فصلنامه سیستم‌های پردازشی و ارتباطی چندرسانه‌ای هوشمند
Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems (IMPCS)

Fall 2022, 3 (3), 11-17
DOR: 20.1001.1.27832570.1401.3.3.2.4

Received: 21 June 2022
Accepted: 6 Aug 2022

مقاله پژوهشی

Evaluating the Performance of Intelligent Traffic Signals Based on Firefly Algorithm Applied in an Adaptive Control System

Fariba Jabbari[1], Mehdi Fallah Tafti[2 *]

1. MSc. Student, Civil Engineering (R&T), Yazd University, Yazd, Iran. faja.civil89@yahoo.com
2. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering Yazd University, Yazd, Iran. (*Corresponding Author)* fallah.tafti@yazd.ac.ir

Abstract

Introduction: In this article, the performance of adaptive traffic signal control systems based on an artificial intelligence technique, namely Firefly Algorithm, for traffic control at urban intersections has been investigated. In order to check the proposed algorithm, the required data were first collected from two intersections in Yazd city. These intersections were then simulated using AIMSUN traffic simulator software and calibrated and validated under existing conditions. In the next step, the adaptive control system based on the proposed Firefly algorithm was developed and then used in simulated intersections and its performance was compared with pre-time control system in terms of intersection traffic capacity and vehicle queue length at the entry approaches. The t-test was used for a more scientific investigation. For this reason SPSS software was used as one of the most widely used statistical software to perform this test.

Method: In order to concurrently optimize vehicle departure volume or throughputat and queue length at the entry approaches of each intersection, the Firefly algorithm was used to to develop a multi-objective adaptive traffic signal control logic and appropriately distribute the effective green time in each cycle between the entry approaches.

Results: The simulation results indicated a lower average queue length and higher throughput when the proposed adaptive model was compared with pre-time model at both intersections. The t-test results showed that the adaptive traffic signal control method has resulted in a significant lower average queue length than the pre-time time control at one of the intersections with p-value equal to 0.002. However, this improvement was not statistically significant for the other intersection. Moreover, the t-test results on the average flow departure volume measure for both intersections indicated a significant improvement with p-value equal to 0.000. when the proposed adaptive method was compared to the pre- time method.

Discussion: According to the results, the proposed adaptive model showed better overall performance in the scope of this research than the pre-time control method. The results indicate that the performance of adpative signal controls could be enhanced when artificial intelligence techniques such as Firefly algorithm are used in the control logic and a multi-objective optimization approach is used.

Keywords: Traffic Signals Optimization, Adaptive Traffic Signals, Firefly Algorithm, Pre-time Traffic Signals.

فصلنامه سیستم‌های پردازشی و ارتباطی چندرسانه‌ای هوشمند
Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems (IMPCS)
انجمن علمی تجارت الکترونیکی ایران
واحد زنجان

ارزیابی عملکرد چراغ‌های راهنمایی هوشمند مبتنی‌بر الگوریتم کرم شب‌تاب در یک سیستم کنترل تطبیقی

تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۳/۳۱
تاریخ پذیرش: ۰۵/۱۵ ۱۴۰۱

دورهٔ سوم، پاییز ۱۴۰۱
شمارهٔ سوم، صص: ۱۱-۱۷

فریبا جباری[۱]، مهدی فلاح تفتی[۲]*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد راه‌وترابری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. faja.civil89@yahoo.com
۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران. (نویسندهٔ مسئول) fallah.tafti@yazd.ac.ir

چکیده: در این پژوهش به بررسی سیستم‌های کنترل چراغ راهنمایی تطبیقی جهت کنترل ترافیک تقاطع‌ها پرداخته‌شده‌است. برای این منظور از الگوریتم کرم شب‌تاب جهت توزیع زمان سبز میان رویکردها استفاده‌شد که به بهینه‌سازی میزان گذردهی خودروها از تقاطع و طول صف رویکردهای تقاطع می‌پردازد و در نهایت منجر به بهبود عملکرد ترافیک در تقاطع‌ها می‌گردد. همچنین جهت بررسی الگوریتم پیشنهادی، به آماربرداری از دو تقاطع شهر یزد و شبیه‌سازی آن‌ها در نرم افزار شبیه‌ساز AIMSUN پرداخته‌شد. سپس این تقاطع‌ها برای شرایط موجود کالیبره و اعتبارسنجی شدند. آنگاه الگوریتم مذبور بر آن اعمال‌گردید و عملکرد آن با سیستم کنترل با زمان‌بندی ثابت مقایسه‌گردید. همچنین جهت اطمینان از اختلاف میانگین معنادار شاخص‌های ارزیابی طول صف و گذردهی تقاطع بین روش پیشنهادی و روش زمان ثابت، از آزمون t استفاده‌گردید. نتایج نشان‌داد روش پیشنهادی که در زمره کنترل تطبیقی چراغ راهنمایی تقاطع‌ها قرار می‌گیرد، دارای عملکرد بهتری نسبت به روش کنترل زمان ثابت در تقاطع‌های منفرد است.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، چراغ راهنمایی تطبیقی، الگوریتم کرم شب‌تاب، چراغ راهنمایی زمان‌ثابت.

۱. مقدمه

چراغ‌های راهنمایی به عنوان یکی از اجزای مهم و کلیدی در تقاطع‌های چراغ‌دار، نقش مؤثری در کنترل جریان ترافیک بر عهده دارند. از این رو مطالعه و تحقیق بر روی نحوه کنترل بهینه این چراغ‌ها و هماهنگ‌سازی آن‌ها می‌تواند گام مهمی جهت جلوگیری از به‌وجودآمدن ازدحام و پس‌زدگی صف در یک شبکه باشد. سیستم‌های کنترل چراغ راهنمایی ممکن است از رویکردهای زمان‌ثابت[۱](از پیش زمان‌بندی‌شده)، تحریک‌پذیر[۲] (سازگار با ترافیک) یا تطبیقی[۳] استفاده‌کنند. کنترل تطبیقی که هم‌اکنون قدرتمندترین شیوه کنترل تقاطع است دارای مراحل مختلفی می‌باشد که مرحله سوم از این فرآیند، بهینه‌سازی (تصمیم‌گیری) نام‌دارد. این مرحله شامل روندی است که به‌وسیله آن پارامترهای پیش‌بینی‌شده از مرحله دوم به منظور توزیع زمان سبز به رویکردهای مختلف تقاطع استفاده‌می‌گردد. از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفی، الگوریتم‌های مبتنی بر هوش ازدحامی (جمعی) جایگاه ویژه‌ای در حوزه بهینه‌سازی عددی دارند. الگوریتم کرم شب‌تاب، الگوریتمی مبتنی بر گروه (جمع) است که به طور کارآمد توانایی شناسایی راه‌حل بهینه را دارد. پژوهش مورد نظر از طریق شبیه‌سازی ترافیک تقاطع‌های منفرد و سیستم‌های کنترل ترافیک مورد بررسی در آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی مناسب به نام ایمسان انجام‌شده‌است. هدف از انجام این مطالعه بررسی بهبود یا عدم‌بهبود پارامترهای عملکردی ترافیک با روش کنترل تطبیقی بهینه‌سازی الگوریتم کرم شب‌تاب در مقایسه با روش کنترل سازگار با ترافیک است. در ابتدا داده‌های مورد نیاز بررسی‌شده‌است، سپس این داده‌ها از طریق مرکز کنترل ترافیک شهرداری و برداشت‌های میدانی برای دو تقاطع شهر یزد تهیه‌شده‌اند. در مرحله بعد برای شبیه‌سازی مورد نظر، اطلاعات هندسی و ترافیکی آن تقاطعات جمع‌آوری شده‌است. بر مبنای این اطلاعات، این تقاطع‌ها برای شرایط موجود کالیبره و اعتبارسنجی شده‌اند و سپس الگوریتم کنترل چراغ راهنمایی تطبیقی پیشنهادی اعمال و عملکرد آن با استفاده از شاخص‌های عملکردی مناسب مورد ارزیابی و مقایسه قرار-گرفته‌است.

در شیوه زمان‌ثابت کنترل چراغ راهنمایی، ترتیب و دوره فازها از قبل با توجه به وضعیت تقاطع مشخص‌شده و برنامه عملکرد آن به کنترل‌کننده داده‌شده‌است که در همه شرایط به یک صورت فازها را تغییردهد. این روش به شرایط مختلف ترافیک که ممکن است در وضعیت‌های متفاوت به‌وجودآید توجهی ندارد و به همین سبب ممکن است باعث تأخیرهای زیاد بی‌دلیل به هریک از رویکردها شود.

سال ۲۰۱۹ میلادی، جی کال لاگنا و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان "محاسبه طول چرخه بهینه چراغ راهنمایی با درنظرگرفتن تأخیر وارد به وسیله نقلیه و میزان مصرف سوخت" به بهبود مدل وبستر و توسعه فرمول‌های جدید برای محاسبه طول چرخه بهینه با توجه به تأخیر وسیله نقلیه، مصرف سوخت و آلودگی پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان دادند که روش وبستر، طول چرخه بهینه را بیش از حد می‌کند و به طور کلی زمانی که نسبت حجم به ظرفیت ترافیک از ۵۰ درصد تجاوزکند، زمان چرخه طولانی و غیرواقعی را تخمین‌می‌زند اما در مدل تأخیر لگاریتمی پیشنهادی، طول چرخه بهینه محاسباتی، به طور قابل‌توجه باعث صرفه‌جویی در تأخیر وارد به خودرو و میزان مصرف سوخت می‌گردد [۲].

شیوه دیگر کنترل چراغ راهنمایی تقاطع‌ها روش تطبیقی است. در این شیوه از روی وضع موجود ترافیک، حجم ترافیک در سیکل‌های بعدی چراغ پیش‌بینی می‌شود و زمان‌بندی تقاطع از قبل مشخص‌می‌گردد تا در شرایط ترافیکی با تقاضای بالا نیز کارایی مناسب را داشته‌باشد. زمان سبز در این روش در آغاز هر سیکل مشخص خواهدشد. این سیستم‌ها می‌توانند زمان‌بندی چراغ راهنمایی را به منظور مطابقت با تغییر در حجم ترافیک تنظیم‌کنند و باعث کاهش تعداد توقف‌ها و میزان تأخیرها شوند. ساختار کلی کنترل تطبیقی شامل مراحل شناسایی، پیش‌بینی و بهینه‌سازی (تصمیم‌گیری) است که مرحله اول آن، شناسایی خودروهایی است که وارد یک رویکرد تقاطع می‌شوند. در مرحله بهینه‌سازی می‌توان از الگوریتم‌های الهام گرفته‌شده از فرآیندهای زیستی[۴] یا تکاملی استفاده‌کرد. این روش‌ها در مدت زمان بسیار معقولی به جواب بهینه سراسری همگرا می‌شوند. موفق‌ترین روش‌های هوش جمعی در دسته الگوریتم‌های الهام گرفته‌شده از طبیعت که تاکنون به‌وجودآمده‌اند، روش بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها[۵]، روش بهینه‌سازی اجتماع ذرات[۶]، روش بهینه‌سازی ژنتیکی[۷]، روش بهینه‌سازی زنبور عسل[۸] و روش بهینه‌سازی کرم شب‌تاب[۹] است.

سال ۲۰۱۳ میلادی، لی و همکاران در مطالعه ای با عنوان "بهینه سازی چندهدفی زمانبندی چراغ راهنمایی برای تقاطع فوق اشباع" به پیشنهاد یک الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفی برای کنترل چراغ راهنمایی پرداختند. نتایج شبیه سازی نشان‌دادند که برنامه زمانبندی چراغ به‌دست‌آمده از الگوریتم پیشنهادی، کارایی خوبی در مدیریت جریان ترافیک در تقاطع فوق اشباع دارد که به طور رایج از نرم‌افزار بهینه‌سازی زمانبندی چراغ Synchro استفاده‌می‌شود. الگوریتم پیشنهادی آن‌ها قادر به جستجوی جبهه پاراتو مسئله چندهدفی غلبه تحت هر دو شرایط عادی و فوق‌اشباع است [۳].

در سال ۲۰۱۵ میلادی، استوانویک و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان "بهینه‌سازی چندمعیاری چراغ‌های راهنمایی: جابه‌جایی، ایمنی، محیط‌زیست" به ارائه یک روش بهینه‌سازی با استفاده از یک الگوریتم تکاملی به همراه جبهه پاراتوهای سه‌بعدی از زمان‌بندی چراغ از طریق فاکتورهای جابجایی، ایمنی و محیط‌زیست پرداختند که نتایج، موفقیت جبهه پاراتوسه‌بعدی را در حرکت به سمت بهینگی نشان‌داد [۴].

در سال ۲۰۱۸ میلادی هائو و همکاران در مطالعه "بهینه‌سازی قوی پارامترهای کنترل چراغ برای تقاطع غیراشباع بر اساس جستجوی ممنوعه - الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی"، با استفاده از روش هوش مصنوعی به غلبه بر اشکال در بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ مرسوم پرداختند که نشان‌دادند مدل و الگوریتم امکان‌پذیر و عملی هستند.

همچنین می‌توانند به طور مؤثر با نوسانات تردد ترافیک مقابله‌کنند و تأخیرات ترافیک را کاهش‌دهند [۵].

سال ۲۰۱۹ میلادی ژائو و همکاران در پژوهش "بهینه‌سازی کنترل چراغ تقاطع‌های جاده‌ای با ترافیک آرام مبتنی بر بهینه‌سازی اجتماع ذرات بهبودیافته"، با استفاده از روش هوش مصنوعی به حل مدل بهینه‌سازی چندمنظوره زمان‌بندی چراغ ایجادشده مرتبط با تأخیر متوسط وسیله نقلیه، تأخیر ترافیک آرام، زمان‌های ایست وسیله نقلیه و ظرفیت ترافیک پرداختند. نتیجه حاصل از این مقاله، کاهش تأخیر وسیله نقلیه و تأخیر ترافیک آرام و زمان‌های ایست یک تقاطع و افزایش ظرفیت ترافیک و بهبود چندین شاخص یک تقاطع را نشان‌داد که باعث تأثیر قابل‌توجه روی افزایش راندمان عملیاتی یک تقاطع بوده‌است [۶].

در سال ۲۰۲۰ میلادی الکو و جهال در مطالعه "یک سیستم کنترل چراغ راهنمایی تطبیقی کارا برای کاهش ازدحام ترافیک راه شهری در شهرهای هوشمند"، با استفاده از روش هوش مصنوعی اجتماع ذرات به بهبود قدرت مدیریت ترافیک در مواجهه با مسئله ازدحام ترافیک راه و اثر آن بر زمان سفر، ایمنی راه، کیفیت هوا و اقتصاد پرداختند. نتیجه حاصل ، کاهش قابل‌توجه میانگین زمان سفر وسایل نقلیه در حال سفر در وضعیت هماهنگ و بهبود کلی در سراسر شبکه بوده‌است [۷].

در سال ۲۰۲۰ میلادی ریدا و همکاران در پژوهش "بهینه‌سازی کلونی مورچه برای کنترل چراغ‌های راهنمایی بلادرنگ[۱۰] در یک تقاطع منفرد"، با استفاده از روش هوش مصنوعی کلونی مورچه به یافتن راه‌حل بهینه که بهترین نتایج ممکن از نظر کاهش زمان انتظار وسایل نقلیه و حداکثر کردن تردد عبوری تقاطع در طی چراغ سبز را ارائه‌می‌کند، پرداختند. نتیجه حاصل از این مقاله، صرفه‌جویی در زمان به میزان ٪۵۷ در مقایسه با برنامه استاتیک و در شرایط ترافیکی متراکم با شدت ترافیک بالا بوده‌است[۸].

الگوریتم کرم شب‌تاب، الگوریتمی مبتنی بر گروه (جمع) است که توسط سین شی یانگ (۲۰۰۸) توسعه‌یافته‌است و به طور کارآمد توانایی شناسایی راه‌حل بهینه را دارد. این الگوریتم عملکرد بسیار خوبی در جستجوی جواب‌های بهینه مرتبط با مسائل و توابع چند مدی[۱۱] دارد که این وجه تمایز آن نسبت به دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی است. در سال ۲۰۱۵ میلادی هوبرمن و فایتا در تحقیق " کرم شب‌تاب: یک استراتژی هماهنگ‌سازی برای کنترل ترافیک شهری"، با استفاده از روش هوش مصنوعی به استفاده از رفتار هماهنگ تابش نور کرم‌های شب‌تاب به هماهنگ‌سازی بهینه شبکه‌ای از چراغ‌های راهنمایی پرداختند. نتیجه حاصل از این مقاله نشان داد که در سیستم‌های جدید پیشنهادی وسایل نقلیه‌ای که داده‌های متنوعی را به سیستم منتقل می‌کنند و به نوبه خود برخی داده‌ها را به عقب برمی‌گردانند، شانس بهتری در بهبود عملکرد سیستم دارند [۹].

در طول سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۱۷ میلادی دای بلاسی در مطالعه "بهینه‌سازی چراغ شریانی از طریق شبیه‌سازی میکروسکوپیک ترافیک"، با استفاده از روش هوش مصنوعی کرم شب‌تاب و ژنتیک به جستجوی هدایت تصادفی پرداخت که باعث کاهش زمان و هزینه محاسبه لازم جهت بهینه‌سازی می‌گردد. نتایج نشان داد که روش الگوریتم ژنتیک روش قدرتمندی است که قادر به مطابقت با ویژگی‌های مسئله تحلیل شده است و مزیت آن در مقایسه با الگوریتم کرم شب‌تاب، رسیدن به کمینه فرامحلی مسئله است؛ در عوض محدودیت آن زمان محاسبه است. روش الگوریتم کرم شب‌تاب، روشی است که می‌تواند به طور طبیعی و خاص، مسئله چند متغیره و محدود را بهینه‌سازی نماید [۱۰].

طبق تحقیقات گذشته، روش‌های کنترل هوشمند در مقایسه با روش‌های کنترل قدیمی عملکرد بالاتری را نشان می‌دهند. در ارتباط با این روش‌ها، روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی به خاطر کنترل بهینه چراغ راهنمایی محبوبیت کسب کرده‌اند. در سال ۲۰۱۵ میلادی، عراقی و همکاران در تحقیقی با عنوان "مروری بر روش‌های هوش محاسباتی برای کنترل زمان‌بندی چراغ راهنمایی " از روش‌های هوش مصنوعی یادگیری Q و شبکه عصبی و منطق فازی استفاده کردند زیرا روش‌های هوشمند نشان‌دهنده عملکردی بالاتر در مقایسه با روش‌های کنترل قدیمی هستند. همچنین روش زمان‌ثابت جهت مقایسه با آن‌ها به کار گرفته شد. نتیجه حاصل از این مقاله، نشان داد که به طور متوسط روش یادگیری تقویتی ٪۶۶ و شبکه عصبی ٪۷۱ و منطق فازی ٪۷۴ عملکرد بالاتری در مقایسه با کنترل‌کننده زمان‌ثابت دارند [۱۱].

طبق پیشینه تحقیق فوق، تاکنون در سیستم‌های کنترل چراغ تطبیقی از تکنیک‌های هوش مصنوعی مانند کلونی مورچه، کلونی زنبور عسل، ژنتیک و اجتماع ذرات در به طور مطلوبی استفاده‌شده‌است. لکن هرچند روش کرم شب‌تاب دارای عملکرد مناسب در زمینه سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و غیره بوده‌است. تاکنون از این روش برای بهینه‌سازی چند هدفی تقاطع‌های منفرد استفاده‌نشده که در این مطالعه به آن پرداخته‌شده‌است. در سطح تقاطع‌های منفرد تا به حال تنها از یک شاخص عملکردی جهت بهینه‌سازی سیستم استفاده‌شده‌است. همچنین بهینه‌سازی چندهدفی، تنها برای شبکه چراغ‌های راهنمایی هماهنگ-شده به‌کاررفته‌است که در هر دو مورد فقط یک تحقیق در سال‌های اخیر انجام‌گرفته‌است. بنابراین اهمیت و نوآوری تحقیق حاضر در استفاده از روش کرم شب‌تاب برای بهینه سازی عملکرد چندهدفی یک تقاطع چراغدار منفرد می‌باشد.

۲. روش تحقیق

۱،۲.جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات

جهت مطالعه روی موضوع بحث، دو چهارراه پژوهش و سیدحسن نصرالله پس از بررسی تقاطع‌ها چراغ‌دار شهر یزد انتخاب و پس از آن اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری‌گردیدند. اطلاعات هندسی از طریق برداشت‌های میدانی و دسترسی به نقشه تقاطع به‌دست‌آمدند. آمار مربوط به زمان‌بندی شامل زمان سیکل و زمان سبز مؤثر موجود برای تمام رویکردها از مرکز کنترل ترافیک شهرداری دریافت‌گردید. مشخصات

ترافیک تقاطع‌ها شامل حجم تردد، طول صف و نرخ جریان اشباع از طریق برداشت‌های میدانی حاصل‌شدند.

۲,۲. شبیه‌سازی تقاطع‌ها

از نرم‌افزار شبیه‌سازی خردنگر ایمسان جهت مدل‌کردن تقاطعات استفاده گردید. برای انجام این کار ابتدا یک ساعت داده برداشتی (تقاضا و زمان‌بندی) از هر تقاطع به ۳۰ دقیقه داده جهت کالیبراسیون و ۳۰ دقیقه بعد جهت اعتبارسنجی مدل اعمال شد. از تکرار داده های ۱۵ دقیقه اول و آخر هر ۳۰ دقیقه جهت گرم‌کردن و سردکردن مدل‌ها استفاده‌شد. سپس شبیه‌سازی در ۱۰ مرحله اجراشد. در مرحله بعد نتایج شبیه‌سازی به صورت حجم عبوری از هر دتکتور پشت خط ایست برای هر رویکرد و طول صف دو رویکرد متعامد برداشتی میدانی برداشت شدند. پس از آن برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی از نتایج برداشتی از ها خطاهای AMSE[۱۲]، RMSE[۱۳] و GEH[۱۴] و مقدار حداکثر خطای قابل قبول ۱۵ درصد مورد نظر قرارگرفت.

تعداد کافی اجراهای نرم‌افزار مطابق با دستورالعمل نحوه شبیه‌سازی، کالیبراسیون و اعتبارسنجی نرم‌افزار ایمسان [۱] از قضیه حد مرکزی مطابق رابطه زیر به‌دست‌می‌آید. بدین منظور از پارامترهای مورد استفاده در سطح شبکه مدل‌شده شامل پارامتر زمان سفر کل[15] شبکه و تردد[16] کل شبکه در یکی از موارد مورد بررسی استفاده‌می‌شود که نتیجه آن برای وضعیت دیگر نیز قابل‌تعمیم می‌باشد. در این تحقیق با در نظر گرفتن توصیه‌ها، جهت اطمینان بیشتر تعداد تکرار اجرای مدل برابر با ۱۰ انتخاب‌گردید.

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2} \times \sigma)^2}{ME^2} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، n ، ME ، σ ، $1-\alpha$ و $Z_{\alpha/2}$ به ترتیب تعداد نمونه، بازه اطمینان حول میانگین (میزان خطا)، انحراف معیار، سطح اطمینان و چندک مرتبه $1-\alpha/2$ از توزیع نرمال استاندارد هستند.

۳,۲. ساخت الگوریتم زمان‌بندی

الگوریتم کرم شب‌تاب الگوریتمی نسبتاً جدید است که در دسته الگوریتم‌های فرااکتشافی[17] قراردارد. در این الگوریتم یک سری کرم شب‌تاب به صورت مصنوعی همراه با ویژگی‌هایی چون تناسب[18] یا هزینه[19] یا غیره درنظرگرفته‌می‌شود که می‌توان بر این اساس آن‌ها را رتبه‌بندی و مقایسه نمود. کرم شب‌تاب بهتر، جذاب‌تر است و افراد بیشتری را جذب‌می‌کند. البته این میزان جذب در بعد مسافت کمتر می‌شود.

مرحله اول الگوریتم کرم شب‌تاب تولید پاسخ‌های اولیه و ارزیابی آن‌هاست. در مرحله دوم به ازای هر کرم شب‌تاب مانند i و به ازای هر کرم شب‌تاب مانند j؛ اگر I_i کمتر از I_j باشد (j بهتر از i باشد)، x_i'، طبق فرمول جذب مطابق رابطه ۲ تولیدمی‌گردد. سپس به ارزیابی کرم‌های شب‌تاب جدید و بعد از آن تعیین بهترین پاسخ یافته‌شده پرداخته‌می‌شود. حال درصورت برآورده‌نشدن شرایط خاتمه، از مرحله ۲ تا آخر تکرارمی‌گردد.

ود

$$x_i' = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r^m}(x_j - x_i) + \alpha \in_i \qquad (۲)$$

در رابطه فوق، x_i'، x_i، β_0، γ، r، m، x_j، α و $\in_i$ به ترتیب مکان جدید کرم شب‌تاب i، جذابیت، میزان کشش بین دو کرم شب‌تاب، فاصله دو کرم شب‌تاب، میزان افت شدت روشنایی، مکان کرم شب‌تاب j، ضریب جهش و بردار تصادفی هستند.

بهینه‌سازی چندهدفی زمانی تعریف‌می‌شود که بهینه کردن همزمان دو یا چند تابع هدف مقصود باشد، حال ممکن است هرکدام از این توابع با هم کمینه، بیشینه یا مخالف یک‌دیگر بهینه گردند. در این تحقیق با توجه به توضیحات فوق، به کدنویسی جهت بهینه‌سازی دو هدفی زمان‌بندی چراغ راهنمایی در تقاطع با در نظرگیری الگوریتم کرم شب‌تاب در محیط نرم‌افزار برنامه‌نویسی پایتون پرداخته‌شد. برای این منظور از الگوریتم کرم شب‌تاب جهت توزیع زمان سبز میان رویکردها استفاده‌شد که به بهینه‌سازی میزان حداکثری گذردهی خودروها از تقاطع و حداقل‌سازی طول صف رویکردهای تقاطع می‌پردازد و در نهایت باعث بهبود عملکرد ترافیک در تقاطع‌ها می‌گردد.

۴,۲. ساخت مدل‌ها

پس از کالیبراسیون و اعتبارسنجی، مدل آماده شده نشان‌دهنده وضعیت واقعی تقاطع است. برای ایجاد مدل زمان‌ثابت از شرایط تقاضای ترافیک مختلف استفاده‌شد. به طوری که ابتدا نقطه ظرفیت تقاطع مشخص‌شد. برای این کار از ایجاد چند مدل شبیه‌سازی با تقاضایی از نسبت حجم‌های برداشتی در ۳۰ دقیقه دوم آماربرداری و زمان‌بندی ثابت محاسبه‌شده به روش وبستر برای این تقاضاها استفاده‌شد. به این صورت که حجم‌های برداشتی به صورت سیکل به سیکل به تردد ساعتی معادل تبدیل‌شده و با افزایش و کاهش ۱۰ درصدی از این حجم‌ها، برای تقاطع پژوهش ۹ مدل از ۰/۷ تا ۱/۵ برابر و برای تقاطع سیدحسن نصرالله ۱۴ مدل از ۰/۷ تا ۲ برابر تردد ساعتی برداشتی ۳۰ دقیقه دوم به صورت سیکل به سیکل ساخته‌شد. مطابق با نتایج تقاطع پژوهش در نقطه‌ای با تقاضای ۱/۴ برابر تردد ساعتی برداشتی ۳۰ دقیقه دوم و تقاطع سیدحسن نصرالله در نقطه‌ای با تقاضای ۱/۸ برابر تردد ساعتی برداشتی ۳۰ دقیقه دوم به ظرفیت خود می‌رسند. بعد از تعیین نقطه ظرفیت تقاطع، نوبت به ساخت مدل اصلی است که شامل ترافیک با ازدحام کم تا نقطه ظرفیت و کمی بعد از آن باشد. بدین منظور با یافتن نقطه اوج در مدت آماربرداری و برداشت زمان سیکل و تقاضای متناسب با آن، انواع تغییر ازدحام از ۰/۷ برابر حجم میدانی سیکل اوج تا نقطه ظرفیت هر تقاطع ایجادگردید. البته در هر دو تقاطع ۱۵ دقیقه برای گرم و سرد کردن در شبیه‌سازی درنظرگرفته‌شد که نتایج آن (۱۵ دقیقه اول و آخر) بعدا کنار گذاشته‌شدند. تا اینجا مدل تطبیقی معادل با مدل زمان‌ثابت نیز به همین صورت ساخته می‌شود.

پس از ساخت تقاضای مدل نوبت به اعمال زمان‌بندی به مدل می‌گردد. در ابتدا با اعمال زمان‌بندی محاسبه‌شده برای حالت پیش زمان‌بندی‌شده از فرمول وبستر و انجام شبیه‌سازی به استخراج نتایج این مدل پرداخته‌شد. سپس زمان‌بندی مربوط به حالت تطبیقی که از طریق کد بهینه‌سازی کرم شب‌تاب مهیا می‌گردد بر مدل اعمال‌شده و بعد از انجام شبیه‌سازی در ۱۰ مرحله نتایج مربوط به طول صف تمام رویکردها و حجم عبوری از دتکتور پشت خط ایست در هر رویکرد و حجم ورودی از دتکتور ابتدای هر رویکرد (جایی که بعد از آن طول صف تشکیل‌نگردد) به صورت سیکل به سیکل برداشت‌شدند. سپس با بهره‌گیری از این نتایج میانگین‌گیری وزنی طول صف با استفاده از حجم‌های ورودی انجام و نتایج دو مدل با هم مقایسه‌شد.

برای بررسی، دو شاخص میانگین وزنی طول صف خودروها در کل رویکردهای تقاطع و حجم ترافیک عبوری از تقاطع به صورت سیکل به سیکل مورد استفاده قرارگرفت. جهت مقایسه دو مدل، از مدل تغییر حجم ترافیک از کم تا نزدیک ظرفیت تقاطع که در بالا به آن پرداخته‌شد استفاده ردید. با تنظیم تقاضای اعمالی، ۹۲ سیکل در حالت زمان‌ثابت و ۵۶ سیکل در حالت تطبیقی معادل آن در تقاطع پژوهش و همچنین ۹۹ سیکل در حالت زمان‌ثابت و ۶۲ سیکل در حالت تطبیقی معادل با آن در تقاطع سیدحسن نصرالله جهت مقایسه بعدی به‌وجودآمد. جهت محاسبه شاخص‌های مورد نظر، میانگین طول صف ده بار اجرای نرم‌افزار از هر رویکرد در تمام سیکل‌های برداشتی از شبیه‌ساز در مقادیر حجم عبوری معادل آن ضرب‌شده و برای تمام رویکردها با هم جمع‌شده، سپس بر مجموع حجم عبوری رویکردهای تقاطع تقسیم‌شده تا میانگی‌ن وزنی طول صف برای کل تقاطع در حجم‌های عبوری به‌دست‌آید. نحوه محاسبه طول صف کلی تقاطع در زیر شرح داده شده‌است:

$$Q_I = \frac{\sum_{i=1}^{4} Q_i \times V_i}{\sum_{i=1}^{4} V_i} \qquad (۳)$$

در رابطه فوق، Q_I، Q_i و V_i به ترتیب طول صف کلی تقاطع، طول صف هر رویکرد و حجم عبوری از هر رویکرد هستند. در نهایت خلاصه نتایج حاصله برای میانگین و انحراف معیار شاخص‌ها در جدول ۱ ارائه‌شده‌است.

جدول ۱: خلاصه میانگین و انحراف معیار شاخص‌های مورد نظر جهت مقایسه دو روش

		انحراف معیار ± میانگین	
تقاطع	روش کنترل	طول صف (veh)	حجم عبوری (veh)
پژوهش	زمان‌ثابت	۶۱/۲۰±۲۸	۲۱/۱۹±۱۵۱
	تطبیقی	۶۸/۱۳±۲۵	۶۹/۳۶±۲۲۴
سید حسن نصرالله	زمان‌ثابت	۷۶/۱۷±۳۵	۸۳/۱۷±۱۶۵
	تطبیقی	۲۴/۷±۲۹	۶۱/۱۷±۲۱۱

۳. نتیجه

بنابر توضیحات ارائه‌شده عملکرد مدل تطبیقی پیشنهادی در هر دو تقاطع نسبت به مدل زمان‌ثابت بهتر است. از آزمون t جهت بررسی علمی‌تر استفاده‌گردید. از نرم‌افزار SPSS به عنوان یکی از نرم‌افزارهای آماری پرکاربرد برای انجام این آزمون استفاده‌شد. در این آزمون برای بررسی میانگین دو جامعه مستقل از آزمون t گروه‌های مستقل استفاده‌می‌گردد. استفاده از این آزمون زمانی مناسب است که بخواهیم میانگین‌های دو مجموعه داده مستقل را با هم مقایسه‌کنیم. در این آزمون هدف دانستن اینست که آیا میانگین‌های دو گروه مستقل، تفاوت معناداری دارند یا خیر. در اینجا جهت تصمیم‌گیری در مورد معناداری یا عدم معناداری فرض صفر، فاصله اطمینان ۹۵ درصد و سطح خطای آزمون ۵ درصد در نظرگرفته‌شده‌است. همچنین سطح معناداری با مقدار P تشخیص‌داده و با ۰/۰۵ مقایسه‌شد.

جدول ۲: خلاصه نتایج حاصل از آزمون جهت مقایسه دو روش کنترل زمان‌ثابت و تطبیقی

میانگین شاخص‌ها			
تقاطع	روش کنترل	مقدار p در مقایسه طول صف	مقدار p در مقایسه حجم عبوری
پژوهش	زمان‌ثابت	۰/۲۸۳	۰/۰۰۰
	تطبیقی		
سید حسن نصرالله	زمان‌ثابت	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
	تطبیقی		

نتایج فوق نشان‌دهنده این است که روش کنترل چراغ تطبیقی نسبت به کنترل زمان‌ثابت در هر دو تقاطع دارای میانگین طول صف کمتری است. تنها در تقاطع پژوهش هنگام مقایسه طول صف، فرض برابری میانگین‌ها ثابت‌شده‌است که این یعنی این دو روش در این مورد نزدیک به هم عمل‌کرده‌اند. همچنین نتایج اولیه، افزایش گذردهی تقاطع را در روش تطبیقی نسبت به روش زمان ثابت نشان‌دادند. این شاخص نیز در هر دو تقاطع اختلاف معنادار میانگین حجم عبوری در روش تطبیقی را نسبت به روش زمان‌ثابت نشان‌داد. در نهایت مدل تطبیقی پیشنهادی در محدوده مورد تحقیق در مقایسه با روش کنترل زمان‌ثابت در هر دو تقاطع مورد مطالعه عملکرد بهتری را از خود نشان‌داد.

مراجع

[1] Ebadi Shieuyari, Arman, Yazdanpanah, Shariat Mohaymeni, Abedini, Khashaeipur and Kalantari, *" Calibrating traffic software based on the traffic conditions of Tehran city"*, Avaye Fahim, Third Volume: Providing instructions on how to simulate, calibrate and validate Imsan software, 1392.

[2] Alvaro J. Calle-Laguna, Jianhe Du, Hesham A. Rakha, *"Computing optimum traffic signal cycle length considering vehicle delay and fuel consumption*", pp. 1-9, 2019.

[3] Yan Li, Lijie Yu, Siran Tao, Kuanmin Chen, *"Multi-Objective Optimization of Traffic Signal Timing for Oversaturated Intersection"*, pp. 1-9, 2013.

[4] Aleksandar Stevanovic, Jelka Stevanovic, Jaehyun So, Marija Ostojic, *"Multi-criteria optimization of traffic signals: Mobility, safety, and environment"*, pp. 1-23, 2015.

[5] Wei Hao, Changxi Ma, Bahman Moghimi, Yuanyuan Fan, Zhibo Gao, *"Robust Optimization of Signal Control Parameters for Unsaturated Intersection Based on Tabu Search-Artificial Bee Colony Algorithm"*, IEEE Advancing Technology for Humanity, pp. 32015-32022, 2018.

[6] Hongluan Zhao, Guoyong Han, Xiaofei Niu, *"The Signal Control Optimization of Road Intersections with Slow Traffic Based on Improved PSO"*, Mobile Networks and Applications, vol. 9, 2019.

[7] Dex R.Aleko, Soufiene Djahel, *"An Efficient Adaptive Traffic Light Control System for Urban Road Traffic Congestion Reduction in Smart Cities"*, pp. 1-20, 2020.

[8] Nouha Rida, Mohammed Ouadoud, Abderrahim Hasbi. *"Ant Colony Optimization for Real Time Traffic Lights Control on a Single Intersection"*, International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM). pp. 196-214, 2020.

[9] Bernardo Hubermen, Baldo Faieta, *"Firefly: A Synchronization Strategy for Urban Traffic Control"*, pp. 1-21, 2015.

[10] Roberta Di Blasi, *Arterial Signal Optimization through Traffic Microscopic Simulation*, Sapienza University, Roma La Sapienza, Master degree in Transport systems engineering. pp. 1-90, 2016-2017.

[11] Sahar Araghi, Abbas Khosravi, Douglas Creighton, *"A Review on Computational Intelligence Methods for Controlling Traffic Signal Timing"*, Expert Systems with Applications, pp. 1538–1550, 2015.

پی‌نوشت

1. Fixed-timing or Pre-timed
2. Traffic Actuated
3. Adaptive
4. Biologically-inspired Algorithm
5. ACO: Ant Colony Optimization
6. PSO: Particle Swarm Optimization
7. GA: Genetic Algorithm
8. BCO: Bee Colony Optimization
9. FO: Firefly Optimization
10. Real Time
11. Multimodality
12. Average Mean Squared Error
13. Root Mean Squared Error
14. Geoffrey E Havers Statistic
15 Total Travel Time
16 Flow
17. Metaheuristic
18. Fitness
19. Cost