

# الگوریتمی پویا جهت زمانبندی چراغهای راهنمایی و رانندگی با در نظر گرفتن خودروهای اورژانسی

رقیه آقامحمدی<sup>۱</sup>

محبوبه شمسی<sup>۲</sup>

عبدالرضا رسولی کناری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد نرم افزار دانشگاه صنعتی قم Aghamohammadi.r@qut.ac.ir

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی قم Shamsi@qut.ac.ir

<sup>۳</sup> استادیار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی قم Rasouli@qut.ac.ir

**چکیده:** از دیرباز برای کنترل ترافیک از چراغهای راهنمایی و رانندگی با هدف حفظ امنیت و عدم تراکم در ترددهای جاده ای استفاده می شود. زمان توقف و حرکت خودروها طبق زمان سبز یا قرمز بودن این چراغ ها تعیین می شود و با زمانبندی متناسب و پویا می توان موجب کاهش مدت انتظار خودروها و سرعت بخشیدن به عبور و مرور آن ها گشت. از طرفی خودروهای اورژانسی همواره اولویت بالاتری نسبت به خودروهای معمولی داشته و لازم است تا سریعتر به مقصد خود برسند. در این پژوهش، بهترین زمان سبز بودن چراغ راهنمایی در یک چهارراه با توجه به ترافیک بلادرنگ دریافتی و با در نظر گرفتن حضور خودروهای اورژانسی محاسبه و پیاده سازی شده است، تا با سرعت افزونتری عبور کرده و با کمترین تأخیر از چهارراه بگذرند. در پایان، چندین سناریو برای عبور خودروها از چهارراه طراحی و میزان تأخیر و گذردهی اندازه گیری شده است. این روش، نسبت به روش زمانبندی چرخه به چرخه، با وجود یک خودروی اورژانسی میانگین گذردهی تقریباً ۲۰٪ افزایش یافته و میانگین تأخیر حدود ۱۳٪ کاهش داشته است و با ورود چند خودروی اورژانسی میانگین گذردهی ۱۰٪ تا ۳۰٪ افزایش و میزان تأخیر برای خودروهای اورژانسی بین ۱۰٪ تا ۶۰٪ کاهش یافته است.

**کلمات کلیدی:** چراغ راهنمایی و رانندگی، زمانبندی و اولویت بندی خودروها، خودروهای اورژانسی، سرعت بیشتر و تأخیر کمتر، میانگین گذردهی و تأخیر، کنترل ترافیک شهری.

## ۱. مقدمه

یکی از چالش های جامعه امروز، مدیریت حجم انبوه خودروهایی است که از یک تقاطع عبور می کنند. معمولاً از یک چراغ راهنمایی و رانندگی برای کنترل جریان در چنین تقاطعاتی استفاده می شود [۱]. تجمع ترافیک موجب آلودگی هوا، هدر رفت منابع و زمان، کاهش کیفیت زندگی و به مخاطره انداختن حیات انسان ها می شود. در این میان وسایل نقلیه اضطراری بیش از سایر خودروها نیازمند مدیریت برای رسیدن سریع و بدون وقفه به مقصد دارند.

این پژوهش در زمینه سیستم های حمل و نقل هوشمند (ITS) بر مدیریت ترافیک در یک چهارراه تمرکز دارد. ابتدا الگوریتمی جهت تعیین مدت زمان مفید سبز بودن چراغ راهنمایی به صورت پویا ارائه شده و سپس با در نظر گرفتن وجود خودروهای اورژانسی، الگوریتمی بهینه را برای اولویت دهی و به حداقل رساندن تأخیر این خودروها عرضه می دارد. در نهایت روش ارائه شده، به صورت مداوم با اندازه گیری و کنترل جریان خودروها پس از هر بار سپری شدن طول زمان سبز چراغ راهنمایی، جریان و زمان سبز بعدی را تعیین می کند. به عبارتی هدف، تنظیم بهترین زمان برای مدت سبز بودن هر جریان ترافیکی، طبق توزیع بلادرنگ ترافیک در طول تقاطع جاده ای و در نظر گرفتن حضور خودروهای اورژانسی است تا به آن ها اجازه دهد در زودترین زمان ممکن از چهارراه عبور کنند. در ابتدا یک الگوریتم پویای زمانبندی چراغهای راهنمایی و رانندگی که فازهای هر چرخه را طبق توزیع ترافیک جریان ها تنظیم می کند، طراحی شده است. پس از آن، کارایی الگوریتم با در نظر گرفتن و زمانبندی هر خودروی اورژانسی برای عبور سریع و امن، افزایش یافته است. که این عمل با اعمال اولویت بالاتر به جریان ترافیکی حاوی خودروهای اورژانسی میسر می شود. در پایان سناریوهایی با بیش از یک خودروی اورژانسی مطرح شده است.

در ادامه مقاله، ابتدا مروری بر پژوهش های پیشین در این زمینه ارائه شده و پس از آن مدل و فرضیات مربوطه در بخش بعدی آمده است. سپس روش پیشنهادی شامل الگوریتم زمانبندی، زمانبندی با در نظر گرفتن خودروهای اورژانسی و شرایط وجود چندین خودروی اورژانسی مطرح شده است. شبیه سازی و نتایج نیز در پایان آورده شده است.

## ۲. مروری بر کارهای پیشین

مطالعات پژوهشی زیادی مسئله زمانبندی چراغهای راهنمایی و رانندگی را بررسی کرده اند. برخی از آن ها در ادامه آورده شده است.

در پژوهشی الگوریتم [۲] OAF، معروف به الگوریتم ابتدا قدیمی ترین کار را برای کاهش زمان انتظار وسایل نقلیه در حال عبور ارائه داده اند که در مقایسه با روش های vehicle-actuated و الگوریتم Webster و الگوریتم های pretimed signal control تأخیر خودروهای عبور کننده از تقاطع را کاهش می دهد. با وجود سادگی و سرعت بالا، میزان کارایی در ترافیک سنگین کاهش یافته است [۲].

همچنین الگوریتم [۳] ITLC برای کنترل هوشمند چراغ راهنمایی و رانندگی در پژوهشی ارائه شده که در آن ابتدا متراکم ترین جریان ترافیکی برای عبور از تقاطع زمانبندی می شود. علاوه بر این، زمان هر فاز طبق مکان و سرعت آخرین خودرویی که انتظار می رود از تقاطع در مدت زمانبندی شده عبور کند، تعیین شده است. این الگوریتم از نظر کاهش زمان انتظار و افزایش گذردهی عملکرد بهتری از [۲] نشان داده است. در آزمایشات نسبت به تعداد خودروها، زمان شبیه سازی بالایی در نظر گرفته شده است [۳].

در موارد بسیاری از الگوریتم های فراابتکاری برای حل مسئله زمانبندی استفاده شده است. مثلاً الگوریتم [۴] ITLSGMLR زمانبندی چراغ راهنمایی هوشمند بر اساس الگوریتم ژنتیک ادغام شده با الگوریتم رگرسیون خطی به عنوان روش یادگیری ماشین برای کاهش زمان انتظار پیاده سازی شده است. این الگوریتم زمان هر فاز را طبق داده واقعی جریان ها

زمانبندی می‌کند، در حالی که فازهای بعدی را توسط یادگیری ماشین تعیین می‌کند. اما سناریوی مطرح شده در مقاله کوچک و ساده است [۴].

یک روش بهینه‌سازی جدید نیز طبق تکنیک بهینه‌سازی کلونی زنبور عسل در پژوهش ارائه شده که مقادیر مطلوب چرخه، توقف و تقسیمات زمانی را با هدف کاهش زمان سفر خودروها تعیین می‌کند. ابتدا راه‌حل‌های ممکن ایجاد شده و سپس زنبورها در فضای راه‌حل‌ها جستجو می‌کنند. این روش قادر به ارائه راه‌حل‌های زیادی در زمان CPU ناچیز است. نتایج با الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده مقایسه شده و الگوریتم کلونی عملکرد بهتری نشان داده است. اما در شرایط تراکم بالا با کاهش کارایی مواجه بوده، ضمن اینکه از هیچ ابزار شبیه‌سازی ترافیکی برای آزمایش و ارزیابی الگوریتم استفاده نکرده است [۵].

در پژوهش [۶] سه الگوریتم فراابتکاری به نام‌های جایا، جستجوی هارمونی و چرخه آب، با هدف کاهش تأخیر، پیاده‌سازی شده است. از آن‌جا که یک فرمول زمان گسسته برای حل مسئله اتخاذ شده، ابتدا نسخه‌های گسسته از جایا و چرخه آب توسعه داده شده و سپس برخی استراتژی‌های بهبود برای سرعت بخشیدن به همگرایی بهینه‌سازها معرفی شده است. پس از آن از یک عملکرد جستجوی مبنی بر ویژگی، برای بهبود عملکرد جستجوهای استفاده شده است. آزمایشات نشان می‌دهد، الگوریتم چرخه آب در مقایسه با جایا و جستجوی هارمونی نتایج بهتری نشان داده است. اما در موارد کوچک، جستجوی هارمونی و جایا کمی از الگوریتم چرخه آب پیشی گرفته‌اند. از نظر زمان محاسباتی الگوریتم چرخه آب نسبت به جایا و جستجوی هارمونی بهتر است. در این مقاله نیز از ابزار شبیه‌ساز ترافیکی استفاده نشده است [۶].

در برخی پژوهش‌ها، اطلاعات جمع‌آوری شده پیشین و اصول پیش‌بینی، جهت زمانبندی به کار برده شده است. به طور مثال در [۷]، یک الگوریتم مدیریت ترافیک مبنی بر تاریخچه ارائه شده که متکی بر اطلاعات ترافیکی تقاطع در طول کل سال گذشته است و سپس برای پیش‌بینی ازدحام خیابان‌ها از آن بهره جستته‌اند. به عبارتی از اطلاعات سابق ترافیک برای محاسبه زمان سبز/قرمز بودن راه‌ها در یک تقاطع استفاده شده است. میانگین تأخیر و میانگین طول صف در آزمایشات مقایسه شده و نتایج خوبی حاصل گشته است. اما می‌توان نیازمندی به اطلاعات حداقل یک سال پیش از تقاطع را از محدودیت‌های این روش برشمرد [۷].

الگوریتم ETLSA [۸]، برای زمانبندی پویای چراغ راهنمایی ارائه شده که علاوه بر خودروهای معمولی، وجود خودروهای اورژانسی را نیز در نظر گرفته و به آن‌ها اولویت عبور داده است. به این ترتیب موجب افزایش سرعت عبور خودروهای اضطراری و کاهش زمان انتظار آن‌ها گشته است و طی سناریوهایی به اندازه‌گیری میانگین تأخیر و گزردهی پرداخته است. در این روش، زمانبندی به صورت چرخه به چرخه شکل گرفته و تغییرات ترافیک پس از طی شدن یک فاز برای فاز جدید در نظر گرفته نشده است [۸].

در جدول ۱ خلاصه‌ای از مقالات ذکر شده به همراه روش کلی، مزایا و معایبی از آن‌ها آورده شده است.

جدول ۱- مروری بر مقالات پیشین

مقاله	روش	مزایا	معایب
[۲]	ابتدا قدیمی ترین ورود	سادگی و سرعت بالا	کاهش کارایی در ترافیک سنگین
[۳]	ابتدا متراکم ترین جریان	کاهش زمان تأخیر ضمن افزایش تعداد خودروهای عبوری	زمان شبیه‌سازی بالا نسبت به تعداد خودروها در آزمایشات
[۴]	ژنتیک و رگرسیون خطی	کارایی بالاتر از الگوریتم ژنتیک تنها	سناریوی کوچک و ساده
[۵]	مبنی بر کلونی زنبور عسل	کارایی بالاتر از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده	کاهش کارایی در تراکم بالا، عدم اتصال به شبیه‌ساز ترافیکی برای ارزیابی روش
[۶]	سه الگوریتم فرا ابتکاری	مقایسه سه الگوریتم و نمایش نتایج	عدم اتصال به ابزار شبیه‌ساز ترافیکی جهت تست نتایج
[۷]	مبنی بر تاریخچه	انعطاف‌پذیری، کاهش میانگین تأخیر و طول صف در نتایج پژوهش	نیازمند اطلاعات تاریخچه‌ای حداقل طی یک سال

[۸]	زمانبندی پویا طبق تراکم و سرعت جریان ترافیکی خطوط	در نظر گرفتن و کاهش تأخیر خودروهای اورژانسی با کمترین تأثیر بر ترافیک عمومی	زمانبندی و اجرای کامل یک چرخه و در نظر نگرفتن تغییرات ترافیک بعد از سپری شدن هر فاز
-----	---	---	---

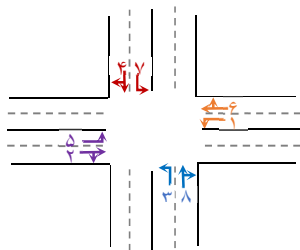
در این پژوهش روشی ارائه شده است که به صورت مداوم محاسبات و کنترل‌ها برای تعیین سبز شدن چراغ راهنمایی را در پایان هر فاز انجام می‌دهد و برخلاف [۸]، زمانبندی و اولویت‌بندی را به پایان هر چرخه موکول نمی‌کند. همچنین برخلاف [۵]، [۶] از یک شبیه‌ساز معروف ترافیک شهری جهت تست نتایج استفاده شده است. این روش بدون نیاز به اطلاعات قبلی از ترافیک است و از چالش ذکر شده برای [۷]، رنج نمی‌برد. به علاوه با تدوین سناریوهای مختلف و خودروهای متعدد و زمان کوتاه سعی در حل معایب ذکر شده در [۴-۲] را دارد. این پژوهش شامل الگوریتم زمانبندی فاز به فاز، مدنظر قرار دادن اولویت خودروهای اورژانسی و نیز تعمیم روش به سناریوهای بیش از یک خودروی اورژانسی و اولویت‌بندی آن‌هاست.

### ۳. مفاهیم پایه

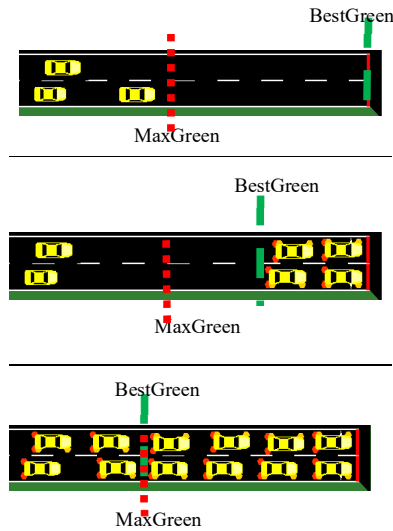
در هر الگوریتم زمانبندی چراغ راهنمایی، برنامه باید طوری زمانبندی شود که همه جریان‌های تقاطع که برای عبور با یکدیگر رقابت می‌کنند بتوانند از تقاطع به طور عادلانه و ایمن عبور کنند. در هر فاز، جریان‌های ترافیکی بدون تراکم همزمان از تقاطع عبور می‌کنند. توالی فازها به صورت دوره ای یک چرخه را تشکیل می‌دهد. یک چرخه شامل چندین فاز متوالی است. فازهای هر چرخه به صورت پویا تنظیم شده و تعداد و توالی فازها و نیز زمانبندی‌شان از یک چرخه به دیگری می‌تواند متفاوت باشد. الگوریتم ارائه شده به زمانبندی فاز بعدی یک چرخه، پس از اتمام فاز فعلی می‌پردازد.

الگوریتمی که در [۸]، پیشنهاد شده است به برنامه ریزی یک چرخه در خاتمه چرخه پیشین می‌پردازد، یعنی یک چرخه زمانبندی محاسبه شده و به چراغ راهنمایی داده می‌شود و تا پایان سپری شدن آن چرخه، محاسبه و تغییری در زمانبندی و اولویت‌ها صورت نمی‌گیرد. اما تراکم ترافیک خطوط به صورت لحظه‌ای تغییر کرده و تا پایان یافتن یک فاز که بخشی از یک چرخه است، ممکن است به سرعت تفاوت کند و در نظر گرفتن این تغییرات می‌تواند در زمانبندی و اولویت‌دهی خطوط مؤثر باشد. در این پژوهش برنامه زمانبندی فاز به فاز محاسبه و به چراغ راهنمایی عرضه شده است.

سناریوی الگوریتم یک چهارراه معمولی است. شکل ۱ جریان‌ها و جدول ۲ تمامی جفت جریان‌های ممکن را نشان می‌دهد که می‌توانند همزمان از تقاطع عبور کنند. برای زمانبندی جریان‌ها، چهار مورد از هشت فاز در هر چرخه چراغ راهنمایی و رانندگی انتخاب می‌شوند. در هر تقاطع، چندین جریان با هم درگیر هستند و چراغ راهنمایی برای اطمینان از زمانبندی کارا و ایمن خودروها در نظر گرفته شده است [۸]. هر خودرو در این تقاطع سه انتخاب دارد: مستقیم، چرخش به راست، چرخش به چپ. بنابراین برای چهارراه ۱۲ حرکت مختلف وجود دارد. در نظر می‌گیریم که چرخش به راست همواره باز است و خودروها می‌توانند بدون درگیری با گردش‌های دیگر ترافیکی به سمت راست بپیوندند؛ پس فقط ۸ جریان ترافیکی در تضاد با هم باقی می‌ماند و نیازمند زمانبندی و اولویت‌بندی در چهارراه را دارد [۸]. برای مجزا کردن جریان‌ها در تقاطع به هر یک از آن‌ها عددی نسبت داده شده است. به جریان‌های مستقیم عددی زوج و به گردش به چپ‌ها عددی فرد تخصیص یافته است. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ - چهارراه و جریان‌های ترافیکی



شکل ۲ - تعیین بهترین زمان سبز بودن چراغ راهنمایی و رانندگی

#### ۴. روش پیشنهادی

ابتدا یک الگوریتم پویای زمانبندی چراغهای راهنمایی و رانندگی که فازهای هر چرخه را تنظیم می‌کند مطرح شده، سپس این الگوریتم با در نظر گرفتن خودروهای اورژانسی و افزایش اولویت در زمانبندی فازها برای خطوط حاوی خودروهای خاص، پیشرفته‌تر شده است. در نهایت قابلیت الگوریتم با تمرکز بر چندین نوع خودروی اورژانسی و اولویت‌دهی آنها توسعه یافته است. مشروح بخش‌های فوق به ترتیب در ادامه آورده شده است.

#### ۴.۱. الگوریتم پویای زمانبندی چراغ راهنمایی و رانندگی

الگوریتم ۱ زمانبندی چراغ راهنمایی را نشان می‌دهد. اولین گام تنظیم مقدار MaxGreen به عنوان یک پارامتر ثابت است که در خط اول الگوریتم صورت گرفته است. همان طور که گفته شد، هر چهار فاز یک چرخه را تشکیل می‌دهد. هر فاز باید به دو جریان بدون تضاد اجازه عبور در زمان BestGreen را بدهد. به ازای هر فاز ابتدا مقدارهای  $D_{Green}$  و مجموع تراکم (TD) برای تمامی جریان‌ها محاسبه می‌شود. تابع UnConflicted با توجه به اعداد فرض شده برای جریان‌ها که در شکل ۱ نیز نشان داده شده است، جریان‌های ترافیکی قابل همزمانی را مشخص می‌کند که در جدول ۲ به نمایش درآمده‌اند. همان طور که در الگوریتم ۲ نشان داده شده با توجه به رابطه بین اعداد تخصیص یافته به جریان‌ها، برای هر یک از آن‌ها دو جریان همزمان تعریف می‌شود، که می‌توانند بدون هیچ تداخلی به صورت همزمان از تقاطع عبور کنند.

پس از پایان مقداردهی‌های اولیه که در خطوط ۲ تا ۷ الگوریتم ۱ برای کلیه جریان‌ها صورت می‌گیرد، مرحله بعد در خط ۸ الگوریتم، یافتن جریان ترافیکی با بیش‌ترین تراکم بین همه جریان‌هاست که هنوز زمانبندی نشده باشد. سپس با توجه به اینکه تراکم ترافیکی درون ناحیه  $D_{Green}$  با متغیر  $TD_{max}$  نشان داده شده است، طبق خطوط ۹ و ۱۰ الگوریتم،  $TD_{max}$  برای دو جریان قابل همزمانی با جریان یافته شده در خط ۸، محاسبه می‌شود. در خط ۱۱ شرطی تعریف شده که بین مقادیر  $TD_{max}$  متعلق به دو جریان قابل جفت شدن، مقدار حداکثر را بیابد. در نهایت دو جریان منتخب یعنی جریان اصلی و جریان سازگاری که  $TD_{max}$  بالاتری دارد، به تابع Schedule ارسال می‌شوند. در تابع Schedule که در الگوریتم ۳ نشان داده شده است، زمان BestGreen برای جفت جریان‌ها بررسی شده و طولانی‌ترین زمان بین آن دو، برای هر دو تنظیم می‌شود و در نهایت هر دو مارک زمانبندی شده (scheduled) می‌خورند.

1: set MaxGreen value;

2: until phases = 4

3: for  $i = \text{all flows}$

4: compute  $D_{green}(i)$ ;

جدول ۲- جفت جریانهای قابل همزمانی

فازهای ۱ و ۵	فازهای ۱ و ۶	فازهای ۲ و ۵	فازهای ۲ و ۶
فازهای ۳ و ۷	فازهای ۳ و ۸	فازهای ۴ و ۷	فازهای ۴ و ۸

به هر فاز زمانی متغیر بین صفر و ثابت MaxGreen اختصاص می‌یابد. مدت زمان صفر برای جریان‌های خالی و حداکثر مقدار برای جریان‌های بسیار متراکم است. در واقع مقدار MaxGreen به عنوان پارامتری ثابت برای تضمین اشتراک عادلانه زمان در بین تمام جریان‌های ترافیکی در حال رقابت در نظر گرفته شده است. فرض بر این است که تمام جریان‌های ترافیکی داخل تقاطع، شریان‌های اصلی هستند.

دورترین مسافتی که خودروها می‌توانند در زمان MaxGreen طی کنند با متغیر  $D_{Green}$  تعریف می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان آن را ناحیه قابل طی شدن در زمان MaxGreen دانست. طول این مسافت با رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$D_{Green} = MaxGreen \times T_{Speed} \quad (1)$$

که  $T_{Speed}$  میانگین سرعت جریان ترافیک است .

در شرایطی که ترافیک بسیار متراکم است در کل مدت MaxGreen خودروها در حال عبور از تقاطع هستند و در شرایطی که ترافیک خط تقریباً تهی است خودروها به مدت کمتری از زمان MaxGreen برای عبور از تقاطع نیاز دارند. بهترین مدت سبز بودن چراغ راهنمایی در متغیر BestGreen برای کاهش زمان تلف شده محاسبه می‌شود. زمان BestGreen برای هر فاز طبق توزیع ترافیک در خط مربوطه انتخاب می‌شود. این زمان از حد آستانه بین صفر و MaxGreen برخوردار است طبق رابطه ۲.

$$0 \leq BestGreen \leq Maxgreen \quad (2)$$

شکل ۲، طول BestGreen را در سه حالت حداقل، حداکثر و متوسط زمان نشان داده است.

به عبارتی زمان BestGreen، مدت زمان مورد نیاز برای عبور آخرین خودروی درون محدوده  $D_{Green}$  تعریف می‌شود؛ که آن را می‌توان با استفاده از محل آخرین خودرو در جریان ترافیک و سرعت ترافیک خط محاسبه نمود.

رابطه ۳ نحوه محاسبه BestGreen برای خطوط ترافیکی را نشان می‌دهد.

$$BestGreen = \frac{LV_{Distance}}{T_{Speed}} \quad (3)$$

که  $LV_{Distance}$  فاصله آخرین خودرو از تقاطع در محدوده  $D_{Green}$  (مسافتی که قابل طی شدن در زمان MaxGreen است) را نشان می‌دهد و  $T_{Speed}$  نیز میانگین سرعت جریان ترافیک است. از تقسیم این دو مقدار، فاصله زمانی لازم برای عبور آخرین خودروی محدوده به دست می‌آید.

در انتهای هر فاز وجود خودروی اورژانسی در خطوط ترافیکی بررسی می‌شود. در صورت وجود خودروی اورژانسی ضمن کسب گزارشات اولیه، طبق الگوریتم ۴ تمهیداتی جهت تسریع عبور خودرو صورت می‌گیرد.

```

1: if there exist any emergency vehicle then
2:    $EAT_{EV} = D_{EV} / S_{EV}$ ;
3:    $TF_{EV} =$  The traffic flow that contains the emergency vehicle;
4:   if  $EAT_{EV} < Phase_{time}$  then
5:      $TF_{EV}$  is scheduled to pass the intersection first;
6:   else
7:      $TD_{EV} =$  traffic density of the area between the
emergency vehicle and the intersection;
8:     if  $TD_{EV}$  is high then
9:       Increase the scheduled time of  $TF_{EV}$ 
10:    end
11:  end
12: end

```

الگوریتم ۴ – الگوریتم زمانبندی تقویت شده با در نظر گرفتن وجود خودروهای اورژانسی

در خط اول الگوریتم، وجود خودروی اورژانسی بررسی شده و در صورت وجود، ابتدا تخمین زمان رسیدن خودرو به تقاطع و شماره خط حاوی خودرو در متغیرها ذخیره می‌شود مطابق با خطوط ۲ و ۳ الگوریتم. سپس در صورتی که زمان تخمینی رسیدن خودرو کمتر از زمان فاز جاری باشد خودروی اورژانسی نزدیک به حساب می‌آید و لازم است تا اولویت عبور با خط حاوی خودروی اورژانسی باشد، که در خطوط ۴ و ۵ نشان داده شده است. اما در غیر اینصورت خودروی اورژانسی دور به حساب آمده و در خط ۷ الگوریتم تراکم ترافیک ناحیه بین خودروی اورژانسی و تقاطع محاسبه می‌شود. اگر این تراکم زیاد باشد علاوه بر اینکه اولویت عبور با خط حاوی خودروی اورژانسی است، زمان سبز بودن نیز گسترش پیدا کرده و برابر با زمان تخمینی رسیدن خودروی اورژانسی به تقاطع خواهد شد. به عبارتی این زمان به قدری طولانی خواهد شد که خط خلوت شده و خودروی اورژانسی به سرعت بتواند از خط عبور کند. سنگین بودن ترافیک جلوی خودروی اورژانسی طبق رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$TD_{EV} > = (\frac{D_{EV}}{Size_{avg} + Gap_{avg}}) / 2 \quad (5)$$

که در آن  $D_{EV}$  فاصله بین خودروی اورژانسی و تقاطع،  $Size_{avg}$  میانگین اندازه خودروهای لاین،  $Gap_{avg}$  میانگین فاصله بین خودروهای لاین است. در صورتی که تراکم ترافیک ناحیه بین خودروی اورژانسی و تقاطع از مقدار محاسبه شده بیش تر باشد، تراکم ترافیک سنگین است.

در صورت دور بودن خودروی اضطراری و خلوت بودن جریان جلوی خودرو، شرایط عبور سریع خودروی خاص وجود دارد و نیازمند اولویت دهی نمی‌باشد. در صورتی که هیچکدام از شرطهای الگوریتم برقرار نباشد زمانبندی الگوریتم طبق الگوریتم ۱ ادامه می‌یابد. به عبارتی، ماژول اولیه الگوریتم ۱ است که در صورت وجود خودروی اورژانسی، به جای خط هشتم آن، الگوریتم ۴ اجرا خواهد شد؛ اگر شرطی برقرار باشد الگوریتم ۱ ادامه نخواهد یافت، در غیر اینصورت الگوریتم ۱ از خط هشتم ادامه خواهد یافت. در نهایت روند به صورت الگوریتم ۵ است.

```

1: Do Algorithm1 to end of line7
2: if there is any emergency vehicle
3:   Do Algorithm4
4: else if there isn't any emergency vehicle or if none of Algorithm4
conditions are true
5:   continue Algorithm1

```

الگوریتم ۵ – تابع اولیه

#### ۴.۳. در نظر گرفتن چندین خودروی اورژانسی

در رخ دادن یک حادثه، ممکن است چندین خودروی اورژانسی به محل اعزام شوند؛ مثلا همزمان آتش نشانی و آمبولانس. همچنین ممکن است دو یا چند خودروی هم‌نوع نیز همزمان به سمت مقصد برانند؛ مثلا دو یا چند آمبولانس. اولویت‌دهی به خودروهای

```

5:   UnConflicted(i);
6:   compute TD(i);
7: end
8: j = (find the flow with highest TD value and it is not scheduled);
9:  $TD_{max}[1] = TD_{max}$  value of the first synchronous flow with j and it
is not scheduled;
10:  $TD_{max}[2] = TD_{max}$  value of the second synchronous flow with j and
is not scheduled;
11: if  $TD_{max}[1] > TD_{max}[2]$  then
12:   Schedule(j,flow1);
13: else
14:   Schedule(j,flow2);
15: end
16: end

```

الگوریتم ۱ – زمانبندی چراغ راهنمایی و رانندگی

```

1: if i <= 4 then
2:   if i mod 2 == 0 then
3:     unCon1(i) = i+3;
4:     unCon2(i) = i+4;
5:   else
6:     unCon1(i) = i+4;
7:     unCon2(i) = i+5;
8:   end
9: else
10:  if i mod 2 == 0 then
11:    unCon1(i) = i-4;
12:    unCon2(i) = i-5;
13:  else
14:    unCon1(i) = i-3;
15:    unCon2(i) = i-4;
16:  end
17: end

```

الگوریتم ۲ – تابع تعیین جریانهای بدون تراکم

```

1: if flow1.BestGreen > flow2.BestGreen then
2:   <flow1,flow2>.BestGreen = flow1.BestGreen;
3: else
4:   <flow1,flow2>.BestGreen = flow2.BestGreen;
5: end
6: <flow1,flow2>.scheduled = true;

```

الگوریتم ۳ – تابع Schedule

با سپری کردن مراحل فوق، یک فاز محاسبه شده و این برنامه به چراغ راهنمایی ارسال می‌شود. تکرار این فرآیند تا تکمیل یک چرخه و زمانی که همه جریان‌ها به شکل زمانبندی شده درآیند ادامه می‌یابد.

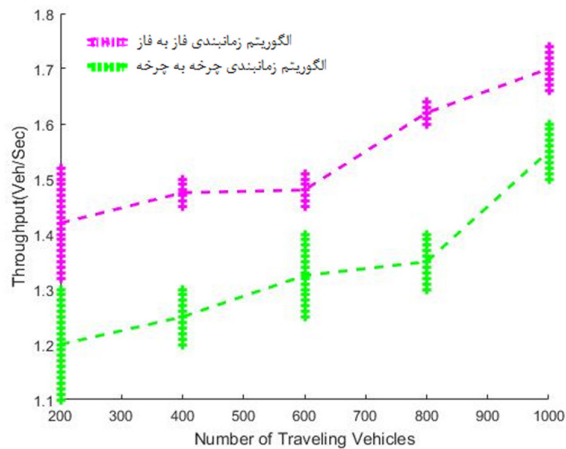
در پایان مجدداً جریان‌ها مارک زمانبندی نشده می‌خورند و فازبندی چرخه جدیدی آغاز خواهد شد. در حالتی که دو جریان ترافیک یک فاز، خودرویی برای عبور از ترافیک نداشته باشند یا به عبارتی متغیر BestGreen هر دو صفر باشد، از آن فاز صرف‌نظر خواهد شد.

#### ۴.۲. الگوریتم زمانبندی توسعه یافته با در نظر گرفتن خودروهای اورژانسی

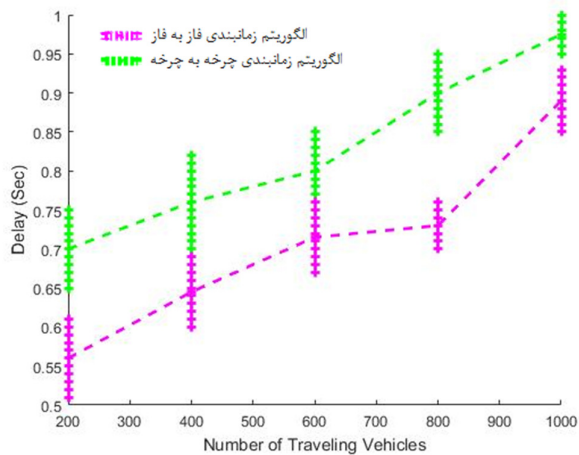
این بخش به تقویت الگوریتم زمانبندی شده قبلی برای در نظر گرفتن وجود خودروهای اضطراری در جریان های ترافیکی می‌پردازد. با ظاهر شدن خودروی اورژانسی در یک خط، اطلاعاتی شامل نوع و تراکم در خط فعلی بررسی می‌شود. سپس متغیرهای دیگری نیز محاسبه و تخمین زده می‌شود.

برای پیش بینی زمان رسیدن خودروی اورژانسی به تقاطع از فرمول ۴ استفاده می‌شود. به عبارتی زمان تخمینی رسیدن (Estimated Arrival Time) برابر است با تقسیم فاصله بین خودروی اورژانسی و تقاطع ( $D_{EV}$ ) بر سرعت خودروی اورژانسی ( $S_{EV}$ ).

$$EAT_{EV} = D_{EV} \div S_{EV} \quad (4)$$

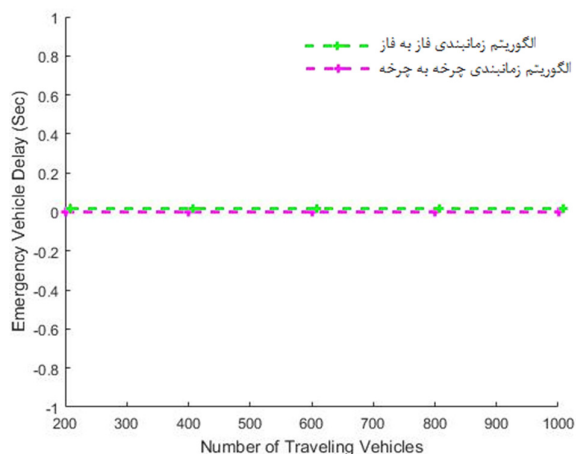


نمودار ۱- میزان گذردهی در تعداد متنوعی از خودروها



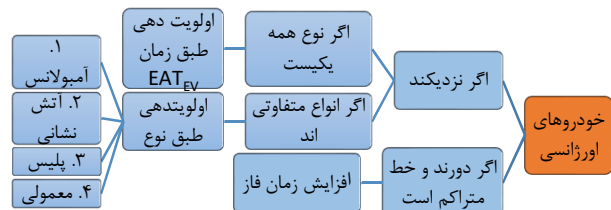
نمودار ۲- میانگین تأخیر در تعداد متفاوتی از خودروها

تأخیر خودروی اورژانسی شبیه‌سازی شده در نزدیکی تقاطع در بین تمامی تعداد خودروها در سناریوهای فوق برابر با صفر است و این عدد در هر دو الگوریتم زمانبندی فاز به فاز و چرخه به چرخه یکسان می‌باشد که در نمودار ۳ نشان داده شده است.



نمودار ۳- تأخیر عبور خودروی اورژانسی با تعداد متنوعی خودروی معمولی

اضطراری طبق این معیارها صورت می‌گیرد: نوع خودروی اورژانسی، فاصله تا تقاطع، تراکم ترافیک ناحیه بین خودروی اورژانسی و تقاطع. در این میان، سه نوع خودروی اورژانسی در نظر گرفته شده‌اند که به ترتیب اولویت عبارتند از: آمبولانس، آتش نشانی، پلیس. یعنی آمبولانس اولویت بالاتری نسبت به آتش نشانی و آتش نشانی نسبت به پلیس و پلیس نسبت به سایر خودروها دارد. شرط‌ها برای اولویت دهی به خودروهای اورژانسی طبق شکل ۳ صورت می‌پذیرد. اگر خودروها نزدیک باشند و از یک نوع خاص، اولویت‌دهی به آن‌ها طبق زمان تخمینی رسیدن به تقاطع یا متغیر  $EAT_{EV}$  صورت می‌گیرد. به بیان بهتر، جریان حاوی خودرویی که زودتر به تقاطع می‌رسد اولویت بالاتری برای عبور و گرفتن فاز سبز را دارد. اگر تنوعی بین خودروها وجود داشته باشد، اولویت‌دهی طبق مراتب ذکر شده صورت می‌پذیرد، به ترتیب آمبولانس، آتش نشانی، پلیس و خودروهای معمولی. اما در صورتی که خودروی اورژانسی دور و خط حاوی خودروی خاص، شلوغ باشد، فرآیند گسترش زمان فاز برای خلوت کردن و عبور خودروی مذکور انجام می‌شود. در تمامی مراحل نیز اولویت با خودروهای نزدیک است.



شکل ۳- اولویت دهی به عبور خودروهای اورژانسی

## ۵. شبیه سازی

برای شبیه سازی از نرم افزار Matlab و SUMO [۹]، استفاده شده است. SUMO یک شبیه‌ساز متن باز میکروسکوپی ترافیک است و TraCI یک مازول ساخته شده همراه SUMO است که اجازه تعامل با شبیه ساز به صورت بلادرنگ از طریق پروتکل TCP/IP را می‌دهد و به کمک آن می‌توان دستورات کنترلی رفتار شبیه ساز مانند چراغ راهنمایی را پیاده‌سازی کرد. TraCI4Matlab [۱۰] یک API توسعه یافته نرم افزار Matlab است که اجازه برقراری ارتباط بین Matlab و SUMO را با کمک TraCI فراهم می‌کند. از SUMO برای تولید سناریوهای حرکتی و Matlab برای پیاده‌سازی الگوریتم و زمانبندی‌ها استفاده شده است. در SUMO یک تقاطع با ۴ ورودی و ۴ خروجی در یک ناحیه ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر مربع و چراغ راهنمایی و رانندگی برای کنترل جریان‌ها شبیه‌سازی شده است. به علت تمرکز بر الگوریتم زمانبندی از سخت افزار مورد استفاده چشم‌پوشی شده و در نظر گرفته شده است که اطلاعات خودروها و خطوط جریان‌ها به طریقی کسب شده و در اختیار چراغ راهنمایی برای زمانبندی و اولویت‌دهی قرار داده می‌شود.

نمودار ۱، میزان گذردهی الگوریتم با تعداد متفاوتی از خودروها را نشان می‌دهد. تعداد ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ خودرو به صورت تصادفی در شبیه ساز تولید شده و میزان گذردهی در شرایطی که تنها یک خودروی اورژانسی در نزدیکی تقاطع قرار دارد محاسبه و نمایش داده شده است. به علت تصادفی بودن، آزمایشات تکرار و سپس رسم شده است. برای اندازه‌گیری گذردهی یا به عبارتی شمارش تعداد خودروهایی که در ثانیه از تقاطع عبور می‌کنند از حلقه‌های القایی در شبیه ساز SUMO استفاده شده است. چنان‌که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود الگوریتم ارائه شده با زمانبندی فاز به فاز، گذردهی بالاتری نسبت به الگوریتم زمانبندی چرخه به چرخه [۸]، دارد. میزان بهبود گذردهی در تعداد مختلف خودروها تقریباً برابر با ۲۰٪ است. بدیهی است که میزان گذردهی با افزایش تعداد خودروها افزایش می‌یابد، زیرا با افزایش تعداد خودروها تراکم بیش‌تری در ناحیه شکل خواهد گرفت. روند صعودی گذردهی در دو روش به همین علت است.

نمودار ۲، اندازه‌گیری میانگین تأخیر وسایل نقلیه در سناریوی بالا را نمایش می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در تمامی تعداد خودروها میانگین تأخیر در الگوریتم زمانبندی فاز به فاز حدود ۱۳٪ کاهش یافته است. روند هر دو صعودی است؛ زیرا روشن است که با افزایش تعداد خودروها در ناحیه، تراکم افزایش یافته و ازدحام بیش‌تر، سبب افزایش میانگین تأخیر خودروهاست.

## ۶. نتیجه گیری

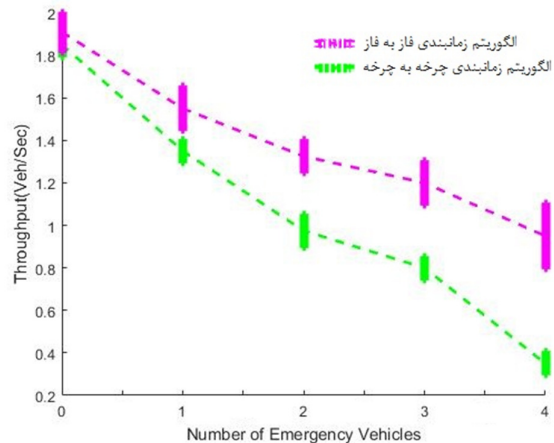
در این مقاله الگوریتمی برای زمانبندی و اولویت‌دهی پویای چراغ راهنمایی و رانندگی معرفی شده که علاوه بر در نظر گرفتن خودروهای معمولی به بررسی و بهینه‌سازی شرایطی که یک یا چند خودروی اورژانسی به سمت تقاطع در حرکتند می‌پردازد. به علت تغییرات مداوم و سریع ترافیک خطوط، الگوریتم پیشنهادی پس از سپری شدن هر فاز به بررسی و کنترل خطاها و ارائه بهینه‌ترین فاز بعدی می‌پردازد و با این روند یک چرخه را تکمیل می‌کند. با پدیدار شدن یک خودروی اورژانسی، الگوریتم اولویت را به خط حاوی خودروی اورژانسی داده و سعی می‌شود تا با کمترین تأثیر و تداخل در روند ترافیک عمومی به تسریع عبور خودروی اضطراری بپردازد. نمودارها حاکی از نتایج کارا در افزایش گذردهی و کاهش تأخیرها است.

به عنوان کارهای آتی می‌توان به افزایش مسیرها و پیاده کردن شبکه‌ای از جاده‌ها به جای بررسی تنها یک تقاطع پرداخت؛ و بدین ترتیب در کنار مسئله زمانبندی چراغ راهنمایی و رانندگی، مسئله مسیریابی خودروهای اورژانسی برای افزایش سرعت رسیدن به مقصد و کاهش تأخیر در خدمات اضطراری را نیز بررسی نمود. جهت نزدیک کردن کارکرد الگوریتم به دنیای واقعی پیشنهاد شبیه‌سازی آن برای بخشی از نقشه شهرها و بزرگراه‌ها و نیز وارد کردن سایر اقلام دنیای واقعی مانند عابران پیاده، دوچرخه‌ها، موتور سیکلت‌ها و غیره و بررسی تأثیرات آن‌ها نیز می‌تواند سودمند باشد.

## مراجع:

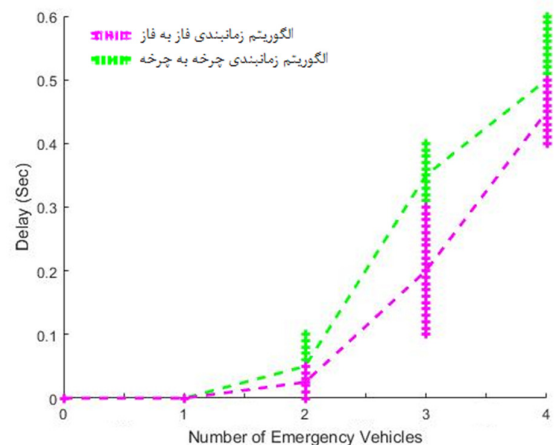
1. Björck, E. and F. Omstedt, *A comparison of algorithms used in traffic control systems*. 2018.
2. Pandit, K., et al., *Adaptive traffic signal control with vehicular ad hoc networks*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013. **62**(4): p. 1459-1471.
3. Younes, M.B. and A. Boukerche. *An intelligent traffic light scheduling algorithm through VANETs*. in *39th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks Workshops*. 2014. IEEE.
4. Zhao, B., C. Zhang, and L. Zhang. *Real-time traffic light scheduling algorithm based on genetic algorithm and machine learning*. in *International Conference on Internet of Vehicles*. 2015. Springer.
5. Jovanović, A., M. Nikolić, and D. Teodorović, *Area-wide urban traffic control: A Bee Colony Optimization approach*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2017. **77**: p. 329-350.
6. Gao, K., et al., *Jaya, harmony search and water cycle algorithms for solving large-scale real-life urban traffic light scheduling problem*. Swarm and evolutionary computation, 2017. **37**: p. 58-72.
7. Yousef, K.M.A., A. Shatnawi, and M. Latayfeh, *Intelligent traffic light scheduling technique using calendar-based history information*. Future Generation Computer Systems, 2019. **91**: p. 124-135.
8. Younes, M.B. and A. Boukerche, *An efficient dynamic traffic light scheduling algorithm considering emergency vehicles for intelligent transportation systems*. Wireless Networks, 2018. **24**(7): p. 2451-2463.
9. Behrisch, M., et al. *SUMO-simulation of urban mobility: an overview*. in *Proceedings of SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation*. 2011. ThinkMind.
10. Gil, A., *TraCI4Matlab: User's Manual*. Universidad Nacional De Colombia, 2014.

نمودار ۴، میانگین گذردهی خودروها در حالتی که ۶۰۰ خودرو به صورت تصادفی تولید شده و صفر تا ۴ خودروی اورژانسی با نوع و مسیر تصادفی تولید و در شبیه‌سازی قرار گرفته، اندازه‌گیری شده است. نظر به اینکه بیش از چهار خودروی اورژانسی در دنیای واقعی امری معدود و نایاب است بیش از این تعداد آزمایش نشده است. میزان گذردهی در هر دو مدل با افزایش تعداد خودروهای اضطراری کاهش یافته است. زیرا بیش‌تر شدن تعداد خودروهای اورژانسی در خطوط موجب توقف بیش‌تر سایر خودروها برای اولویت دادن به عبور خودروهای اورژانسی و ایجاد شرایط ترافیکی نامنظم و استثنایی است. همانطور که نمودار نشان می‌دهد میانگین گذردهی الگوریتم زمانبندی فاز به فاز، بین ۱۰٪ تا ۶۰٪ نسبت به زمانبندی چرخه به چرخه افزایش داشته است و طبق نمودار با افزایش تعداد خودروهای اضطراری در خطوط، تمایز این دو روش آشکارتر گردیده است.



نمودار ۴- میانگین گذردهی با تعداد مختلفی از خودروهای اورژانسی

نمودار ۵، میانگین تأخیر خودروهای اورژانسی در سناریوهای بالا را نشان می‌دهد. روند هر دو الگوریتم صعودی بوده و با افزایش تعداد خودروهای اورژانسی و به وجود آمدن شرایط استثنایی، میانگین تأخیر برای خودروهای اورژانسی رو به افزایش است. طبق آنچه در نمودار مشاهده می‌شود، میانگین تأخیر خودروهای اورژانسی تا قبل از تعداد ۲ خودروی اورژانسی، برابر با صفر بوده و پس از آن، از صفر فاصله گرفته و مقادیر بالاتری در نمودار شامل می‌شود. این مقدار برای الگوریتم زمانبندی فاز به فاز بین ۱۰٪ تا ۳۰٪ پایین‌تر از الگوریتم زمانبندی چرخه به چرخه است.



نمودار ۵- میانگین تأخیر خودروهای اورژانسی با تعداد یک تا چهار خودروی اورژانسی