

طراحی و پیاده‌سازی یک روش تلفیقی هوشمند برای کنترل ترافیک شهری در تقاطع‌ها

فرناز درخشان^۱، استادیار؛ فاطمه خزرلو^۲، دانشجوی کارشناسی ارشد

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران - derakhshan@tabrizu.ac.ir

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران - f.khezerlou93@ms.tabrizu.ac.ir

چکیده: یکی از روش‌های کنترل ترافیک، استفاده از روش‌های هوشمند برای زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی در تقاطع‌ها می‌باشد. در این مقاله از تلفیقی از روش‌های خوشه‌بندی و الگوریتم ژنتیک برای طراحی و پیاده‌سازی مدلی مبتنی بر سیستم‌های چندعاملی برای زمان‌بندی تقاطع استفاده شده است. در سیستم پیشنهادی پس از دریافت بار ترافیکی تقاطع‌ها، تقاطع‌های تأثیرگذار در بار ترافیکی یکدیگر خوشه‌بندی می‌شوند. سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک و اطلاعات خوشه‌ها، بهترین زمان‌بندی برای چراغ‌های راهنمایی تقاطع‌ها محاسبه می‌گردد. همچنین برای رفع مشکلات احتمالی در رابطه با تغییر ناگهانی میزان ترافیک تقاطع‌ها و جلوگیری از محاسبات زیاد در هر سیکل از چراغ راهنمایی، از تبادل پیام بین عامل‌های مختلف استفاده شده است. از مزایای روش پیشنهادی این است که هیچ محدودیتی در تعداد تقاطع‌ها و فاصله آن‌ها وجود ندارد. این روش قابل اجرا برای چندراهی‌ها نیز می‌باشد. همچنین پردازش به‌صورت توزیع‌شده در سطح منطقه انجام می‌گیرد. روش پیشنهادی با ۱۲۰۰ داده آزمایشگاهی در مناطق پرتردد و ۳۵۷ داده آزمایشگاهی در مناطق کم‌تردد با ۸ تقاطع توسط روش‌شناسی Tropos و ابزار JADE پیاده‌سازی و آزمایش شده است. نتایج ارزیابی روش پیشنهادی در مقایسه با سایر سیستم‌هایی که فقط از یک روش هوشمند برای زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی استفاده کرده‌اند، نشان داد که به طور میانگین مدت‌زمان اجرای چند سیکل متوالی در روش پیشنهادی کم‌تر از سایر روش‌های منفرد است. همچنین به‌کارگیری روش پیشنهادی در مقایسه با سیستم زمان ثابت، در مناطق پرتردد و کم‌تردد به ترتیب ۱۸/۵٪ و ۳۰/۸٪ زمان تأخیر و سایل نقلیه را کاهش داده است.

واژه‌های کلیدی: کنترل هوشمند ترافیک، سیستم‌های چندعاملی، عامل ترافیک شهری.

Design and Implementation of an Intelligent Combined Method for Urban Traffic Control at Intersections

F. Derakhshan¹, Assistant Professor; F. Khezerlou², MSc Student

1- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: derakhshan@tabrizu.ac.ir

2- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: f.khezerlou93@ms.tabrizu.ac.ir

Abstract: Using intelligent methods is one of the efficient methods of scheduling the traffic lights at intersections to control traffic urban. In this paper used an clustering and genetic algorithms to control urban traffic at intersections based on multi-agent system. Proposed system get traffic load of each intersection. Next, uses clustering algorithm to find adjacent intersections. Then, it uses evolutionary computing algorithms to scheduling the traffic lights and also it has used exchange of messages between different agents to control possible fluctuations. The main capabilities and advantages of proposed method for simulating a multi-agent system for intelligent urban traffic control at the intersection are as follows: The number of intersection is considered infinite. Also, the distance between intersections is not limited and adjustable. Furthermore, this method is applicable to multi-ways. Due to use Multiagent technique and clustering algorithm for intersections, proposed method has been performed distributed processing which avoid excessive computational load processing in each cycle of traffic lights. For the design and implementation proposed method used Tropos methodology and JADE library. For evaluation, this proposed system tested with 1200 laboratory data in both low and heavy traffic areas. In comparison with fixed-time systems, the average run-time in sequential cycles of intersections in our combinational method is less than using the other single methods. In addition, for heavy traffic area and low traffic area, our system respectively has 18.8% and 30.8% (in average) improvement in delay time of vehicles, compared to the fixed-time methods.

Keywords: Intelligent traffic control, Multi-agent systems, Urban traffic control.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۲۹

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۰۴

نام نویسنده مسئول: فرناز درخشان

نشانی نویسنده مسئول: تبریز - بلوار ۲۹ بهمن - دانشگاه تبریز - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

۱- مقدمه

عدم توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل شهری متناسب با افزایش جمعیت شهرها، سبب بروز ازدحام شدید در خیابان‌ها گردیده است بنابراین کنترل هوشمند ترافیک می‌تواند به‌عنوان کاربردی‌ترین رویکرد ممکن برای استفاده کارا از این زیرساخت‌ها و درنهایت راه‌حل مشکل ترافیک باشد. سیستم‌های متنوعی جهت کنترل ترافیک شهری ارائه شده‌اند که از بین آن‌ها، سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند جایگزین سیستم‌های سنتی و دستی گذشته شده است. روش‌های مختلفی برای طراحی و اعمال مدیریت ترافیک در شهرها وجود دارد. با توجه به اینکه در این تحقیق بر روش‌های هوشمند تکیه شده است در ذیل به برخی از روش‌هایی که می‌توانند به‌صورت هوشمند کنترل شوند اشاره می‌کنیم [۱ و ۲]:

۱. اقدامات مربوط به حق تقدم عبور اتوبوس‌ها ۲. کنترل بهبود وضعیت تقاطع‌ها (کنترل حق تقدم - ایجاد راه‌های گردش به راست - ایجاد میدان‌ها - نصب تابلوهای علائم) ۳. هماهنگی بین چراغ‌های راهنمایی ۴. ایجاد محدودیت عبور

روش‌های کنترل ترافیک عمدتاً به دو روش [۳] زمان ثابت^۱ و استفاده از روش‌های هوشمند انجام می‌گیرند. روش زمان ثابت [۴] به‌صورت خارج خط عمل می‌کند. به این صورت که اطلاعات تقاطع‌ها در چند دوره ثبت می‌شود، سپس با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده برای کنترل ترافیک برنامه‌ریزی صورت می‌گیرد. ولی در کنترل ترافیک با استفاده از روش‌های هوشمند که در سال ۱۹۹۰ شروع شد از تکنیک‌های یادگیری برای هوشمندسازی کنترل ترافیک شهری استفاده شد؛ که از نمونه‌های اولیه آن می‌توان، سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل پیاده‌سازی شده Scoot [۵ و ۶] و Scats [۷ و ۸] را نام برد. تکنیک‌های یادگیری برای استفاده از روش‌های هوشمند به چند دسته تقسیم می‌شوند [۹]:

• یادگیری تقویتی و یادگیری Q: اکثر سیستم‌های کنترل ترافیک موجود نیاز به مدلی از پیش تعریف شده از جریان ترافیک برای داشتن یک پیش‌بینی کوتاه‌مدت از وضعیت ترافیک آینده دارند. در یادگیری Q [۹ و ۱۰]، هیچ مدل مشخص از محیط‌زیست موردنیاز نیست و رابطه بین عامل‌ها، حالت‌ها و محیط توسط تعامل با محیط یاد گرفته می‌شوند. در تحقیق [۱۱] عامل به‌صورت پویا با تعامل کردن با محیط خود برای رسیدن به هدف تلاش می‌کند.

• شبکه عصبی: در روش [۹ و ۱۲]، پردازش داده‌ها مشابه به آنچه مغز عمل می‌کند، انجام می‌شود. درواقع با استفاده از یک مجموعه آموزشی به سیستم آموزش داده می‌شود. از این‌رو، این روش به‌عنوان یک روش خودیادگیری قادر به حفظ و تشخیص، ویژگی‌ها و الگوها است. انواع مختلفی از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای کنترل ترافیک شهری استفاده شده است. از جمله، شبکه عصبی مصنوعی پیش‌خور^۲ [۱۳]، در پژوهش [۱۴] شبکه

پس‌انتشار بر روی مجموعه داده‌های مختلف از حجم ترافیک بزرگراه‌های ایالتی، بزرگراه بین‌شهری و تقاطع‌های شهری اعمال شده است.

سیستم‌های منطق فازی: سیستم‌های فازی [۹ و ۱۵ و ۱۶]، وضعیت ترافیک را بر اساس مجموعه‌ای از قوانین و تقریبی از روش‌های کنترل بهینه، سیگنال را ارزیابی می‌کنند. از کنترل‌های فازی می‌توان برای کنترل مدت‌زمان هر مرحله چراغ راهنمایی استفاده نمود که در شهرهای کنون^۳ و نیتی‌ماکی^۴ به‌صورت عملی پیاده‌سازی شده‌اند. در پژوهش [۱۷] یک الگوریتم خوشه‌بندی فازی دومرحله‌ای پیشنهاد شده است که ایده آن به این صورت است که ابتدا بیش‌ترین تقاطع‌هایی که بر روی یک تقاطع خاص تأثیر می‌گذارند، با استفاده از درجه عضویت که توسط الگوریتم C-means مشخص می‌شود، خوشه‌بندی می‌شوند. سپس با استفاده از منطق فازی بهترین زمان‌بندی برای چراغ‌های راهنمایی تعیین می‌گردد.

• الگوریتم ژنتیک: این الگوریتم [۹ و ۱۸] تکنیک جستجویی برای یافتن راه‌حل تقریبی برای مسائل بهینه‌سازی و جستجو است. الگوریتم ژنتیک نوع خاصی از الگوریتم‌های تکاملی است که از تکنیک‌های زیست‌شناسی مانند وراثت و جهش استفاده می‌کند. الگوریتم ژنتیک که به‌عنوان یکی از روش‌های تصادفی بهینه‌یابی شناخته‌شده، توسط جان هالند در سال ۱۹۶۷ ابداع شده است. در پژوهش [۱۹] برای زمان‌بندی هوشمند چراغ راهنمایی الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده است به این صورت که ابتدا با استفاده از دوربین‌های نصب‌شده در تقاطع، تعداد وسایل نقلیه (میزان ترافیک تقاطع‌ها) در هر تقاطع برآورد شده است. سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک و میزان کل بار ترافیک تقاطع، بهترین زمان‌بندی برای چراغ‌های راهنمایی تخمین زده شده است. در این پژوهش میزان بار ترافیک در چندین توالی اجرای الگوریتم ژنتیک سنجیده شده است و برای چیدمانی خاص با فاصله معینی از تقاطع‌ها این الگوریتم پیاده‌سازی شده است. در پژوهش [۲۰] با اجرای یک‌بار الگوریتم ژنتیک به‌صورت بلادرنگ بر روی یک تقاطع ایزوله موفق به زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی تقاطع می‌شود. در پژوهش [۲۱] با استفاده از جعبه‌ابزار TSF^۵ مقادیر تابع برازندگی الگوریتم ژنتیک را محاسبه کرده و بر روی زمان‌بندی یک تقاطع ایزوله اعمال می‌کند.

۱-۱- ارزیابی روش‌های هوش مصنوعی با روش زمان ثابت

در پژوهش [۳] سه روش هوشمند با روش زمان ثابت مقایسه شده است و نتیجه مقایسه متوسط زمان تأخیری وسایل نقلیه به مدت ۵ ساعت با ۱۰ بار اجرای ۲ سناریو چنین ذکر شده است:

سناریو ۱: ۵ ساعت شبیه‌سازی با ۵۵۰۰ وسیله نقلیه (اوج بار)

سناریو ۲: ۵ ساعت شبیه‌سازی با ۳۰۰۰ وسیله نقلیه (نبودن اوج بار)

بین عامل وسیله نقلیه و تقاطع عملیات رزرو انجام می‌گیرد یا نه. هر عامل راننده درخواست رزرو زمان- مکان به عامل تقاطع می‌فرستد و مدیر تقاطع مشخص می‌کند که آیا با این درخواست موافقت می‌کند یا خیر، در صورت موافقت عامل تقاطع، پیام تأیید به عامل راننده ارسال و پارامترهایی را جهت تنظیم به عامل راننده می‌فرستد. در صورت برآورد کردن پارامترها توسط عامل راننده، رزرو برای وی در نظر گرفته می‌شود و در غیر این صورت عامل راننده باید در زمان دیگری درخواست رزرو کند.

از آنجایی که ترافیک شهری در طول شبکه حمل‌ونقل شهری توزیع شده و دارای نوسانات زیاد است بنابراین به‌سختی می‌توان دید کامل و صحیحی از ترافیک در کل شبکه داشت. علاوه بر آن ایجاد این دید نیازمند نصب حسگرها در تمام شبکه و ارسال دائم اطلاعات آن‌ها به یک مرکز است که بسیار پرهزینه است. یکی از روش‌های هوشمند قابل‌استفاده برای کنترل ترافیک، روش نوظهور سیستم چندعاملی است که از عامل‌های هوشمند متعدد برای حل مسائل استفاده می‌کند. این عامل‌ها باهم در تعامل هستند و قابلیت انجام اعمال خودمختارانه را دارند. سیستم‌های چندعاملی روشی مناسب برای طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های توزیع‌شده می‌باشند. با توجه به ماهیت توزیع‌شدگی داده‌ها در ترافیک شهری در طول شبکه حمل‌ونقل شهری، سیستم‌های چندعاملی الگویی کارآمد برای کنترل ترافیک شهری است. در یک سیستم کنترل هوشمند شهری مبتنی بر سیستم‌های چندعاملی، عامل‌ها باید بتوانند با توجه به اطلاعات محلی از محدوده مورد مشاهده خود تصمیم‌گیری کنند و این تصمیم‌گیری باید در راستای تأمین هدف کلی که کنترل بهینه ترافیک شبکه است، صورت گیرد. در مقالات مطالعه‌شده در این زمینه بیش‌تر با محدودیت تعداد و فاصله تقاطع‌ها و تکرار محاسبات پردازشی جهت زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی در هر سیکل مواجه هستیم، در روش تلفیقی هوشمند پیشنهادی مبتنی بر سیستم‌های چندعاملی برای زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی مشکلات ذکرشده را برطرف شده است. در بخش دوم روش پیشنهادی به‌طور کامل بیان شده است، در بخش سوم نتایج به‌دست‌آمده بررسی و درنهایت در بخش چهارم منابع مورد استفاده ذکر شده است.

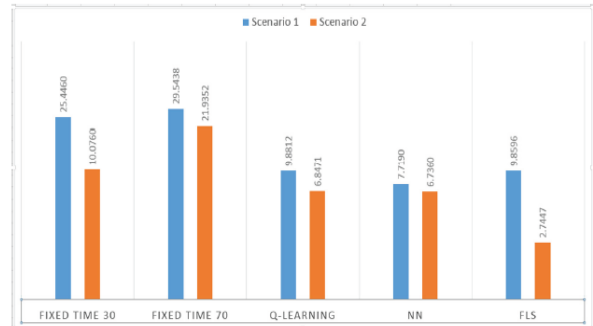
۲- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی دارای ۴ گام اصلی می‌باشد:

گام اول، محاسبه میزان بار ترافیک تقاطع‌ها است. روش‌های متعددی برای محاسبه میزان بار تقاطع‌ها وجود دارد که در ادامه بیان خواهند شد.

گام دوم، نحوه تشخیص تقاطع‌های مرتبط به هم می‌باشد. برای این کار الگوریتم‌های خوشه‌بندی متعددی وجود دارد، از میان آن‌ها از الگوریتم K-means دومرحله‌ای، با در نظر گرفتن ویژگی فاصله و مقدار بار تقاطع‌ها، استفاده شده است.

میانگین تأخیر کل هر خودرو را برای ۵ ساعت شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در آن سیستم منطق فازی، شبکه عصبی، یادگیری Q به ترتیب دارای ۷۴٪، ۷۱٪ و ۶۶٪ بهبود در مقایسه با کنترل‌کننده زمان ثابت می‌باشند؛ که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: ارزیابی روش‌های هوش مصنوعی با روش زمان ثابت [۳]

درواقع به‌کارگیری روش‌های هوشمند بهبود بسیاری در میانگین تأخیر کل خودروها داشته است. به‌کارگیری روش منطق فازی، میانگین تأخیر کل هر خودرو را به‌اندازه ۷۴٪ بهبود بخشیده که این میزان از سایر روش‌های یادگیری بیش‌تر است.

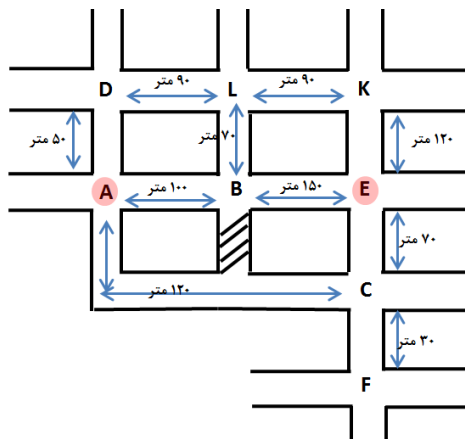
سیستم‌های چندعاملی: یکی دیگر از روش‌های هوشمند در حال ظهور، سیستم‌های چندعاملی [۹] (MAS) است که از عامل‌های هوشمند متعددی استفاده می‌کند. این عامل‌ها در تعامل با یکدیگر می‌باشند و برای حل مشکلاتی که حل آن‌ها برای یک سیستم یکپارچه بیش از حد دشوار است مورد استفاده قرار می‌گیرند. در پژوهش [۲۲] یک سیستم مبتنی بر عامل‌ها برای کنترل ترافیک شهری پیشنهاد شده است. این سیستم نسبت به تغییرات محیط واکنش نشان داده و خود را با توجه به شرایط کنونی تنظیم می‌کند. معماری این سیستم مبتنی بر عامل‌های تقاطع و عامل‌های منطقه‌ای است. عامل‌های منطقه‌ای در شبکه، وظیفه هماهنگی را به‌منظور بهینه‌سازی کلی شبکه بر عهده دارند. در پژوهش [۲۳] یک معماری سلسله‌مراتبی برای سیستم در نظر گرفته شده است که علاوه بر عامل‌های منطقه‌ای، عامل هماهنگ‌کننده منطقه‌ای نیز جهت رفع تداخل‌های کنترلی در نظر گرفته شده است. در پژوهش [۲۴] یک سیستم کنترل ترافیک مبتنی بر سیستم چندعاملی بنام holonic پیشنهاد شده که بر روی شبکه‌ای دارای ۵۰ تقاطع، آزمایش شده است. یادگیری و آموزش عامل‌ها از طریق روش یادگیری Q انجام شده است. در پژوهش [۲۵] یک الگوریتم یادگیری تقویتی برای به‌چالش کشیدن مشکل کنترل هماهنگ سیگنال پیشنهاد شده است. درواقع علائم رانندگی به‌عنوان عامل‌های هوشمند در تعامل با محیط ترافیک پویا مدل می‌شوند. این آزمایش بر روی یک شبکه که دارای ۱۸ تقاطع می‌باشد انجام شده است. پژوهش [۲۶] یک سیستم مبتنی بر عامل‌هاست که کنترل جریان ترافیک تقاطع با روش رزرو انجام می‌گیرد درواقع با تبادل پیام

عامل خوشه بند: با فرض اینکه شهر مورد نظر منطقه بندی شده است، برای هر منطقه از شهر یک عامل خوشه‌بند در نظر گرفته شده است. هر عامل خوشه بند با عامل‌های تقاطع در ارتباط بوده و از اطلاعات، بار ترافیک و فاصله تقاطع از سایرین که توسط عامل تقاطع در تقاطع‌ها ذخیره می‌شود، استفاده می‌کند.

یکی از مشکلات روش خوشه‌بندی با الگوریتم K-means، انتخاب سرخوشه است که در این مقاله برای رفع این مشکل هر عامل خوشه بند با در نظر گرفتن یک حد آستانه برای بار ترافیک، از بین تقاطع‌های منطقه مربوط به خود تقاطع یا تقاطع‌هایی را به‌عنوان سرخوشه تعیین می‌کند. سپس با استفاده از الگوریتم k-means [۳۲] و در نظر گرفتن دو ویژگی فاصله و بار ترافیک، تقاطع‌های منطقه مربوط به خود را خوشه‌بندی می‌کند.

این عامل در دو مرحله اصلی ابتدا با در نظر گرفتن فاصله و سپس با در نظر گرفتن میزان بار، تقاطع‌های منطقه را خوشه‌بندی می‌کند. عملیات خوشه‌بندی با توجه به شرایط مقدار بار ترافیکی تقاطع‌ها در هر سیکل تکرار می‌شود و در صورت برقرار نبودن شرایط، بر اساس خوشه‌بندی سیکل‌های قبلی مراحل کار ادامه می‌یابد و نیازی به خوشه‌بندی جدید نیست. بررسی این شرایط در گام‌های بعدی توضیح داده خواهد شد. در مرحله اول ابتدا با داشتن ماتریس میزان فاصله تقاطع‌ها از هم و داشتن اطلاعات میزان بار ترافیک تقاطع‌ها و حد آستانه، تقاطع‌های منطقه را طی سه گام خوشه‌بندی می‌کند:

۱- ابتدا با تعیین مقدار حد آستانه سرخوشه‌ها مشخص می‌گردد، بدیهی است که در مرحله بعدی متناسب با سرخوشه‌ها خوشه‌ها معین می‌گردد. این امر علاوه بر رفع مشکل خوشه‌بندی، سبب توزیع مراکز پردازش در سطح منطقه می‌گردد. فرض کنید تقاطع A و E دارای بار ترافیکی به اندازه حد آستانه تعیین شده یا بیش تر از آن می‌باشند، بنابراین به‌عنوان سرخوشه تعیین می‌گردند. شکل ۲ به‌عنوان یک منطقه از شهر در نظر بگیرید که در آن تقاطع‌های A, E به‌عنوان سرخوشه تعیین شده‌اند.



شکل ۲: گام اول از مرحله اول تعیین سرخوشه‌ها

- گام سوم، محاسبه بهترین زمان‌بندی برای چراغ‌های راهنمایی تقاطع‌ها می‌باشد. برای این کار از میان الگوریتم‌های پردازش تکاملی، از الگوریتم ژنتیک برای زمان‌بندی استفاده نموده‌ایم.
 - گام چهارم، نحوه تعریف و عملکرد عامل‌ها و تکنیک‌های ارسال پیام می‌باشد. بدین منظور از قابلیت ردوبدل پیام‌ها با استفاده از کتابخانه Jade [۲۷] برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی و روش‌شناسی عامل‌گرای Tropos [۲۸ و ۲۹ و ۳۰] استفاده شده است.
- مرحله اول در کنترل ترافیک تقاطع، تخمین میزان بار ترافیک در تقاطع است برای این کار ابزارها و روش‌های مختلفی وجود دارد [۳۱]؛ ازجمله، ردیابی لوپ القایی، ردیابی ویدیویی خودروها، فناوری‌های رایانشی، اخذ اطلاعات خودروی در حال حرکت با تلفن همراه و RFID. با توجه به اینکه تمرکز ما در این مقاله بر روی زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی می‌باشد، از اطلاعات به‌دست‌آمده از یکی از روش‌های ذکر شده در بالا برای تخمین میزان بار ترافیکی تقاطع‌ها استفاده می‌کنیم.
- با توجه به مقدمات فوق، در بخش بعدی طرح پیشنهادی که سیستمی هوشمند برای کنترل ترافیک شهری مبتنی بر سیستم‌های چندعاملی است، پرداخته شده است.

۱-۲- تعیین عامل‌ها

مرحله بعدی در کنترل ترافیک تقاطع با استفاده از سیستم‌های چندعاملی، تعیین عامل‌ها و روش هوشمندی و نحوه ارتباط آن‌ها است. ابتدا به معرفی عامل‌های تعریف شده در روش پیشنهادی پرداخته شده است و سپس وظایف هر عامل متناسب با روند تحقیق توضیح داده شده است. در سیستم پیشنهادی از عامل‌های ذیل استفاده شده است:

- عامل حسگر ترافیک: این عامل مجموع بار تمامی جاده‌های تقاطع را محاسبه کرده و به عامل تقاطع ارسال می‌کند. هر عامل تقاطع دارای یک عامل حسگر می‌باشد. تمامی این اطلاعات در فایل ذخیره می‌شوند.
- عامل تقاطع: هر تقاطع دارای یک عامل تقاطع می‌باشد که فاصله خود را از سایر تقاطع‌های متصل به خود می‌داند. این عامل با عامل حسگر در ارتباط است و اطلاعات بار ترافیک تقاطع مربوط به خود را در هر لحظه در اختیار دارد. همچنین هر عامل تقاطع نتایج نهایی زمان‌بندی موفقیت‌آمیز دریافتی از عامل محاسبه‌گر را نیز در اختیار دارد. بنابراین هر تقاطع اطلاعات زیر را در هر لحظه در اختیار دارد:
 ۱. نام تقاطع ۲. میزان بار ترافیک فعلی و ترافیک در سیکل قبلی به ازای تمامی جاده‌های تقاطع ۳. بهترین زمان‌بندی فعلی که هر تقاطع بعد از انجام محاسباتی که در ادامه توضیح داده شده است، در هر سیکل در خود ذخیره می‌کند. ۴. فاصله از تقاطع‌های همسایه ۵. اتصالات هر جاده از تقاطع با سایر جاده‌های تقاطع‌های دیگر.

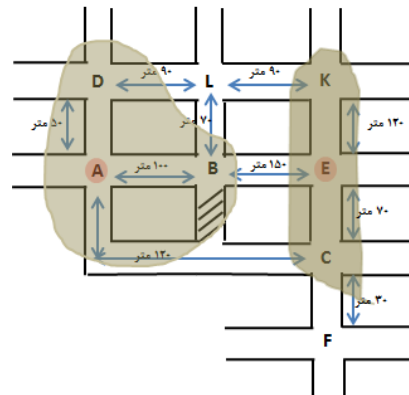
پرتراکم شناخته می‌شود و در صورت عدم داشتن این شرایط خوشه مربوطه به‌عنوان خوشه کم تراکم تعیین خواهد شد.

۲- حال در مرحله بعد اگر تقاطعی با داشتن شرایط انتقال، قابل جدا شدن از خوشه پرتراکم باشد آن را از خوشه پرتراکم به خوشه کم تراکم انتقال خواهیم داد. از جمله شرایط انتقال تقاطع به سایر خوشه‌ها: (۱) همسایگی با خوشه‌های کم تراکم (۲) جدا شدن تقاطع سبب از هم گسستگی خوشه جاری نشود.

اگر در شکل ۴، تقاطع K و تقاطع C با بار نزدیک به حد آستانه باشد، آنگاه خوشه E به‌عنوان خوشه پرتراکم و خوشه A به‌عنوان خوشه کم تراکم تعیین خواهد شد.

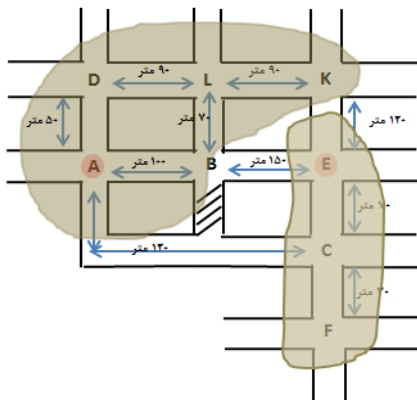
تقاطع K قابل انتقال به خوشه A بوده ولی تقاطع C به دلیل آنکه در صورت جدا شدن از خوشه خود سبب هم گسستگی می‌شود در خوشه خود باقی می‌ماند. در نهایت خوشه‌ها به‌صورت شکل ۵ تغییر می‌یابند.

خروجی این مرحله تعیین خوشه‌بندی نهایی است سپس در مرحله بعد، بهترین زمان‌بندی برای خوشه‌ها توسط عامل محاسبه‌گر محاسبه می‌گردد.



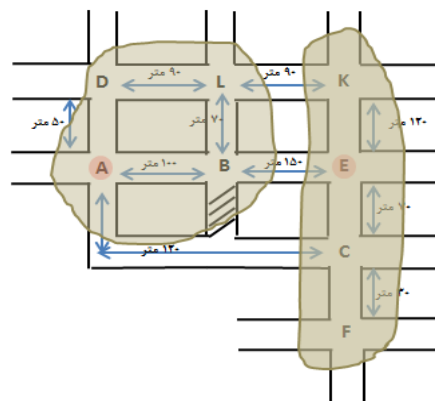
شکل ۳: گام دوم از مرحله اول تعیین اعضای هر خوشه

۳- تقاطع‌هایی را هم که به‌طور غیرمستقیم به سرخوشه‌ها وصل هستند مطابق شکل ۴، با در نظر گرفتن این شرط که به هر کدام از اعضای خوشه نزدیک‌تر باشد، به آن خوشه تعلق می‌گیرد.



شکل ۵: مرحله دوم تعیین اعضای هر خوشه

عامل محاسبه‌گر: مرحله بعد تعیین بهترین زمان‌بندی برای خوشه‌ها است. حال با استفاده از اطلاعات دریافتی، بهترین زمان‌بندی را برای چراغ‌های راهنمایی خوشه تعیین شده، با استفاده از الگوریتم ژنتیک [۳۳] توسط عامل محاسبه‌گر، تعیین می‌شود. الگوریتم ژنتیک این اطمینان را می‌دهد که در صورتی که عملیات کاوش مناسب باشد در بهینه محلی گرفتار نمی‌شود و حتماً بهینه سراسری و یا نزدیک به آن را پیدا می‌کند که در اینجا بهینه سراسری همان بهترین زمان‌بندی ممکن متناسب با بار ترافیکی تقاطع‌ها است. این عامل با استفاده از اطلاعاتی که عامل خوشه‌بند به آن ارسال می‌کند، برنامه چراغ‌های راهنمایی خوشه‌ها را محاسبه می‌نماید و در نهایت این زمان‌بندی را به عامل‌های تقاطع ارسال کرده تا آن‌ها نیز به چراغ‌های راهنمایی خود اعمال کنند. مرحله اول در اجرای الگوریتم ژنتیک تعیین ژن و کروموزوم است. حداقل مدت‌زمان چراغ سبز برای هر چراغ‌راهنما برابر با ۱۵ ثانیه و حداکثر ۲۰ ثانیه و مدت‌زمان هر سیکل تقاطع برابر با ۷۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. مقدار هر ژن عددی بین ۰ تا ۵ خواهد



شکل ۴: گام سوم از مرحله اول تعیین اعضای هر خوشه

شکل ۴ مرحله اول خوشه‌بندی را نشان می‌دهد که فقط بر اساس فاصله بین تقاطع‌ها و با تعیین اولیه سرخوشه‌ها است. در مرحله بعدی خوشه‌بندی، خوشه‌های تعیین شده از مرحله قبل بر اساس میزان بار تقاطع‌ها بررسی خواهند شد، این کار سبب ایجاد تعادل بار بین خوشه‌ها می‌شود و در صورت نیاز خوشه‌ها تغییر خواهند کرد. این مرحله طی ۲ گام به‌صورت ذیل انجام می‌شود.

۱- ابتدا خوشه‌ها به دو نوع پرتراکم و کم‌تراکم تقسیم می‌شوند. بدین‌صورت که اگر تعداد تقاطع‌هایی که در یک خوشه هستند میزان بار ترافیکیشان تا حدود ۲۰ درصد از میزان حد آستانه کم‌تر بودند، یعنی تعداد تقاطع‌های هر خوشه که سرخوشه نیستند ولی میزان بار ترافیکی آن‌ها نزدیک به حد آستانه بود بیش‌تر از نصف تعداد اعضای آن خوشه باشند، آن خوشه به‌عنوان یک خوشه

تابع برازندگی پیشنهادی برای هر جاده از تقاطع مطابق رابطه (۲) با در نظر گرفتن دو عامل مهم، اول با در نظر گرفتن بار ترافیکی تقاطع تا ۱۰ درصد افزایش جهت کنترل نوسان احتمالی بار و کاهش تکرار محاسبات در سیکل‌های بعدی و عامل دوم، میزان انتظار وسایل نقلیه با استفاده از شاخص عملکرد، بهترین زمان بندی را برای چراغ‌راهنمایی تقاطع با در نظر گرفتن مقدار بار ترافیکی محاسبه خواهد نمود. رابطه شماره ۲ در واقعی تناسبی است از میزان بار ترافیکی هر تقاطع و مدت زمان انتظار.

$$f_i = P.I_i = (S_i) / G.T_i \rightarrow P.I_i = (S_i + 0.1 \times S_i) / G.T_i \quad (2)$$

نحوه محاسبه تابع برازندگی برای تقاطع A با ۴ جاده به صورت زیر خواهد بود:

$$f_A = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 \quad (3)$$

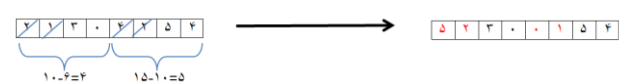
در نهایت با توجه به شکل ۶ تابع برازندگی متناسب با کروموزوم مربوط به خوشه A به صورت رابطه (۴) محاسبه خواهد شد که هدف کمینه‌سازی تابع F است.

$$F = f_A + f_B + f_L + f_D + f_K \quad (4)$$

در پیاده‌سازی روش پیشنهادی اندازه ماتریس برای جمعیت اولیه ۵۰ و تعداد دفعات تولید نسل ۱۰ در نظر گرفته شده است. همچنین در عملیات انتخاب والدین با در نظر گرفتن ویژگی نخبه‌گرایی^۸ از روش چرخ رولت^۹ استفاده شده است، سپس در مرحله برش^{۱۰}، روش تک نقطه‌ای^{۱۱} و در مرحله جهش^{۱۲}، روش یکنواخت^{۱۳} اعمال شده است و در نهایت عملیات تصحیح^{۱۴} برای رعایت محدودیت‌های در نظر گرفته شده، انجام گرفته و بهترین کروموزوم به‌عنوان بهترین زمان بندی برای تقاطع‌های هر خوشه انتخاب می‌شود.

با توجه به اینکه عملیات جهش ممکن است سبب عدم ارضای محدودیت‌ها گردد، به صورت شکل ۷ کروموزوم جهش‌یافته تصحیح گردیده است.

اگر در یک کروموزوم پس از عملیات برش و جهش مجموع زمان چراغ سبز برای هر تقاطع کم‌تر از ۱۰ شود، از ابتدای کروموزوم مقادیر هر ژن را به ترتیب به اندازه مقدار بیش‌تر از ۱۰ اضافه می‌کنیم و اگر مجموع زمان چراغ سبز برای هر تقاطع بیش‌تر از ۱۰ شود، از ابتدای کروموزوم مقادیر هر ژن را به ترتیب به اندازه مقدار بیش‌تر از ۱۰ کم می‌کنیم.



شکل ۷: مرحله تصحیح کروموزوم

۲-۲- نحوه ردوبدل پیام بین عامل‌ها

ما هر سیکل چراغ راهنمایی را ۷۰ ثانیه در نظر گرفته‌ایم. پس از گذشت ۷۰ ثانیه میزان بار تقاطع‌ها تغییر خواهد نمود که برای

بود به طوری که مجموع زمان چراغ سبز برای هر تقاطع برابر با ۷۰ ثانیه باشد. مقداره‌ی به ژن‌ها باید طوری باشد که این محدودیت را رعایت کند.

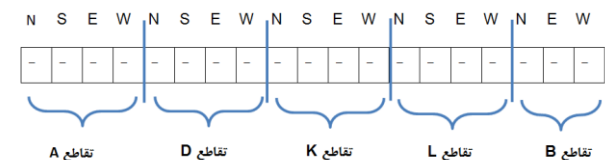
$$0 \leq \text{ژن} \leq 5$$

اگر خوشه‌ای شامل m تقاطع به صورت سه‌راهی و n تقاطع به صورت چهارراهی باشد طول کروموزوم به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$\text{طول کروموزوم} = \sum_{i=1}^m 3 + \sum_{i=1}^n 4$$

این روش برای چندراهی‌ها نیز قابل تعمیم می‌باشد. این کار باعث می‌شود تا در زمان بندی انواع مختلفی از تقاطع‌ها با تعداد جاده‌های مختلف، محدودیتی به وجود نیاید.

برای نمونه کروموزوم خوشه A که دارای ۴ تقاطع به صورت چهارراهی و یک تقاطع به صورت سه‌راهی است، به صورت شکل ۶ خواهد بود، به طوری که هر ژن مقداری بین ۰ تا ۵ خواهد گرفت و مجموع زمان چراغ‌راهنمایی هر تقاطع ۷۰ ثانیه خواهد بود.



شکل ۶: کروموزوم متناسب با خوشه A

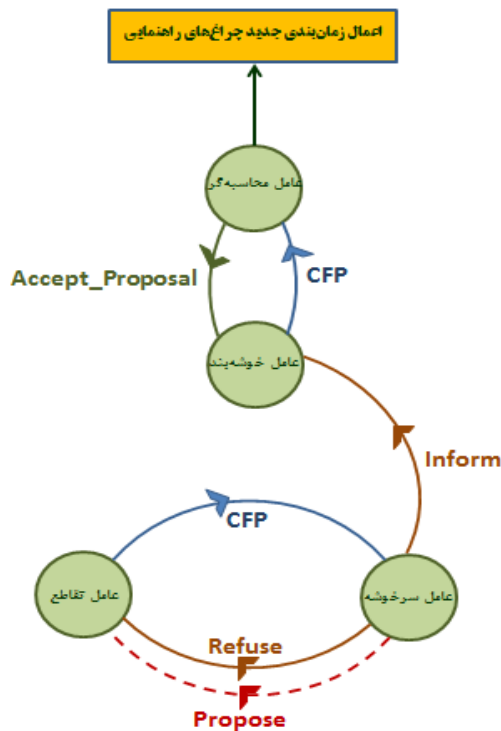
در این مقاله یک محدودیت بر روی ژن‌های کروموزوم پیشنهادی اعمال شده است. به این صورت که برای محاسبه بهترین زمان متناسب با بار ترافیکی تقاطع، یک بازه را برای بار ترافیکی هر جاده در نظر گرفته‌ایم. تا زمان تخمین زده شده پاسخگوی نوسانات ناگهانی بار ترافیکی تقاطع باشد و در هر لحظه نیاز به تغییر زمان بندی نباشد و بتوان واکنش مناسبی را نشان داد. این محدودیت در نظر گرفته شده برای بار ترافیکی هر جاده، نباید خیلی بزرگ یا خیلی کوچک باشد؛ زیرا اگر خیلی بزرگ باشد سیستم دچار مشکل می‌شود و قادر به حل مشکل ترافیکی نخواهد بود و ترافیک رفته‌رفته افزایش می‌یابد. اگر هم خیلی کوچک باشد تأثیری ندارد و قادر به بهبود سیستم نیست. به همین دلیل ما ۱۰ درصد بار ترافیکی (تحمل میزان خطا) را در نظر گرفته‌ایم.

تابع برازندگی^۷ پیشنهادی با در نظر گرفتن این شرایط: (۱) نوسانات احتمالی بار ترافیکی هر جاده تا ۱۰ درصد افزایش (۲) اندازه هر کروموزوم متناسب با اندازه خوشه (۳) شاخص عملکرد (G.T). در رابطه (۳) تعیین می‌گردد.

شاخص عملکرد در واقع بهترین مدت زمان چراغ سبز متناسب با بار ترافیکی می‌باشد. که برای هر جاده از تقاطع، به صورت زیر تعریف می‌شود که در رابطه (۱) مقدار ژن می‌باشد.

$$G.T = 15 (\text{ثانیه}) + g \quad (1)$$

پرداخت، اگر نتواند میزان زمان اضافی درخواستی را تأمین کند آنگاه به عامل خوشه بند پیغام Inform و به تقاطع متقاضی پیغام Refuse خواهد داد که مجدداً عملیات خوشه‌بندی انجام گیرد. عامل خوشه‌بند نیز به عامل محاسبه‌گر پیغام CFP خواهد فرستاد که دوباره بهترین زمان‌بندی را برای تقاطع‌ها محاسبه کند و در نهایت عامل محاسبه‌گر پیغام Accept_Proposal فرستاده و زمان‌بندی جدیدی را متناسب با تغییرات ترافیک را برای تقاطع‌های منطقه محاسبه می‌کند. شکل ۸ نحوه ردوبدل کردن پیام بین عامل‌ها در هر سیکل چراغ‌راهنمایی را متناسب با حالت‌های گفته‌شده در روش پیشنهادی، نشان می‌دهد.



شکل ۸: نحوه ردوبدل کردن پیام بین عامل‌ها در روش پیشنهادی

۲-۳- روش‌شناسی Tropos برای روش پیشنهادی

Tropos [۱۷] یک روش‌شناسی مهندسی نرم‌افزار مبتنی بر عامل است که تمام فرآیندهای توسعه نرم‌افزار را پوشش می‌دهد. Tropos بر مدل‌سازی اهداف و ارتباط آن‌ها با بازیگران^{۱۵}، وظایف و منابع سیستم تأکید دارد. دیاگرام بازیگر^{۱۶} در طول فاز تعیین نیازمندی‌های اولیه نرم‌افزار کامل می‌شود. دیاگرام بازیگر از روش پیشنهادی در یک منطقه شهر را می‌توان با استفاده از روش‌شناسی Tropos به صورت شکل ۹ نشان داد. در دیاگرام بازیگر، دایره بیانگر عامل، بیضی بیانگر اهداف، شکل ابر بیانگر اهداف نرم است و خط چین بیانگر آن است که چندین زیرسیستم از این نوع می‌تواند در محیط قرار گیرد.

۲-۴- معماری روش پیشنهادی

در این بخش معماری پیشنهادی برای روش ارائه شده بیان شده است:

زمان‌بندی دوباره چراغ‌راهنمایی‌ها در سیکل جدید با ۴ حالت زیر مواجه می‌شویم، درواقع با بررسی شرایط زیر مشخص می‌گردد که عملیات خوشه‌بندی دوباره انجام می‌گیرد یا تقاطع‌های خوشه‌بندی‌شده هر منطقه با در نظر گرفتن محدوده مشاهدات خود قادر به رفع مشکل خواهند بود یا نه.

۱- در این وضعیت مقدار بار ترافیک تقاطع تغییر کرده و ممکن است جاده‌ای از تقاطع با افزایش یا کاهش بار مواجه شود. اگر افزایش میزان بار ترافیک تقاطع از ۱۰ درصد بیش‌تر نشود همان زمان‌بندی قبلی اعمال می‌گردد زیرا همان‌طور که در بخش قبلی گفته شد ما نوسانات احتمالی تا افزایش ۱۰ درصد بار برای هر جاده تقاطع در نظر گرفته‌ایم.

۲- در این وضعیت میزان بار ترافیک تقاطع تغییر کرده و میزان افزایش بار جاده‌ها بیش‌تر از ۱۰ درصد بوده بنابراین ابتدا تقاطع به محاسبه زمان اضافی خود می‌پردازد، اگر خود قادر به جبران بود خودش زمان خود را تغییر می‌دهد؛ زیرا ممکن است جاده‌ای از آن با افزایش و دیگری با کاهش بار مواجه شده باشد.

نحوه محاسبه زمان اضافی به این صورت است که میزان زمان بهینه که توسط عامل محاسبه‌گر با در نظر گرفتن میزان تحمل بار با ۱۰ درصد بیش‌تر از مقدار واقعی برای بار جاده‌های هر تقاطع حساب‌شده بود، می‌توان با یک تناسب ساده به صورت زیر تخمین زد:

اگر میزان زمان بهینه اختصاص‌یافته T_e ، مقدار بار واقعی جاده در سیکل جدید W_i ، مقدار زمان اضافی برای جاده I را با T_e و مقدار بار با تحمل میزان نوسان در نظر گرفته‌شده در ژنتیک به صورت رابطه (۵) باشد. آنگاه میزان زمان درخواستی تقاطع مطابق با رابطه (۶) حساب می‌شود.

$$k = S_i + 10\% \times S_i \quad (5)$$

$$T_e = T - (T \times W_i / k) \quad (6)$$

که اگر مقدار T_e مثبت بود نشان‌دهنده مقدار بار اضافی و در غیر

این صورت بیانگر مقدار کمبود زمان است.

۳- در این وضعیت میزان بار تقاطع تغییر کرده و میزان افزایش بار جاده‌ها بیش‌تر از ۱۰ درصد بوده بنابراین ابتدا تقاطع به محاسبه زمان اضافی خود می‌پردازد، ولی خود قادر به جبران میزان زمان اضافی خود نیست. به سرخوشه خود پیغام CFP داده و درخواست زمان اضافی می‌کند. سرخوشه به محاسبه زمان اضافی خود و سایر اعضای همان خوشه خواهد پرداخت، اگر بتواند میزان زمان اضافی درخواستی را تأمین کند آنگاه زمان اعضای خوشه و خودش را به‌روزرسانی می‌کند و زمان درخواستی را به تقاطع موردنظر با پیغام Propose می‌دهد.

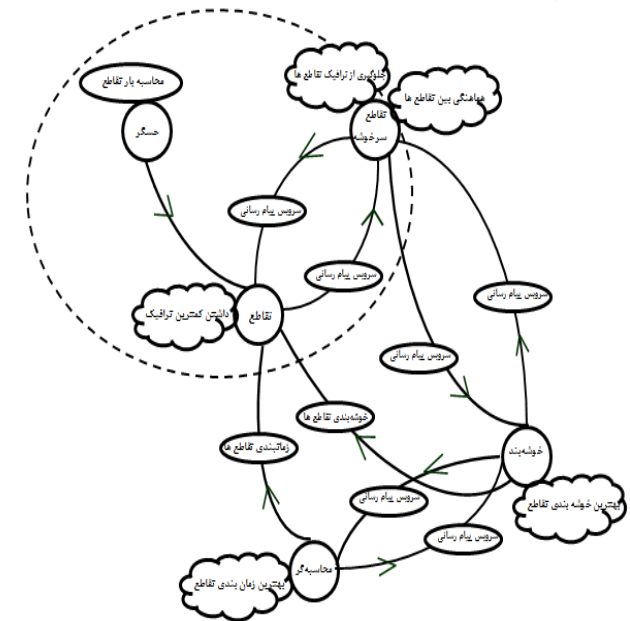
۴- در این وضعیت میزان بار تقاطع تغییر کرده و میزان افزایش بار جاده‌ها بیش‌تر از ۱۰ درصد بوده بنابراین ابتدا تقاطع به محاسبه زمان اضافی خود می‌پردازد، ولی خود قادر به جبران میزان زمان اضافی خود نیست. به سرخوشه خود پیغام داده و درخواست زمان اضافی می‌کند. سرخوشه به محاسبه زمان اضافی خود و سایر اعضای همان خوشه خواهد

به صورت خلاصه می‌توان شکل ۱۰ را به‌عنوان معماری برای یک منطقه از شهر در نظر گرفت.

- عامل حسگر: برای محاسبه میزان بار تقاطع
- عامل تقاطع: دریافت میزان بار از عامل حسگر و قابلیت ردوبدل پیام با سایر عامل‌ها

۳- ارزیابی و مقایسه

بررسی کیفی و کلی مزایای روش پیشنهادی برای زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی در تقاطع‌ها با استفاده از سیستم‌های چندعاملی در مقایسه با سایر روش‌های کلی زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی [۳۶ و ۳۵] پیاده‌سازی شده در شهرها:



۳-۱- سیستم زمان ثابت

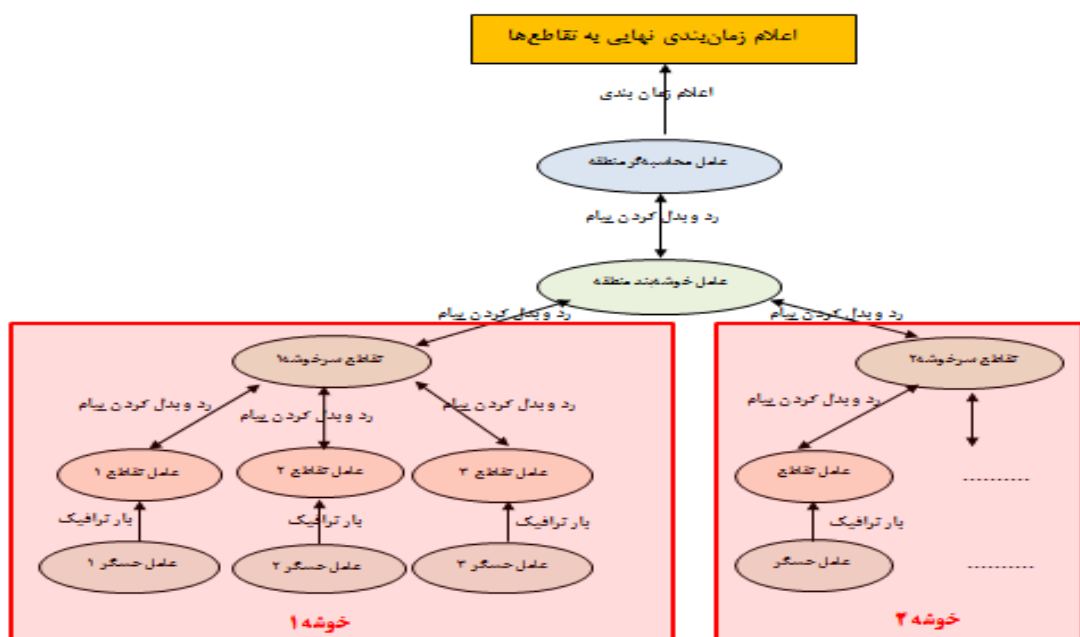
ساده‌ترین و ابتدایی‌ترین نحوه کنترل چراغ‌های راهنمایی کنترل به صورت زمان ثابت است. در این روش در تمامی ساعات شبانه‌روز فازبندی ثابتی، مستقل از میزان شلوغی یا خلوتی ترافیک تقاطع بر روی چراغ راهنمایی اعمال می‌گردد. از مهم‌ترین معایب این سیستم، تأخیرهای بی‌دلیل، بالا رفتن زمان سفر و یا عدم تخصیص زمان کافی در ساعات اوج ترافیک است. با وجود اینکه این روش ارزان‌ترین روش است از نظر کنترل ترافیکی کاملاً غیرقابل قبول بوده و مردود است. مهم‌ترین مزایای روش پیشنهادی ما در مقایسه با این سیستم، تنظیم چراغ‌های راهنمایی به صورت بلادرنگ و متناسب با ترافیک تقاطع‌ها است.

شکل ۹: دیگرام بازیگر روش پیشنهادی در یک منطقه شهر با استفاده از روش شناسی Tropos

۳-۲- سیستم زمان متغیر

در این سیستم در ساعات مختلف شبانه‌روز بر اساس آمارهای به‌دست آمده از وضعیت ترافیکی تقاطع موردنظر، زمان‌بندی مناسب بر روی چراغ راهنمایی اعمال می‌گردد. این روش در مواردی که تقاطع دارای نوسانات ترافیکی است مناسب نبوده و موجب افزایش زمان‌های تأخیر می‌گردد.

- عامل خوشه‌بند: تعیین سر خوشه‌های منطقه و انجام خوشه‌بندی دومرحله‌ای با k-means و قابلیت ردوبدل پیام با سایر عامل‌ها
 - عامل محاسبه‌گر: تعیین بهترین زمان‌بندی برای تقاطع‌ها با در نظر گرفتن نوسانات احتمالی میزان بار تقاطع‌ها و قابلیت ردوبدل پیام با سایر عامل‌ها.
- برای جلوگیری از انجام محاسبات بالا در هر سیکل از چراغ‌راهنما، امکان ردوبدل پیام بین عامل‌ها در نظر گرفته شده است.



شکل ۱۰: معماری از روش پیشنهادی در یک منطقه شهر

استفاده از ویژگی خودمختاری عامل‌ها و قابلیت ردوبدل کردن پیام به صورت سلسله مراتبی در راستای اهداف تعیین شده برای هر عامل سبب کاهش میزان محاسبات می‌گردد. این کاهش در زمان محاسبات نیز منجر به کاهش میزان معطلی در ترافیک، کاهش آلودگی، کاهش مصرف سوخت و مدت زمان مسافرت می‌گردد.

۳-۳- سیستم هوشمند محلی

این سیستم‌ها از جمله روش‌های کنترل سازگار با ترافیک است و از پیشرفته‌ترین روش‌های کنترل بوده و زمان‌بندی و فازبندی تقاطع را بر مبنای شرایط واقعی ترافیک و به صورت لحظه‌ای تنظیم می‌نماید. درک واقعی شرایط ترافیک توسط این سیستم به وسیله آشکارسازی‌های وسایل نقلیه (لوپ‌های القایی یا آشکارسازهای راداری و یا تصویری) انجام می‌گیرد. اطلاعاتی که از آشکارسازهای وسایل نقلیه به کنترل‌گر می‌رسد برای تنظیم فازبندی و زمان‌بندی تقاطع مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان ترافیک تقاطع و درصد استفاده از یک مسیر عوامل تعیین‌کننده‌ای جهت تنظیم زمان‌بندی تقاطع است. در این روش اطلاعات بار ترافیکی تقاطع‌های مجاور به تقاطع مورد نظر در نظر گرفته می‌شود. مهم‌ترین مزایای روش پیشنهادی در مقایسه با این سیستم، در نظر گرفتن تعداد نامحدود تقاطع با قابلیت خوشه‌بندی است. در روش پیشنهادی هر خوشه دارای پردازشگر مرکزی است و متناسب با میزان ترافیک به صورت هوشمند بهترین زمان‌بندی برای تقاطع‌ها تعیین می‌گردد.

در جدول ۱ به صورت خلاصه مزایای روش پیشنهادی نسبت به سه سیستم زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی را بیان نموده‌ایم. روش پیشنهادی ۱۰ بار در مناطقی با این تعداد وسیله نقلیه در دستگاهی با پردازنده Core i7 و مقدار حافظه اصلی ۴ اجرا گردید که مدت زمان اجرای آن برای دو منطقه با میزان تردد متفاوت در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده است.

تعداد مجموع وسایل نقلیه در منطقه کم تردد: ۳۵۸

تعداد مجموع وسایل نقلیه در منطقه پرتردد: ۱۲۰۰

در روش پیشنهادی برای جلوگیری از نوسانات احتمالی بار ترافیک تقاطع تغییری در محاسبه تابع برازندگی اعمال شده است تا در هر سیکل تقاطع مجبور به اجرای الگوریتم‌های خوشه‌بندی و ژنتیک نگردیم زیرا اجرای این الگوریتم‌های هوشمند برای تعداد زیادی از تقاطع‌ها میزان بار محاسباتی و هزینه اجرای بالایی خواهد داشت. بدین منظور در محاسبه تابع برازندگی میزان بار هر جاده را ۱۰ درصد بیشتر مقدار واقعی آن در نظر گرفته‌ایم. البته قابل ذکر است که این میزان درصد خطا برای نوسانات اندک در نظر گرفته شده است زیرا این روش برای کنترل نوسانات زیاد ممکن است با اتلاف زمان زیاد مواجه گردد.

هدف از طراحی روش پیشنهادی با عامل‌ها، استفاده از ویژگی خودمختاری عامل‌ها است. در این صورت عامل‌ها می‌توانند در راستای رسیدن به اهداف خود و متناسب با تغییرات محلی ترافیک و جلوگیری از اجرای غیرضروری چندین بار الگوریتم‌ها در فواصل زمانی مختلف از این ویژگی استفاده نمایند. هرگاه تقاطع با میزان بار ترافیک بیشتر از ۱۰ درصد مقدار فعلی مواجه گردید قبل از فراخوانی عامل‌های خوشه بند و محاسبه‌گر منطقه و اجرای الگوریتم‌ها به بررسی شرایط خود می‌پردازد.

عامل تقاطع ابتدا میزان کمبود زمان خود را محاسبه نموده و در صورتی که خود قادر به حل مشکل باشد آن را رفع می‌کند زیرا همان‌طور که گفته شد میزان زمان در سیکل قبل برای بار ترافیکی با ۱۰ درصد بیشتر تخمین زده شده است. حال اگر عامل تقاطع قادر به رفع مشکل نباشد، آن را به سرخوشه، خوشه‌ای که در آن قرار دارد اطلاع داده و تقاضای زمان می‌کند، عامل تقاطع خوشه میزان زمان اضافه اعضای خوشه را حساب کرده و در صورتی که قادر به جبران میزان زمان درخواستی باشد، آن را به تقاطع درخواست‌کننده ارسال و زمان‌بندی تقاطع‌های خوشه خود را تغییر می‌دهد در غیر این صورت به عامل خوشه بند منطقه اطلاع می‌دهد دوباره عملیات خوشه‌بندی از اول اجرا گردیده و سپس عامل خوشه بند اطلاعات خوشه‌بندی را در اختیار عامل محاسبه‌گر گذاشته تا بهترین زمان‌بندی را بر اساس ترافیک فعلی در اختیار تقاطع‌ها قرار دهد؛ و این روند در هر سیکل از چراغ راهنمایی اجرا می‌گردد.

جدول ۱: بررسی کلی و کیفی مزایای روش پیشنهادی نسبت به سه سیستم زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی پیاده‌سازی شده در

شهرها [۳۴ و ۳۵]

نام سیستم	در نظر گرفتن نوسانات بار	تکرار پردازش در هر سیکل	زمان‌بندی متناسب با بار تقاطع‌ها	توزیع مراکز پردازش	قابلیت خودمختاری	عدم محدودیت تعداد تقاطع‌ها
سیستم زمان ثابت	خیر	-	خیر	خیر	خیر	خیر
سیستم زمان متغیر	خیر	بلی	بلی	خیر	خیر	خیر
سیستم هوشمند محلی	بلی	بلی	بلی	خیر	خیر	خیر
سیستم پیشنهادی	بلی	خیر	بلی	بلی	بلی	بلی

جدول ۲: میانگین مدت‌زمان اجرا برای ۱۰ بار اجرای برنامه در

منطقه کم تردد	
مدت‌زمان اجرا	الگوریتم‌های هوشمند
۹۷/۶ میلی ثانیه	میانگین مدت‌زمان اجرای الگوریتم ژنتیک [۲۰]
۱۳۸/۶ میلی ثانیه	میانگین مدت‌زمان اجرای الگوریتم خوشه‌بندی دومرحله‌ای توسط عامل خوشه بند و الگوریتم ژنتیک توسط عامل محاسبه‌گر
۲/۵ میلی ثانیه	میانگین مدت‌زمان به‌روزرسانی زمان چراغ راهنمای تقاطع توسط خود تقاطع
۱۷ میلی ثانیه	میانگین مدت‌زمان به‌روزرسانی زمان چراغ راهنمای تقاطع توسط سرخوشه

جدول ۳: میانگین مدت‌زمان اجرا برای ۱۰ بار اجرای برنامه در

منطقه پر تردد	
مدت‌زمان اجرا	الگوریتم‌های هوشمند
۱۰۱/۸ میلی ثانیه	میانگین مدت‌زمان اجرای الگوریتم ژنتیک [۲۰]
۱۵۶/۱ میلی ثانیه	میانگین مدت‌زمان اجرای الگوریتم خوشه‌بندی دومرحله‌ای توسط عامل خوشه‌بند و الگوریتم ژنتیک توسط عامل محاسبه‌گر
۲/۲ میلی ثانیه	میانگین مدت‌زمان به‌روزرسانی زمان چراغ راهنمای تقاطع توسط خود تقاطع
۱۲/۵ میلی ثانیه	میانگین مدت‌زمان به‌روزرسانی زمان چراغ راهنمای تقاطع توسط سرخوشه

نتیجه دوم: با کنترل میزان نوسانات می‌توان در بسیاری از سیکل‌ها از تکرار مجدد پردازش‌ها جلوگیری نمود.

چون روش پیشنهادی در سطح آزمایشگاهی در یک منطقه از شهر اجرا شده است و روش پیشنهادی با داده‌های واقعی اجرا نشده است، بنابراین نمی‌توانیم در سطح آزمایشگاهی ارزیابی درستی از روش پیشنهادی در مقایسه با دو روش سیستم زمان متغیر و سیستم هوشمند محلی ارائه دهیم. از این رو روش پیشنهادی به طور خاص و جزئی تر فقط با سیستم زمان ثابت مقایسه شده است و نتایج حاصل بررسی شده است. در کارهای آتی ارزیابی با سایر روش‌ها را با داده‌های واقعی انجام خواهد شد.

در روش پیشنهادی چون زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی تقاطع‌ها بر اساس مجاورت با سایر تقاطع‌ها و میزان بار ترافیکی آن‌ها در نظر گرفته شده است بنابراین میزان زمان توقف و معطلی وسایل نقلیه پشت چراغ‌قرمز کاهش می‌یابد؛ زیرا:

- همان‌طور که می‌دانیم اعمال یک زمان‌بندی مشخص به تمامی چراغ‌های راهنمایی بدون در نظر گرفتن میزان بار ترافیکی آن‌ها سبب افزایش زمان سفر و افزایش مدت‌زمان تأخیر خواهد شد. ممکن است جاده‌ای بدون بار ترافیکی و یا دارای بار ترافیکی اندک باشد ولی همچنان مدت‌زمانی را پشت چراغ‌قرمز منتظر بماند.
- و یا ممکن است جاده‌ای دارای بار ترافیکی بسیار زیاد باشد ولی مدت‌زمان چراغ سبز اختصاص‌یافته به آن برای تخلیه کامل جاده بسیار کم بوده باشد و بسیاری از وسایل نقلیه مجبور شوند چند سیکل متوالی منتظر بمانند.

بیش‌تر سیستم‌های زمان ثابت استفاده‌شده در شهرها، زمان ثابت ۲۰ ثانیه را به تمامی چراغ‌های راهنمایی همه تقاطع‌ها اختصاص می‌دهند. در روش پیشنهادی مدت‌زمان چراغ راهنمایی هر جاده از تقاطع متناسب با میزان بار ترافیکی جاده مربوطه، عددی بین ۱۵ تا ۲۰ ثانیه در نظر گرفته شده است.

روش پیشنهادی، ۱۰ بار در سطح آزمایشگاهی در مناطق کم تردد و پر تردد ۸ تقاطع و ۱۲۰۰ وسیله نقلیه اجرا شد و میزان کاهش تأخیری وسایل نقلیه در پشت چراغ قرمز به‌طور خاص بر روی تقاطع D در مقایسه با سیستم زمان ثابت، بررسی گردید.

در ۱۰ بار تکرار آزمایش در سیکل‌های متوالی در یک منطقه پرتردد با ۱۲۰۰ وسیله نقلیه به‌طور خاص بر روی تقاطع D، میانگین مدت‌زمان تأخیری وسایل نقلیه در پشت چراغ‌قرمز به‌اندازه ۱۶/۳ ثانیه یعنی معادل ۱۸/۵٪ در مقایسه با زمان ثابت، کاهش یافت.

زمان ۱۶/۳ ثانیه میانگین مدت‌زمان تخمین زده شده در سیکل‌های متوالی برای تخلیه کامل تقاطع مربوطه متناسب با بار ترافیکی آن می‌باشد. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره نمودیم در روش پیشنهادی زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی، متناسب با میزان بار ترافیکی تقاطع‌ها در نظر گرفته شده است. از این رو الزاماً تمامی

یکی از دلایل آنکه چرا میانگین مدت‌زمان به‌روزرسانی زمان چراغ راهنمای تقاطع توسط خود تقاطع و توسط سرخوشه در منطقه کم تردد بیش‌تر از پرتردد است؛ زیرا میزان نوسانات ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است که این میزان در تقاطع‌های پرتراфик تعداد افزایش وسایل نقلیه زیادی را در برمی‌گیرد و نیاز به تغییر زمان‌بندی نمی‌باشد و یا در صورت تغییر به زمان اندکی نیاز دارد در صورتی که این میانگین زمان در منطقه کم تردد تعداد افزایش وسایل نقلیه کم‌تری را در برمی‌گیرد و به زمان بیشتری نیازمند است.

نتیجه اول: این روش پیشنهادی برای مناطق پرتردد زمان کمتری برای پردازش زمان درخواستی و جبران زمان نیاز دارد. مدت‌زمان میانگین اجرای الگوریتم خوشه‌بندی دومرحله‌ای توسط عامل خوشه بند و الگوریتم ژنتیک توسط عامل محاسبه‌گر در روش پیشنهادی در سیکل اول بیشتر از سیستم‌های مشابهی است که فقط توسط اجرای الگوریتم ژنتیک در هر سیکل می‌باشد ولی در مقابل روش پیشنهادی نیازی به اجرای این دو مرحله در تمامی سیکل‌ها ندارد؛ زیرا در سیکل‌های بعدی نوسانات تا ۱۰ درصد با ردوبدل پیام کنترل می‌شوند.

[4] A. Jamshidnejad, I. Papamichail and M. Papageorgiou, B.D. Schutter, "A Model-Predictive Urban Traffic Control Approach with a Modified Flow Model and Endpoint Penalties," *14th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems CTS 2016*, vol. 49, no. 3, pp. 147-152, 2016.

[5] P. B. Hunt, D. I. Robertson, R. D. Bretherton, and M. C. Royle, "The SCOOT on-line traffic signal optimization technique," *Traffic Engineering and Control*, vol. 23, no. 4, pp. 190-192, 1982.

[6] M. Wei, Q. Yong, X. Jie, "The Application of SCOOT in Modern Traffic Network," *Management & Engineering*, pp. 93-98, 2015.

[7] *How scats works*, 10 march 2015 from Wide Web: <http://www.scats.com.au/how-scats-works.html>.

[8] Y. Zhao and Z. Tian, "An Overview Of the Usage Of Adaptive Signal Control System In the United States of America," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 178-181, pp. 2591-2598, 2012.

[9] K. Mun Ng, M. Bin Ibne Reaz, M. Alauddin Mohd Ali and T. Guy Chang, "A brief survey on advances of control and intelligent system methods for traffic-responsive control of urban networks," *Tehnicki vjesnik*, vol. 20, no. 3, pp. 555-562, 2013.

[10] S. Richard, S. Sutton, G. Andrew, Barto, *Reinforcement Learning: An Introduction*, The MIT Press, 2012.

[11] S. Araghi, A. Khosravi, D. Creighton, "Distributed Q-learning Controller for a Multi-Intersection Traffic Network," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 9489, pp. 337-344, 2015.

[۱۲] حسین شایقی، علی قاسمی، «پیش‌بینی قیمت روزانه برق با شبکه عصبی بهبودیافته مبتنی بر تبدیل موجک و روش آشوبناک جستجوی گرانشی»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۵، صفحه ۱۰۳-۱۱۳، ۱۳۹۴.

[13] Y. C. Ouyang, C. W. Yang and W. S. Lian, "Neural networks based variable bit rate traffic prediction for traffic control using multiple leaky bucket," *Journal of High Speed Networks*, vol. 15, no. 2, 2006.

[14] M. Zhang and Y. Lu, "Adaptive Network Traffic Prediction Algorithm based on BP Neural Network," *International Journal of Future Generation Communication and Networking*, vol. 8, no. 5, pp. 195-206, 2015.

[15] J. Qiu, H. Gao and S.X. Ding, "Recent Advances on Fuzzy-Model-Based Nonlinear Networked Control Systems: A Survey," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 2, pp. 1207-1217, 2016.

[۱۶] علیرضا حاتمی، پیمان بیات، پژمان بیات، محمدرضا طوسی، «ارائه یک استراتژی جدید برای مدیریت انرژی خودروی الکتریکی مبتنی بر مبدل دوطرفه سهدرگاه و کنترل‌کننده فازی»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۶، صفحه ۱۲۱-۱۳۷، ۱۳۹۵.

[17] F. Daneshfar, J. RavanJamJah, F. Mansoori, H. Bevrani and B. Zahir Azami, "Adaptive Fuzzy Urban Traffic Flow Control Using a Cooperative Multi-

وسایل نیازی نیست که مدت‌زمان خاصی را در پشت چراغ‌قرمز تقاطع مربوطه معطل گردند همچنین زمان‌بندی برای سیکل‌های بعدی چراغ‌قرمز متناسب با میزان زمان درخواستی تقاطع‌ها و نه بر اساس مقادیری ثابت، محاسبه می‌شود.

این میانگین مدت‌زمان تأخیری در یک منطقه کم تردد با تعداد وسیله نقلیه ۳۵۸ به ۱۳/۸۴ ثانیه یعنی معادل ۳۰/۸٪ در مقایسه با زمان ثابت، کاهش یافت.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله مسئله کنترل ترافیک به‌طور خاص در کنترل ترافیک تقاطع‌ها از طریق زمان‌بندی مناسب چراغ‌های راهنمایی با الگو گرفتن از سیستم‌های چندعاملی بررسی شده است. این روش پیشنهادی از عامل‌های مستقل متفاوتی تشکیل شده که با یکدیگر تبادل اطلاعات دارند. در زیر به‌صورت خلاصه به مهم‌ترین مزیت‌های روش پیشنهادی اشاره می‌کنیم:

- ۱- عدم محدودیت در تعداد تقاطع‌ها
- ۲- عدم محدودیت در فاصله بین تقاطع‌ها
- ۳- خوشه‌بندی تقاطع‌ها متناسب با میزان فاصله و بار تقاطع‌ها
- ۴- توزیع پردازش و محاسبات در هر خوشه (همه محاسبات فقط توسط یک کنترل‌گر مرکزی انجام نمی‌گیرد)
- ۵- قابلیت اجرا بر روی تقاطع‌های چندراهی نه لزوماً ۴ راهی‌ها
- ۶- در نظر گرفتن نوسانات احتمالی بار تقاطع‌ها و کنترل آن
- ۷- عدم اجرای تمامی مراحل محاسبات در هر سیکل
- ۸- قابلیت پیام‌رسانی عامل‌ها
- ۹- با کنترل میزان نوسانات می‌توان در بسیاری از سیکل‌ها از تکرار مجدد پردازش‌ها جلوگیری نمود.

به‌عنوان کار آینده می‌خواهیم روش پیشنهادی را با داده‌های واقعی در سطح وسیعی از شهر با در نظر گرفتن چندین منطقه آزمایش نماییم سپس با توجه به تلفیقی بودن روش پیشنهادی، می‌توان هر مرحله از روش پیشنهادی را با سایر روش‌ها و ابزارها جایگزین نمود و نتایج حاصل را با یکدیگر مقایسه کرد.

مراجع

[1] M. A. Purnasir Kennedy, A. Pirkhah Aqbash and F. Derakhshan, "Urban Traffic Control and bus priority based on multi-agent systems," *Seventh International Conference on Information and Knowledge Technology*, 2015.

[2] M. Alam, J. Ferreira and J. Fonseca, "Intelligent Transportation Systems," *Chapter. Intelligent Transportation Systems*, vol. 52, pp. 1-17, 2015.

[3] S. Araghi, A. Khosravi and C. Douglas, "A review on computational intelligence methods for controlling traffic signal timing," *Expert Systems with Applications*, vol. 42, pp. 1538-1550, 2015.

- [27] G. Caire, *JADE*, Free Software Foundation, 30 January 2009. [Online]. Available: <http://jade.tilab.com/>. [Accessed 20 1 2016].
- [28] C. A. Iglesias, M. Garijo and J. C. Gonzalez, *A Survey of Agent-Oriented Methodologies*, Springer Berlin Heidelberg, 1999.
- [29] P. Bresciani and A. Perini, "Trope: An Agent-Oriented Software Development Methodology," *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, vol. 8, no. 3, pp 203-236, 2004.
- [30] B. Henderson and P. Giorgini, *Agent-Oriented Methodologies*, University of Technology, Sydney, 2005.
- [31] J. Mathew and P. M. Xavier, "A survey on using wireless signals for road traffic detection," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 3, no. 1, 2014.
- [32] E. Alpaydin, *Introduction to Machine Learning*, london, MIT, 2004.
- [33] A. P. Engelbrecht, *Computational Intelligence*, 2nd ed, south africa, 2007.
- [34] Sh. Malek, R. Denney and J.A. Halkias, "Advanced transportation Management Technologies Participant Notebook," Federal Highway Administration, FHWA-SA-97-060, 1997.
- [35] علی پژومند راد و سیدمهدی امامی میبدی، مرکز کنترل ترافیک معرفی سیستم هوشمند SCATS و قابلیت‌های آن، ۲۲ مرداد ۱۳۹۲. <http://www.ttic.ir>. [دستیابی در ۳ خرداد ۱۳۹۵].
- Agent System based on Two Stage Fuzzy Clustering," *Vehicular Technology Conference*, 2009.
- [18] J. Tang, G. Zhang, Y. Wang, H. Wang, F. Liu, "A hybrid approach to integrate fuzzy C-means based imputation method with genetic algorithm for missing traffic volume data estimation," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 51, pp. 29 - 40, 2015.
- [19] S. M. Odeh, "Management of an intelligent traffic light system by using genetic algorithm," *Journal of Image and Graphics*, vol. 1, no. 2, 2013.
- [20] L. Singh, S. Tripathi and H. Arora, "time optimization for traffic signal control using genetic algorithm," *International Journal of Recent Trends in Engineering*, vol. 2, no. 2, 2009.
- [21] P. Gora, "A Genetic Algorithm Approach to Optimization of Vehicular Traffic in Cities by Means of Configuring Traffic Lights," in *Emerging Intelligent Technologies in Industry*, pp. 1-10, 2011.
- [22] D. A. Roozmond, "Using autonomous intelligent agents for urban traffic control systems," *In Proc. of the 6th World Congress on Intelligent Transport Systems*, vol. 8, no. 12, pp. 69-79, 1999.
- [23] J. Z. Hernandez, "Real-time Traffic Management through Knowledge-based Models: The TRYS approach," *ERUDIT Tutorial on Intelligent Traffic Management Models*, 1999.
- [24] M. Abdoos, N. Mozayani and A.L.C. Bazzan, "Holonc multi-agent system for traffic signals control," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 26, no. 5, pp. 1575-1587, 2013.
- [25] F. Zhu, H. M. Abdul Aziz, X. Qian and S.V. Ukkusuri, "A junction-tree based learning algorithm to optimize network wide traffic control: A coordinated multi-agent framework," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 58, pp. 487-501, 2015.
- [26] K. Dresner and P. Stone, "Multiagent traffic management: an improved intersection control mechanism," In *Proceedings of the Fourth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pp. 471-477, 2005.

زیرنویس‌ها

- ¹ Fixed Time
- ² Feedforward
- ³ Kononen
- ⁴ Niittymaki
- ⁵ Traffic Simulation Framework
- ⁶ Agent
- ⁷ Fitness
- ⁸ Elitism
- ⁹ Roulet Wheel
- ¹⁰ Crossover
- ¹¹ One-point
- ¹² Mutation
- ¹³ Uniform
- ¹⁴ Repair
- ¹⁵ Actors
- ¹⁶ Actor