت ۴ خطه طراحی شده‌اند اما از آنجاییکه خودروها در این رویکردها به صورت ۵ خطه در صف قرار می‌گیرند، رویکردهای تقاطع به صورت ۵ خطه در شبیه‌سازی ترسیم شدند تا رفتار ترافیکی واقعی خودروها در تقاطع شبیه‌سازی شود. پس از ترسیم تقاطع، حجم وسایل نقلیه عبوری اعم از خودروهای سواری و اتوبوس‌ها به شبکه وارد شد. سپس زمان‌بندی اعمالی به تقاطع که توسط اسکتس اعمال شده، با کد نویسی در API ایمنان به تقاطع اعمال شد. در نهایت این سناریو چهار مرتبه با پیش‌فرض‌های تصادفی در شبیه‌سازی ایمنان اجرا شده است.

#### ۲-۴- کالیبراسیون شبیه‌ساز بر اساس شرایط واقعی

##### تقاطع

باهدف کالیبراسیون، در رویکردهای سعدي و جمهوری که طریقه قرارگیری خودروها در صف به صورت ۵ خطه است، متوسط طول صف در هر سیکل محاسبه شده و در ادامه متوسط طول صف هر رویکرد در بازه‌های زمانی ۱۰ دقیقه‌ای محاسبه شده است. در ادامه با شبیه‌سازی متوسط طول صف هر رویکرد در هر ۱۰ دقیقه اندازه‌گیری شد. سپس با تغییر پارامترهای مؤثر در شاخص طول صف نظیر زمان واکنش، زمان واکنش در توقف و پذیرش سرعت تلاش شد تا متوسط طول صف هر رویکرد در شبیه‌ساز به مقادیر واقعی آن، نزدیک شود. در جدول‌های (۳) و (۴) مقادیر نشان داده شده مقدار متوسط طول صف رویکردهای سعدي و جمهوری در واقعیت و شبیه‌ساز است.

جدول ۳. مقایسه متوسط طول صف موجود در رویکرد سعدی در تقاطع و شبیه‌ساز

زمان شبیه سازی	میانگین طول صف رویکرد سعدی در شبیه ساز (Veh)	میانگین طول صف رویکرد سعدی در تقاطع (veh)
۰:۱۰:۰۰	۲.۸۹	۳.۰۳
۰:۲۰:۰۰	۴.۶۲	۴.۲۷
۰:۳۰:۰۰	۶.۸۶	۵.۹۳
۰:۴۰:۰۰	۴.۰۹	۴.۳۹
۰:۵۰:۰۰	۲.۰۳	۲.۵۸
۰:۶۰:۰۰	۱.۱۷	۱.۹۰
میانگین کل دوره شبیه سازی	۳.۶۱	۳.۶۸

جدول ۴. مقایسه متوسط طول صف موجود در رویکرد جمهوری در تقاطع و شبیه‌ساز

زمان شبیه سازی	میانگین طول صف رویکرد جمهوری در شبیه ساز (Veh)	میانگین طول صف رویکرد جمهوری در تقاطع (Veh)
۰:۱۰:۰۰	۲.۲۷	۲.۹۰
۰:۲۰:۰۰	۲.۰۶	۲.۶۶
۰:۳۰:۰۰	۱.۱۸	۱.۵۳
۰:۴۰:۰۰	۴.۲۱	۴.۰۰
۰:۵۰:۰۰	۳.۳۳	۲.۹۸
۰:۶۰:۰۰	۴.۷۶	۳.۸۳
میانگین کل دوره شبیه سازی	۲.۹۷	۲.۹۸

اشباع اسکتس رویکردها کمتر به دست آمده است. از همین رو می‌توان به این نتیجه دست یافت که شناسایی اسکتس که به صورت خط مبنا انجام می‌شود، غیردقیق بوده و مقادیر درجه اشباع را نسبت به مقادیر واقعی درجه اشباع بیشتر تعیین می‌کند که این امر منجر به زمان‌بندی غیر بهینه برای تقاطع می‌شود.

#### ۴-۳-۲- مقایسه‌ی وضع موجود تقاطع و سناریوی

زمان‌بندی اسکتس مبتنی بر شناسایی ترافیک غیر خط مبنا شکل (۷) مشخصاً وضعیت تقاطع در شاخص‌های عملکردی نظیر تأخیر، متوسط طول صف و زمان توقف با اجرای سناریوی وضع موجود و سناریوی "زمان‌بندی اسکتس مبتنی بر شناسایی ترافیک غیر خط مبنا" را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار تأخیر، متوسط طول صف و زمان توقف تقاطع با اجرای شبیه‌سازی سناریوی "زمان‌بندی اسکتس مبتنی بر شناسایی ترافیک غیر خط مبنا" در برابر با شرایط موجود تقاطع تحت کنترل اسکتس به ترتیب به‌طور متوسط ۳۳٪، ۳۵٪ و ۳۴٪ کاهش داشته است. با توجه به این نتیجه، شناسایی ترافیک با رویکرد غیر خط مبنا برای شرایط ترافیک غیر خط مبنا با دقتی بیشتر از قبل همراه بوده و برداشت داده‌های مورد نیاز ترافیکی انجام شده درست‌تر است. از همین رو، پارامتر

#### ۴-۳-۳- ارزیابی عملکرد اسکتس در صورت شناسایی

##### ترافیک به صورت غیر خط مبنا

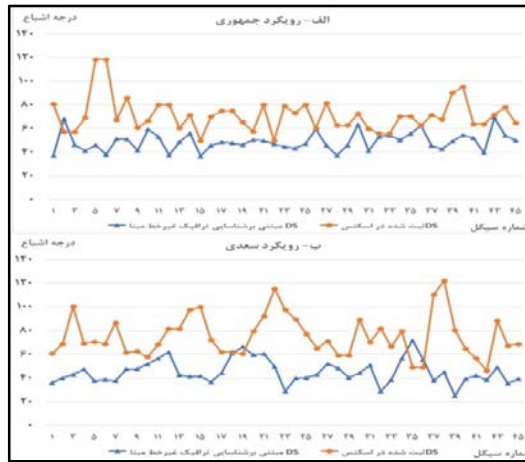
در این بخش از تحقیق، با به‌کارگیری فیلم تقاطع سعدی- جمهوری، همانند شکل (۳)، داده‌های حجم و فاصله‌ی زمانی خودروها، بدون مبنا قرار دادن خطوط خیابان، بر اساس صف خودروها برداشت شد. سپس درجه‌ی اشباع واقعی مبتنی بر این داده‌های برداشت‌شده به صورت ۵ خطه محاسبه و زمان‌بندی مبتنی بر این درجه اشباع ۵ خطه تعیین شدند. در نهایت پس از محاسبه زمان هر سیکل و فاز، این سناریو، تحت عنوان "سناریوی زمان‌بندی اسکتس مبتنی بر شناسایی ترافیک غیر خط مبنا" با کد نویسی در API ایمنسان شبیه‌سازی شد و مقادیر شاخص‌های تأخیر، متوسط طول صف و زمان توقف پس از اجرای آن اندازه‌گیری شد.

#### ۴-۳-۴- مقایسه‌ی درجه‌ی اشباع اسکتس و درجه‌ی اشباع

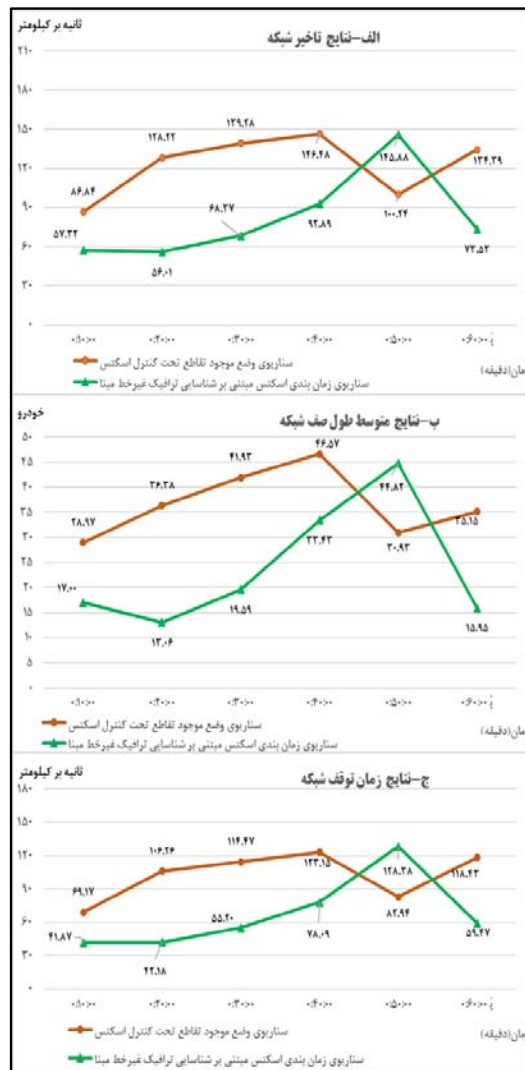
##### واقعی مبتنی بر شناسایی غیر خط مبنا

در شکل (۶) مقادیر درجه‌ی اشباع اسکتس و درجه‌ی اشباع واقعی مبتنی بر رویکرد شناسایی ترافیک غیر خط مبنا در رویکردهای سعدی و جمهوری نشان داده شده است. طبق شکل (۶) مقادیر درجه‌ی اشباع واقعی مبتنی بر رویکرد شناسایی ترافیک غیر خط مبنا رویکردها نسبت به درجه‌ی

درجه‌ی اشباع که مبتنی بر داده‌های برداشت‌شده به دست می‌آید، با مقادیر صحیح‌تر وارد الگوریتم زمان‌بندی اسکتس شده و موجب بهبود زمان‌بندی و وضعیت ترافیکی آن تقاطع شده است.



شکل ۶. مقایسه DS اسکتس و DS واقعی مبتنی بر شناسایی غیر خط مبنا در رویکرد سعدی و جمهوری



شکل ۷. مقایسه نتایج گرفته‌شده از سناریوی وضع موجود و سناریوی زمان‌بندی اسکتس شامل بر شناسایی ترافیک غیر خط مبنا

۴-۴ اصلاح عملکرد اسکتس با تعیین ضریب کالیبراسیون برای هر شناساگر مبتنی بر شناسایی ترافیک غیر خط مبنا با تعیین درجه‌ی اشباع واقعی، ضرایب اصلاحی برای هر شناساگر طبق رابطه‌ی (۵) تعیین شد. پس از تعیین NF هر شناساگر در هر سیکل، با استفاده از انحراف معیار و میانگین به دست آمده برای NF هر شناساگر، بازه‌ی مجاز NF نهایی هر شناساگر، طبق جدول (۵) به دست آمد.

طبق نتایج، رویکردهای تقاطع با اجرای سناریوی وضع موجود دارای تأخیر متوسط ۴۹,۲۹ ثانیه بوده و با شبیه‌سازی سناریوی "زمان‌بندی اسکتس مبتنی بر شناسایی ترافیک غیر خط مبنا" به ۳۲,۴۵ ثانیه کاهش پیدا کرده است؛ بنابراین با شناسایی کردن ترافیک به صورت غیر خط مبنا و محاسبه‌ی درجه‌ی اشباع واقعی بر پایه‌ی این نوع شناسایی، پارامترهای مختلف زمان‌بندی نظیر طول سیکل و تقسیم فاز بهبود یافته و منجر به کاهش تأخیر رویکردهای تقاطع می‌شود.

جدول ۵. بازه‌ی مجاز برای تعیین NF ثابت نهایی هر شناساگر

بازه‌ی NF مجاز شناساگرها در رویکرد جمهوری			
شناساگر ۱	شناساگر ۲	شناساگر ۳	شناساگر ۴
(۰,۴۱,۱,۳۸)	(۰,۴۵,۱,۲۵)	(۰,۴۴,۰,۹۲)	(۰,۳۱,۰,۷۸)
بازه‌ی NF مجاز شناساگرها در رویکرد سعدی			
شناساگر ۵	شناساگر ۶	شناساگر ۷	شناساگر ۸
(۱,۱۳,۰,۱۳)	(۰,۷۶,۰,۳۱)	(۰,۴,۰,۸۸)	(۰,۵۷,۱,۰۴)

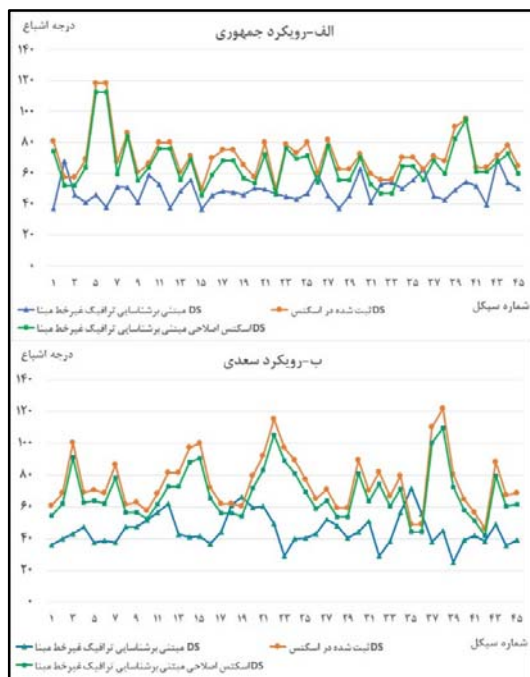
پس از مشخص شدن بازه مجاز NF برای هر شناساگر، NF نهایی با در نظر گرفتن دو معیار اشاره‌شده طبق جدول (۶) تعیین می‌شود.

جدول ۶. مقادیر نهایی NF هر شناساگر

NF نهایی شناساگرها در رویکرد جمهوری			
شناساگر ۱	شناساگر ۲	شناساگر ۳	شناساگر ۴
۰,۹۷	۱,۱۷	۰,۹	۰,۷۵
NF نهایی شناساگرها در رویکرد سعدی			
شناساگر ۵	شناساگر ۶	شناساگر ۷	شناساگر ۸
۰,۹۵	۰,۷۶	۰,۸	۰,۹۸

درجه‌ی اشباع اسکتس، این پارامتر به درجه‌ی اشباع واقعی نزدیک شده و در نتیجه با بهینه شدن درجه‌ی اشباع رویکردها که ورودی مستقیم فرایند زمان‌بندی اسکتس هستند، طول سیکل و تقسیم فاز می‌تواند دقیق‌تر تعیین شود.

پس از محاسبه‌ی درجه‌ی اشباع اصلاحی برای هر شناساگر در هر سیکل، درجه‌ی اشباع واقعی و اصلاحی رویکرد جمهوری و سعدی با درجه‌ی اشباع اسکتس آن‌ها طبق شکل (۸) مقایسه می‌شود. طبق نتیجه، با اعمال ضریب اصلاحی به

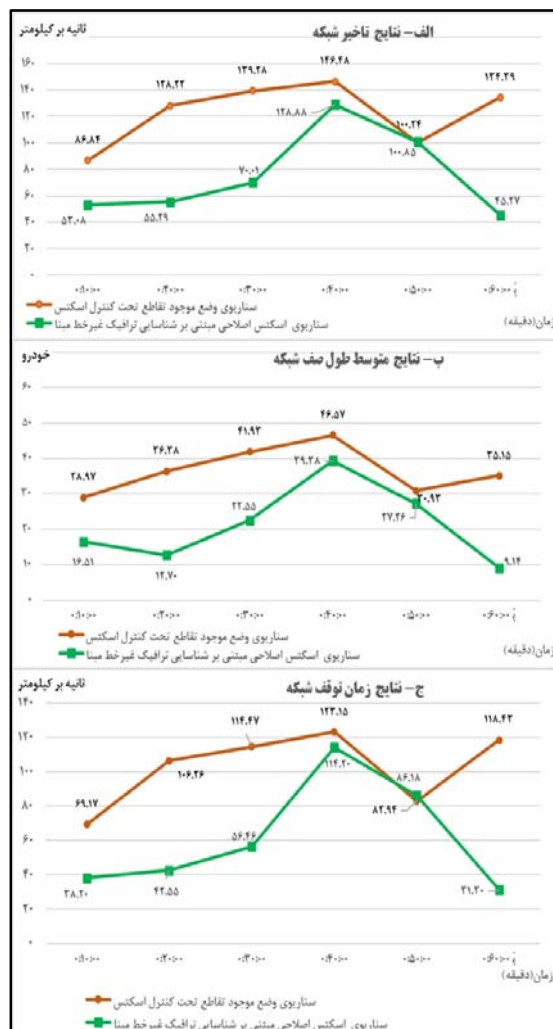


شکل ۸. مقایسه DS واقعی و DS اصلاحی مبتنی بر شناسایی غیر خط مبنا و DS اسکتس رویکردها

توقف، بهبود داشته است. با مقایسه نتایج می توان به این نتیجه دست یافت که با اعمال ضریب اصلاحی بر درجه اشباع اسکتس، این پارامتر با نزدیکی به مقادیر واقعی، اصلاح شده و در نتیجه آن، پارامترهای مختلف دخیل در زمان بندی مانند طول سیکل و فاز بندی بهینه شده و منجر به کاهش تأخیر، متوسط طول صف و زمان توقف می شود. لذا می توان پیشنهاد داد ضمن بررسی در تقاطعات با ویژگی های مختلف دیگر، از این رویکرد بهینه سازی، برای بهبود زمان بندی تقاطعات تحت فرماندهی اسکتس در مراکز مدیریت ترافیک شهرهای ایران استفاده شود تا وضعیت ترافیک معابر شهری بهبود یابد

در ادامه، پس از تعیین درجه اشباع اصلاحی، پارامترهای زمان بندی نظیر طول سیکل و تقسیم فاز محاسبه شده و در نهایت این سناریو تحت عنوان سناریوی "اسکتس اصلاحی مبتنی بر شناسایی غیر خط مبنا" در شبیه ساز ایمنان پیاده سازی شد. در شکل (۹) وضعیت تقاطع در شاخص های تأخیر، طول صف و زمان توقف تقاطع پس از پیاده سازی سناریوی وضع موجود تقاطع تحت کنترل اسکتس و سناریوی اسکتس اصلاحی مبتنی بر شناسایی غیر خط مبنا نمایش داده شده است.

با توجه به شکل (۹) با اعمال ضریب اصلاحی به درجه اشباع اسکتس، وضعیت تقاطع به طور متوسط با کاهش ۳۸، ۴۰ و ۴۲ درصدی در تأخیر، متوسط طول صف و زمان



شکل ۹. مقایسه وضعیت تقاطع با اجرای سناریوی وضع موجود تحت کنترل اسکتس و سناریوی اصلاحی مبتنی بر شناسایی ترافیک غیر خط مبنا

## ۵- نتیجه گیری

داده‌های برداشت‌شده با این نوع رویکرد شناسایی، پارامتر درجه‌ی اشباع و زمان هر سیکل و فاز مطابق با الگوریتم اسکتس، تعیین شد و با کد نویسی در ایمنسان، این سناریو، شبیه‌سازی گردید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، با این نوع رویکرد شناسایی، عملکرد اسکتس در زمان‌بندی نسبت به وضع موجود تقاطع که شناسایی اسکتس به صورت خط مبنا صورت می‌گرفت، بهینه‌شده و تأخیر، زمان توقف و طول صف کاهش ۳۳، ۳۴، ۳۵ درصدی داشتند. بر همین اساس، می‌توان به این نتیجه دست یافت که در معابر شهری ایران با شرایط ترافیکی غیر خط مبنا، در صورت تجهیز اسکتس به دوربین‌ها یا شناساگرهایی که قادر به شناسایی ترافیک غیر خط مبنا باشند، وضعیت ترافیکی تقاطعات تحت

با توجه به شناسایی خط مبنا ترافیک در سیستم کنترل تطبیقی اسکتس، داده‌های ترافیکی بر اساس هر خط خیابان برداشت می‌شود. با توجه به اینکه شرایط ترافیکی معابر شهری کشور ایران، غیر خط مبنا است، اصلاح عملکرد اسکتس امری ضروری به نظر می‌رسد. از همین رو در این تحقیق، ابتدا به ارزیابی عملکرد اسکتس در حالتی که قادر به شناسایی ترافیک به صورت غیر خط مبنا و مبتنی بر صف خودروها باشد، پرداخته شد. این ارزیابی بر روی تقاطع سعدی-جمهوری که تحت فرماندهی اسکتس قرار دارد، انجام شد. با بهره‌گیری از فیلم تقاطع، برداشت داده‌های ترافیکی، بدون مبنا قرار دادن خطوط خیابان، برای هر صفی که خودروها تشکیل می‌دادند، انجام گردید. سپس بر اساس



ترافیکی مختلف ارزیابی و به کار گرفته شود. همچنین به بررسی الگوریتم دیگر سیستم‌های کنترل تطبیقی برای به‌کارگیری در شبکه تقاطعات شهرهای مختلف ایران که دارای شرایط ترافیکی غیر خط مینا است پرداخته شود و عملکرد آن با عملکرد اسکتس مقایسه شود. در این تحقیق به بررسی عملکرد اسکتس مبتنی بر شناسایی ترافیک غیر خط مینا پرداخته شد که چشم‌انداز مناسبی برای ارزیابی مزایای به‌کارگیری دوربین یا سایر شناساگرها به‌عنوان جایگزین حلقه‌های القائی است. از همین رو، پیشنهاد می‌شود با استفاده از فن‌آوری‌های پردازش تصویر، فرآیند ارائه‌شده برای شناسایی ترافیک غیر خط مینا در تقاطعات اجرا شده و مورد بررسی قرار گرفته شود.

## ۶- 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.

22. Unoccupancy time

23. LCL (Low Cycle Length)

24. SCL1 (Stopper Cycle Length 1)

25. SCL2 (Stopper Cycle Length 2)

26. XCL (Stretch Cycle Length)

27. HCL (High Cycle Length)

28. Tracker

## ۸- مراجع

- اردمه، صالح (۱۳۹۹). ارائه مدلی برای بهبود عملکرد سیستم کنترل تطبیقی چراغ در شبکه‌ی معابر شهری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: افشین شریعت مهمنی، تهران: دانشکده مهندسی عمران، گروه مهندسی حمل‌ونقل، دانشگاه علم و صنعت ایران.

- حاذقی، مانی و امامی میبیدی یزدی، سید مهدی و پژوهش‌مندان، علی (۱۳۹۱). توسعه مدلی جهت تصحیح خطای ناشی از شمارش حجم وسایل نقلیه در تقاطعات چراغ‌دار

کنترل اسکتس بهبود قابل‌توجهی خواهند داشت. همچنین در این تحقیق، رویکردی جهت اصلاح عملکرد اسکتس بر اساس شناسایی ترافیک به صورت غیر خط مینا ارائه شد که در آن، باهدف بهینه‌سازی زمان‌بندی، برای درجه اشباع هر شناساگر تقاطع مورد مطالعه، یک ضریب اصلاحی استخراج و ارائه شد تا با اعمال این ضرایب به درجه اشباع این پارامتر اصلاح‌شده و به مقادیر واقعی حاصل از شناسایی ترافیک به صورت غیر خط مینا نزدیک شود. طبق نتایج به‌دست‌آمده، تأخیر، زمان توقف و طول صف نسبت به وضع موجود تقاطع به میزان ۳۸، ۴۲ و ۴۰ درصد کاهش پیدا کرد. بر همین اساس، مشخص می‌شود که این رویکرد اصلاح اسکتس مبتنی بر شناسایی ترافیک غیر خط مینا، با دقتی سازی درجه اشباع و پارامترهای زمان‌بندی، موجب می‌شود که عملکرد اسکتس به حالتی که می‌توانست ترافیک را به صورت غیر خط مینا شناسایی کند، نزدیک شود. لذا می‌توان از این رویکرد بهینه‌سازی، جهت بهبود زمان‌بندی تقاطعات تحت فرماندهی اسکتس در مراکز مدیریت ترافیک شهرهای ایران استفاده شود تا وضعیت ترافیک معابر شهری بهبود یابد. برای تحقیقات آتی، پیشنهاد می‌شود که رویکرد شناسایی ترافیک غیر خط مینا ارائه‌شده برای سیستم کنترل تطبیقی اسکتس، در تقاطعات دیگر با شرایط هندسی و

## ۷- پی‌نوشت‌ها

1. SCATS
2. SCOOT
3. Opac
4. Rhodes
5. Prodyn
6. Motion
7. Balance
8. Heterogeneous
9. Auckland
10. TRANSYT
11. Zhang
12. Vissim
13. Wu
14. (DS) Degree of Saturation
15. Urie
16. Offset
17. Kumaravel
18. Raveendran
19. Metering
20. Aimsun
21. Effective Green time

- Afandizadeh Zargari, S. Dehghani, N. Mirzahosseini, H. Hamedi, M. (2016). Improving SCATS operation during congestion periods using internal/external traffic metering strategy in Promet-Traffic&Transportation.
- Auckland Transport. (2012). Route optimisation /Traffic Signals Efficiency (Report). Auckland, New Zealand.
- Bezuidenhout, Urie, Prakash Ranjitkar, and Judith Wang. (2011). the influence of a new signal offset optimiser on travel reliability and drivers' route choices (INSTInCt), in Road & Transport Research, *A Journal of Australian and New Zealand Research and Practice* 20.3, 77-82.
- Dineen, M. (2000). Real-Time Display of Dublin Traffic Information on the Web, A Master of Science dissertation, Dublin, *the University of Dublin*.
- Kergaye, Cameron, Aleksandar Stevanovic, and Peter T. Martin. (2008). an evaluation of SCOOT and SCATS through microsimulation. International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation, Transportation and Development Institute, Athens, Greece.
- Stevanovic, A. (2010). Adaptive traffic control systems: domestic and foreign state of practice, NCHRP SYNTHESIS 403, *Transportation Research Board*.
- Taylor, W., & Abdel-Rahim, A. S. (1998). Final Report on Analysis of Corridor Delay under SCATS Control (Orchard Lake Road Corridor). On-line: University of Michigan. Intelligent Transportation Systems Laboratory, *Technology Planning and Evaluation Group*.
- Wu, Chaoyang, et al. (2019). Study on optimal model of traffic signal control at oversaturated intersection. International Symposium for Intelligent Transportation and Smart City. *Springer, Singapore*.
- مجهز به سیستم SCATS، یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، تهران: ۲-۳ اسفند.
- حقیقی، محمود رضا (۱۳۹۴). ارائه روشی برای بهینه سازی عملکرد سیستم کنترل انطباقی چراغ های راهنمایی، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: افشین شریعت مهمینی، تهران: دانشگاه پیام نور.
- طاهری، سعید و رحیمی، امیر مسعود (۱۳۹۵). ارزیابی و تحلیل داده های حجم خروجی از نرم افزار SCATS در شبکه معابر درون شهری مطالعه موردی: ۳ تقاطع شهر قزوین، چهارمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، ۷-۸ بهمن.
- صفارزاده، محمود و همکاران (۱۳۹۵). تحلیل روابط طول چرخه و ظرفیت بهینه تقاطعات فرماندهی در شرایط فوق اشباع ترافیکی (نمونه موردی: تقاطع ابوظالب- کلاه دوز شهر مشهد)، شانزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، ۱۰-۱۱ اسفند.
- Zhang, W. Tan, G. Ding, N. & Wang, G. (2012). Traffic Congestion Evaluation and Signal Control Optimization Based on Wireless Sensor Networks: Model and Algorithms. Hindawi Publishing Corporation
- 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.
- Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2012.
- McCann, B. (2014). A review of SCATS operation and deployment in Dublin. Proceedings of the 19th JCT traffic signal symposium & exhibition. *JCT Consulting Ltd*.
- Raveendran, B., T.V. Mathew, and N.R. Velaga. (2020). A Heuristic Adaptive Traffic Control Algorithm for Signalized Intersections. *International Conference on Communication Systems & NETWORKS (COMSNETS)*.

# Evaluation of SCATS in Non-Lane Based Traffic and Provide an Approach to Improve Its Performance

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

*Mohammad Reza Soltani, 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: June 2023- Accepted: November 2023

## **ABSTRACT**

Today, adaptive traffic control systems with instantaneous and adaptive timing features are used to optimize the timing of intersection traffic signals. One of the most famous adaptive traffic control systems is called SCATS, which architecture and algorithm are lane-based traffic conditions. In SCATS, the intersections traffic flow is identified by induction loops in each street lane, and traffic data is collected from each street lane. Given that in the urban streets of developing countries such as Iran, traffic condition is often heterogeneous, and cars move regardless of street lanes. In this research, the performance of SCATS in two conditions, lane-based and non-lane-based, has been compared. According to the obtained results, with the implementation of the scenario "SCATS timing based on non-lane-based traffic condition" the delay, average queue length, and stop time of the intersection on average, 33%, 35%, and 34% less than the current situation of the intersection controlled by SCATS based on lane-based traffic condition. As a result, the traffic condition of the intersection controlled by SCATS based on non-lane-based traffic detection will improve, and SCATS will perform better if it can detect non-lane-based traffic conditions. Accordingly, if SCATS is equipped with more accurate detectors such as cameras that can detect traffic as non-lane-based, the traffic condition of intersections controlled by SCATS can be significantly improved. Finally, with the purpose of correcting the SCATS, the collected data by non-lane-based detecting were used. For each intersection detector, a factor was determined to correct the degree of saturation that is the most important parameter of the SCATS algorithm, and SCATS timing is done optimally. Based on the results, by applying a correction factor obtained based on non-lane-based detecting to each detector, the intersection's delay, average queue length, and stopping time have been reduced by 38%, 40%, and 42%.

**Keywords:** Adaptive Traffic Control System, SCATS, Heterogeneous Traffic Conditions, Optimization of Traffic Signal Timing