



زمانبندی پویای چراغ راهنمایی و رانندگی با تمرکز بر وجود خودروهای اورژانسی

رقیه آقامحمدی¹، محبوبه شمس²، عبدالرضا رسولی کناری³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد نرمافزار دانشگاه صنعتی قم (Aghamohammadi.r@qut.ac.ir) Email:

2- استادیار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی قم (Shamsi@qut.ac.ir) Email:

3- استادیار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی قم (Rasouli@qut.ac.ir) Email:

چکیده

چراغهای راهنمایی و رانندگی جهت حفظ امنیت و تسهیل در تردهای جادهای استفاده فراوانی دارند. از آنجا که حرکت و توقف خودروها طبق زمان سبز و قرمز بودن چراغها تعیین میشود، با زمانبندی پویا و متناسب آنها میتوان موجب کاهش تأخیرها و افزایش سرعت در عبور و مرور گشت. در میان وسایل نقلیه، خودروهای اورژانسی اولویت بالاتری دارند و سرعت به مقصد رسیدن آنها مهم و حیاتی است. 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 پیادهسازی شده است. هدف افزایش سرعت و کاهش تأخیر این خودروها با کمترین تأثیر بر ترافیک عمومی است. در پایان، سناریوهایی برای عبور خودروها از چهارراه طراحی و میزان تأخیر و گذردهی اندازهگیری شده است.

نمودارها به مقایسه روش پیشنهادی با روش زمانبندی چرخه به چرخه پرداخته و نشان داده که با وجود یک خودروی اورژانسی میانگین گذردهی تقریباً 20% افزایش و میانگین تأخیر حدود 13% کاهش داشته است و با ورود چند خودروی اورژانسی میانگین گذردهی 10% تا 30% افزایش و میزان تأخیر برای خودروهای اورژانسی بین 10% تا 60% کاهش یافته است. کاهش میزان آلایندهها نیز اندازهگیری و نشان داده شده است.

واژههای کلیدی: چراغ راهنمایی و رانندگی، زمانبندی و اولویتبندی، خودروهای اورژانسی، افزایش سرعت و کاهش تأخیر، کنترل هوشمند ترافیک شهری.

1- مقدمه

یکی از چالشهای جامعه امروز، مدیریت حجم انبوه خودروهایی است که از یک تقاطع عبور میکنند. معمولاً از یک چراغ راهنمایی و رانندگی برای کنترل جریان در چنین تقاطعاتی استفاده میشود [1]. عدم کنترل ازدحام ترافیک، تبعاتی چون آلودگی محیط زیست، هدر رفت منابع انرژی، افت سلامت زندگی و از دست دادن زمان مفید را به دنبال دارد. روشن است که خودروهای اضطراری اولویت و اهمیت ویژهای در میان سایر خودروها جهت حفظ حیات و امنیت شهروندان دارند.



این پژوهش در زمینه سیستمهای حمل و نقل هوشمند (ITS)¹ 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 اولویتدهی و به حداقل رساندن تأخیر این خودروها عرضه میدارد. در نهایت الگوریتمی ارائه شده که به صورت مداوم با اندازهگیری و کنترل جریان خودروها پس از هر بار سپری شدن طول زمان سبز چراغ راهنمایی، جریان و زمان سبز بعدی را تعیین میکند. وضعیت ترافیک خطوط همواره بررسی شده و در صورت پدیدار شدن خودروی اورژانسی به کاهش زمان انتظار خودروهای اضطراری و تعدیل تراکم جریان حاوی خودروی اورژانسی، با هدف کاهش تأخیر و افزایش گزردهی در چهارراه میپردازد.

در ادامه مقاله، ابتدا پژوهشهای پیشین در این زمینه مرور شده و پس از آن مدل و فرضیات مربوطه در بخش بعدی آمده است. سپس روش پیشنهادی شامل الگوریتم زمانبندی، در نظر گرفتن خودروهای اورژانسی و شرایط وجود چندین خودروی اورژانسی مطرح شده است. شبیهسازی و نتایج نیز در پایان آورده شده است.

2- مروری بر کارهای پیشین

در موارد بسیاری از الگوریتمهای فراابتکاری برای حل مسئله زمانبندی استفاده شده است. مثلاً طی تحقیقی، یک الگوریتم زمانبندی چراغ راهنمایی هوشمند بر اساس الگوریتم ژنتیک ادغام شده با الگوریتم رگرسیون خطی به عنوان روش یادگیری ماشین برای کاهش زمان انتظار پیادهسازی شده است. این الگوریتم زمان هر فاز را طبق داده واقعی جریانها زمانبندی میکند، در حالی که فازهای بعدی را توسط یادگیری ماشین تعیین میکند. اما سناریوی مطرح شده در مقاله کوچک و ساده است [2].

یک روش بهینهسازی جدید نیز طبق تکنیک بهینهسازی کلونی زنبور عسل در مطالعاتی 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 راهحلهای 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 [3].

در پژوهشی سه الگوریتم فراابتکاری 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 ایجاد و سپس برخی استراتژیهای بهبود برای سرعت بخشیدن به همگرایی بهینهسازها معرفی شده است. پس از آن از یک عملگر جستجوی مبنی بر ویژگی، برای بهبود عملکرد جستجوها 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 [4].

در برخی پژوهشها، اطلاعات جمعآوری شده پیشین و تکنیک پیشینی، جهت زمانبندی به کار برده شده است. در تحقیقاتی، 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 جستهند. به عبارتی از اطلاعات سابق ترافیک برای محاسبه زمان سبز/قرمز بودن راهها در

1 Intelligent Transportation Systems

یک تقاطع استفاده شده است. میانگین تأخیر و میانگین طول صف در آزمایشات مقایسه شده و نتایج خوبی حاصل گشته است. نیازمندی به اطلاعات حداقل یک سال پیش، از محدودیتهای این روش است [5].

در پژوهشی، یک الگوریتم 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 گذردهی 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 [6].

3- مدل و فرضیات

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 دورهای، 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.

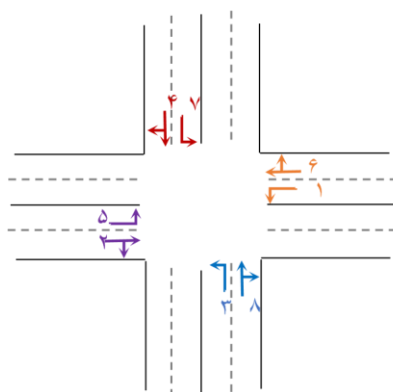
الگوریتمی که در [6]، پیشنهاد شده است به برنامه ریزی یک چرخه در خاتمه چرخه پیشین میپردازد، یعنی یک چرخه زمانبندی محاسبه شده و به چراغ راهنمایی داده میشود و تا پایان سپری شدن آن چرخه، محاسبه و تغییری در زمانبندی و اولویتهای صورت نمیگیرد. اما تراکم ترافیک خطوط به صورت لحظهای تغییر کرده و تا پایان یافتن یک فاز که بخشی از یک چرخه است، ممکن است ازدحام خطوط به سرعت تفاوت کند و در نظر گرفتن این تغییرات میتواند در زمانبندی و اولویتهای 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 1 جریانها و جدول 1 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 [6].

هر خودرو در این تقاطع سه انتخاب دارد: مستقیم، چرخش به راست، چرخش به چپ. بنابراین برای چهارراه 12 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 8 جریان ترافیکی در تضاد با هم باقی میماند و نیازمند زمانبندی و اولویتهای در چهارراه را دارد [6].

برای مجزا کردن جریانها در تقاطع به هر یک از آن ها عددی نسبت داده شده است. به جریانهای مستقیم عددی زوج و به گردش به چپ عددی فرد تخصیص یافته است. همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است.

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.



شکل ۱ - چهارراه و جریانهای ترافیکی

جدول ۱- جفت جریانهای قابل همزمان

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

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 1 محاسبه میشود که T_{Speed} میانگین سرعت جریان ترافیک است.

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

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 $MaxGreen$ طبق رابطه 2 برخوردار است.

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

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 3 نحوه محاسبه $BestGreen$ برای خطوط ترافیکی را نشان میدهد. 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.

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

4- روش پیشنهادی

4-1- الگوریتم پویای زمانبندی چراغ راهنمایی و رانندگی

الگوریتم 1 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. همانطور 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 مقادیرهای D_{Green} و مجموع تراکم TD (برای تمامی جریانها محاسبه میشود. تابع $UnConflicted$ با توجه به اعداد فرض شده برای جریانها که در شکل 1 نیز نشان داده شده است، جریانهای ترافیکی قابل همزمانی را مشخص میکند که در جدول 1 به نمایش درآمدهاند. همانطور که در الگوریتم 2 نشان داده شده با توجه به رابطه بین اعداد تخصیص یافته به جریانها، برای هر یک از آنها دو جریان همزمان تعریف می شود، که میتوانند بدون هیچ تداخلی به صورت همزمان از تقاطع عبور کنند.

پس از پایان مقداردهیهای اولیه که در خطوط 2 تا 7 الگوریتم 1 برای کلیه جریانها صورت میگیرد، مرحله بعد در خط 8 الگوریتم، یافتن جریان ترافیکی با بیشترین تراکم بین همه جریانهاست که هنوز زمانبندی نشده باشد. سپس با توجه به این که تراکم ترافیکی درون ناحیه D_{Green} با متغیر TD_{max} نشان داده شده است، طبق خطوط 9 و 10 الگوریتم، TD_{max} برای دو جریان قابل همزمانی با جریان یافته شده در خط 8، محاسبه میشود. در خط 11 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 3 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 = all flows
4:     compute  $D_{green}(i)$ ;
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;
01:   $TD_{max}[2]$  =  $TD_{max}$  value of the second synchronous flow with j and is not scheduled;
11:  if  $TD_{max}[1] > TD_{max}[2]$  then
21:     $Schedule(j, flow1)$ ;
31:  else

```



دانشگاه آیت الله العظمی بروجردی (ره)



دومین همایش ملی
پژوهش های نوین در مهندسی و علوم کاربردی

Second National Conference on Advanced Research in Engineering and Applied Sciences
The University of Ayatollah Ozma Boroujerdi, Boroujerd, Iran

```
:41      Schedule(j,flow2);
:51      end
:61 end
```

الگوریتم 1 – 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
:01      if i mod 2 ==0 then
:11          unCon1(i) = i-4;
```

```
:21          unCon2(i) = i-5;
:31      else
:41          unCon1(i) = i-3;
:51          unCon2(i) = i-4;
:61      end
:71 end
```

الگوریتم 2 – تابع تعیین جریانهای بدون تراحم

```
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 3 – 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 مجددا جریانها مارک زمانبندی نشده میخورند و فازبندی 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.

2-4- 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 جریانهای 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 پیشبینی زمان رسیدن خودروی اورژانسی به تقاطع از فرمول 4 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}).

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

در انتهای هر فاز وجود خودروی اورژانسی در خطوط ترافیکی بررسی میشود. در صورت وجود خودروی اورژانسی ضمن کسب گزارشات اولیه، طبق الگوریتم 4 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 4 – الگوریتم زمانبندی تقویت شده با در نظر گرفتن 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 مطابق با خطوط 2 و 3 الگوریتم در متغیرها ذخیره میشود. 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 4 و 5 نشان داده شده است. اما در غیر این صورت خودروی اورژانسی دور به حساب آمده و در خط 7 الگوریتم تراکم ترافیک ناحیه بین خودروی اورژانسی و تقاطع محاسبه میشود. اگر این تراکم زیاد باشد علاوه بر این که 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 5 محاسبه میشود:

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

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 بیشتر 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 اولویتهای نمیباشد. در صورتی که هیچکدام از شرطهای الگوریتم برقرار نباشد زمانبندی الگوریتم طبق الگوریتم 1 ادامه مییابد.

3-4- الگوریتم زمانبندی توسعه یافته با در نظر گرفتن خودروهای اورژانسی

در رخ دادن یک حادثه، ممکن است چندین خودروی اورژانسی به محل اعزام شوند؛ اولویتهای 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، آتشنشانی، پلیس. اگر خودروها نزدیک باشند و از یک نوع خاص، اولویتهای به آن ها 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، اولویتهای طبق مراتب ذکر شده صورت میپذیرد، یعنی به ترتیب آمبولانس، آتشنشانی، 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.

3-5- شبیهسازی

برای شبیهسازی از نرم افزار Matlab و SUMO [7]، استفاده شده است. SUMO یک شبیهساز متن باز میکروسکوپی ترافیک و TraCI یک ماژول ساخته شده همراه SUMO است که اجازه تعامل با شبیهساز به صورت بلادرنگ از طریق پروتکل TCP/IP را میدهد و به کمک آن میتوان دستورات کنترلی رفتار شبیهساز را پیادهسازی کرد. Matlab [8] TraCI یک API توسعه یافته نرمافزار 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 4 ورودی و 4 خروجی در یک ناحیه 1000 در 1000 متر مربع و چراغ راهنمایی و رانندگی برای کنترل جریانها شبیهسازی شده است.

نمودار 1، میزان گذردهی الگوریتم با تعدا متفاوتی از خودروها را نشان میدهد. تعداد 200، 400، 600، 800 و 1000 خودرو به صورت تصادفی در شبیهساز 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 حلقه های القایی در شبیهساز SUMO استفاده شده است.

چنانکه در نمودار مشاهده میشود الگوریتم ارائه شده با زمانبندی فاز به فاز، گذردهی بالاتری نسبت به الگوریتم زمانبندی چرخه به چرخه [6]، دارد. میزان بهبود گذردهی در تعداد مختلف خودروها تقریباً برابر با 20% 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 2، اندازهگیری میانگین تأخیر وسایل نقلیه در سناریوی بالا را نمایش میدهد. در تمامی تعداد خودروها میانگین تأخیر در الگوریتم زمانبندی فاز به فاز حدود 13% کاهش یافته است. روند هر دو صعودی است؛ زیرا بدیهی است که با افزایش تعداد خودروها در ناحیه، تراکم افزایش یافته و ازدحام بیشتر، سبب افزایش میانگین تأخیر خودروهاست.

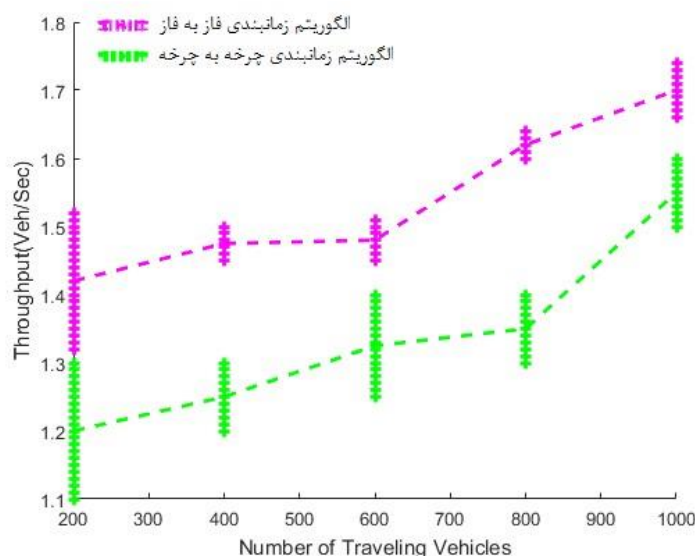


نمودار 3، میانگین گذردهی خودروها در حالتی که 600 خودرو به صورت تصادفی تولید شده و صفر تا 4 خودروی اورژانسی با نوع و مسیر تصادفی تولید و در شبیهسازی قرار گرفته، اندازهگیری شده است. نظر به اینکه بیش از چهار خودروی اورژانسی در دنیای واقعی امری معدود است بیش از این تعداد آزمایش نشده است. میزان گذردهی در هر دو مدل با افزایش تعداد خودروهای اضطراری کاهش یافته است، زیرا بیشتر شدن تعداد خودروهای اورژانسی در خطوط موجب توقف بیش تر سایر خودروها برای اولویت دادن به عبور خودروهای اورژانسی و ایجاد شرایط ترافیکی نامنظم و استثنای است. میانگین گذردهی الگوریتم زمانبندی فاز به فاز، بین 10% تا 60% نسبت به زمانبندی چرخه به چرخه افزایش داشته و طبق نمودار با افزایش تعداد خودروهای اضطراری در خطوط، تمایز این دو روش آشکارتر گردیده است.

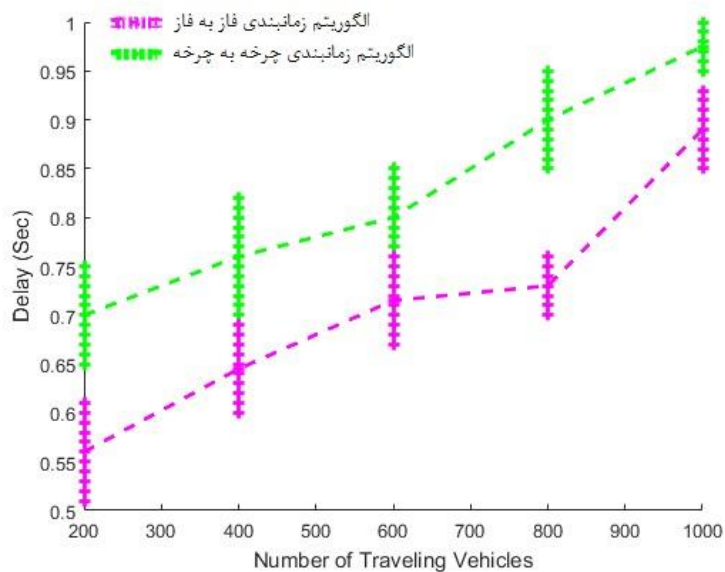
نمودار 4، میانگین تأخیر خودروهای اورژانسی در سناریوهای بالا را نشان میدهد. روند هر دو الگوریتم صعودی بوده و با افزایش تعداد خودروهای اورژانسی و به وجود آمدن شرایط استثنای، میانگین تأخیر برای خودروهای اورژانسی رو به افزایش است. طبق نمودار، میانگین تأخیر خودروهای اورژانسی تا قبل از تعداد 2 خودروی اورژانسی، 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 10% تا 30% پایینتر از الگوریتم زمانبندی چرخه به چرخه است.

جهت اندازهگیری میزان انتشار آلایندهها، نمودار 5 میانگین انتشار کربندیاکسید در واحد گرم بر ثانیه را با تعداد 200 تا 1000 خودرو و نمودار 6 میانگین انتشار کربنمونواکسید (گرم بر ثانیه) را نشان میدهد. که در هر دو نمودار، الگوریتم زمانبندی فاز به فاز آلودگی کمتری داشته است. روشن است که با افزایش تعداد خودروها، میزان آلودگی رو به صعود است.

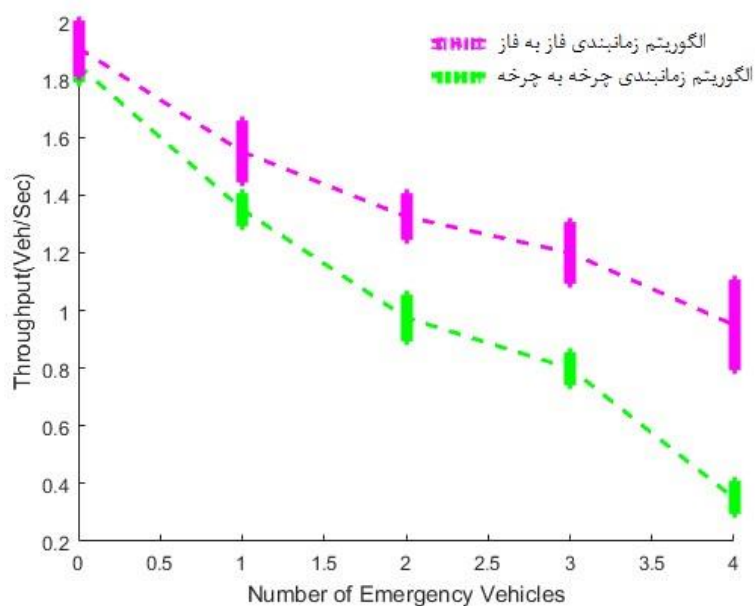
نمودار 7 میانگین مصرف سوخت در واحد میلی لیتر بر ثانیه در همان تعداد خودرو را نشان میدهد. که این میزان در الگوریتم زمانبندی فاز به فاز در کمتر است. روند صعودی نمودار به علت افزایش تعداد خودروهای مشارکتی است.



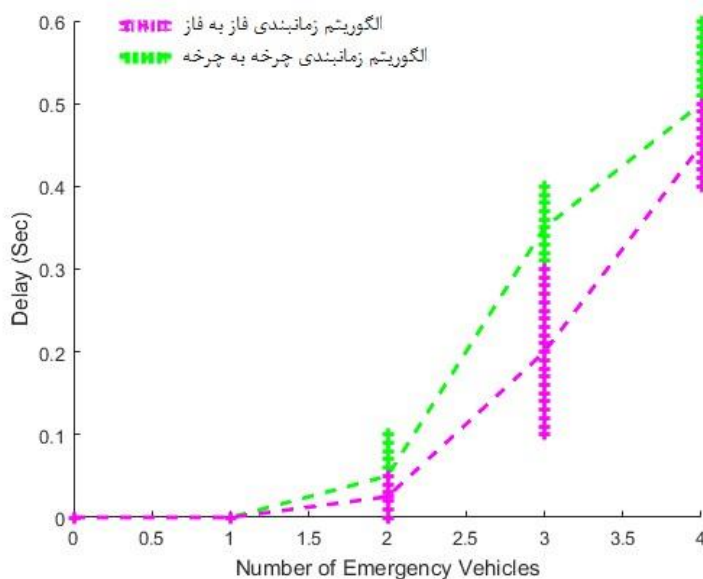
نمودار 1- میانگین گذردهی در تعداد متنوعی از خودروها



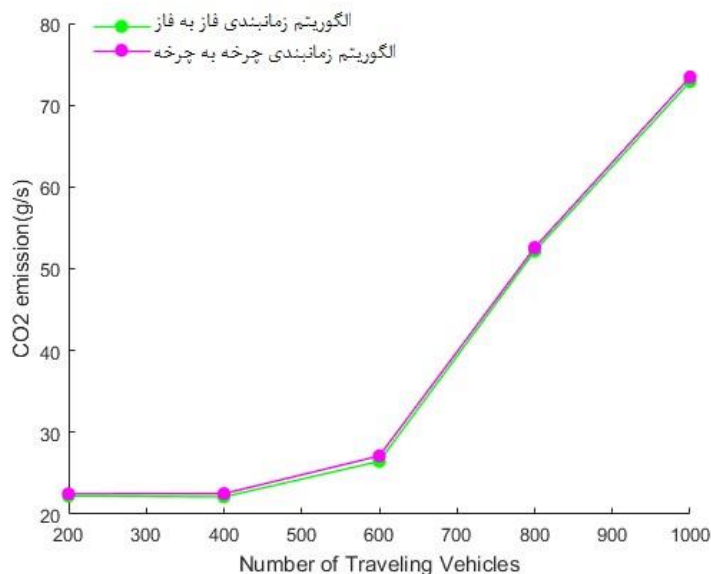
نمودار 2- میانگین تأخیر در تعداد متنوعی از خودروها



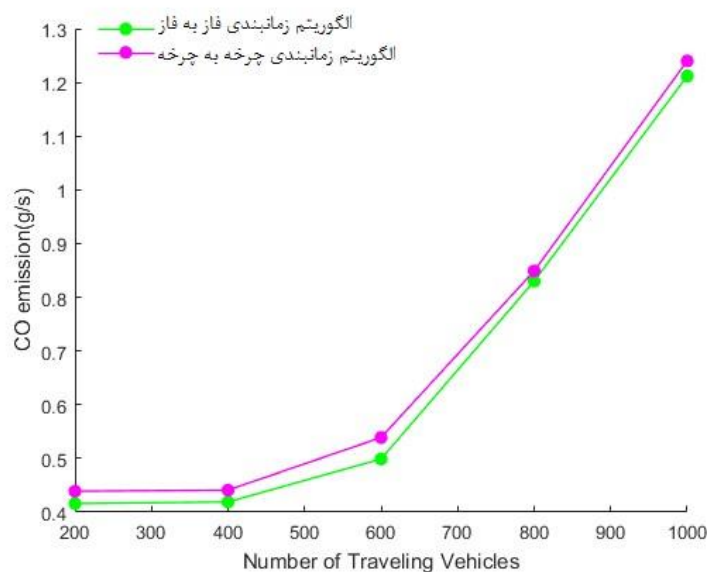
نمودار 3- میانگین گذردهی با تعدادی خودروی اورژانسی



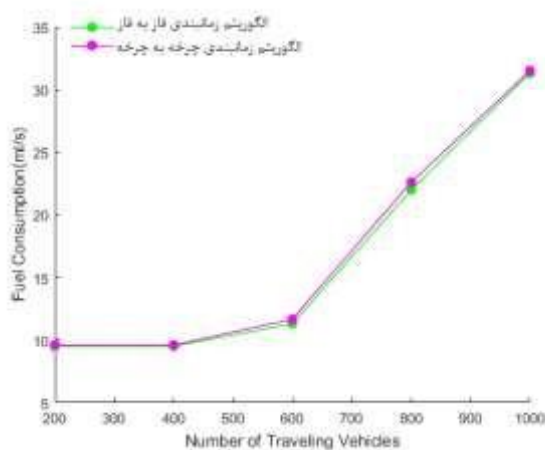
نمودار 4- میانگین تأخیر خودروهای اورژانسی در تعداد مختلف



نمودار 5- میانگین انتشار کربن دی اکسید



نمودار 6- میانگین انتشار کربن مونواکسید



نمودار

7- میانگین مصرف سوخت

6- نتیجه گیری و پیشنهادات 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 خطها 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 تا 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 شبکههای از جادهها به جای بررسی یک تقاطع پرداخت؛ بدین ترتیب در کنار زمانبندی چراغ راهنمایی و رانندگی، مسیریابی خودروهای اورژانسی برای افزایش سرعت رسیدن به مقصد را نیز بررسی نمود.

مراجع

- [1]. Björck, E. and F. Omstedt, *A comparison of algorithms used in traffic control systems*. 2018.
- [2]. 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.
- [3]. 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-.053
- [4]. 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-.27
- [5]. Yousef, K.M.A., A. Shatnawi, and M. Latayfeh, *Intelligent traffic light scheduling technique using calendarbased history information*. *Future Generation Computer Systems*, 2019. **91**: p. 124-.531
- [6]. 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-.3642
- [7]. 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.
- [8]. Gil, A., *TraCI4Matlab: User's Manual*. Universidad Nacional De Colombia, 2014.