

## ساخت مدل طول چرخه بر مبنای داده‌های شبیه‌سازی با الگوریتم هوش

### مصنوعی GP - نقدی بر شبیه‌سازی ترافیکی

مصطفی حیدری (مسئول مکاتبات)، کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه گلستان، گلستان، ایران

**E-mail: heydarimostafa97@gmail**

علی غلامی، استادیار گروه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه گلستان، گلستان، ایران

سعید رشوند، دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه گلستان، گلستان، ایران

محمود سلیمانی، کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه گلستان، گلستان، ایران

مانی حادقی، دکترای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد، مشهد، ایران

فرشید فیروزه‌ای، کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد، مشهد، ایران

سید حسن محسنیان، کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد، مشهد، ایران

علی پژومند راد، کارشناس ارشد برنامه‌ریزی برق مخابرات، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد، مشهد، ایران

### چکیده

شهرهای ایران از متراکم‌ترین شهرهای دنیا محسوب می‌شوند. تراکم جمعیت و حمل‌ونقل همگانی با عملکرد ضعیف و نبود اهرم‌های فشار از قبیل ارزان بودن بنزین و تاکسی خطی باعث شده است بسیاری از تقاطعات شهرهای ایران در ساعات اوج ترافیک با شرایط اشباع و فوق اشباع کار کنند. طول چرخه‌ی بهینه به صورت محسوس می‌تواند میزان ازدحام ترافیک را کاهش داده و یا حتی از آن جلوگیری نماید. این مطالعه با هدف به حداقل رساندن تأخیر تقاطع طول چرخه بهینه را برآورد می‌کند. برای این منظور سناریوهای مختلفی با تغییر متغیرهای نرخ اشباع (DS)، طول چرخه (CL) و ظرفیت خطوط در نرم‌افزار VISSIM شبیه‌سازی شده و برای طول چرخه‌های مختلف مقدار تأخیر به دست آمد. داده‌های شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم GP مدل شد. هرچند GP ابزار بسیار قدرتمندی برای مدل‌سازی است، ولی به علت اینکه شبیه‌سازها توانایی شبیه‌سازی شرایط ترافیکی پیچیده‌ی ایران را ندارند علی‌رغم کالیبراسیون طولانی مدل شبیه‌سازی نتایج نشان‌دهنده عملکرد ضعیف مدل‌های به دست آمده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که حتی اگر مدل شبیه‌سازی به ظاهر کالیبره شده باشد، در استفاده از نتایج این گونه مدل‌ها باید احتیاط کرد.

واژه‌های کلیدی: شرایط فوق اشباع، طول چرخه، الگوریتم GP، تأخیر، ترافیک

## ۱. مقدمه

با توجه به ضریب پراکندگی روابط، رابطه‌ی نمایی به‌عنوان رابطه بهینه برای شرایط نزدیک به اشباع و اشباع انتخاب شده است (بابائی‌زاده و مهرآذین، ۱۳۸۷).

ثباتی و امینی طول چرخه بهینه برای تقاطعات چراغ‌دار را با هدف حداکثر سازی نسبت حجم به ظرفیت وزنی تقاطع برآورد کرده‌اند. برای محاسبه طول چرخه بهینه محدودیت‌های زمان‌بندی مثل حداقل و حداکثر طول چرخه، حداقل زمان سبز و غیره در نظر گرفته شده و درنهایت در نرم‌افزار لینگو (LINGO) طول چرخه بهینه برآورد شده است. طول صف و تأخیر حاصل از طول چرخه به‌دست‌آمده از نرم‌افزار لینگو با طول چرخه به‌دست‌آمده از روش HCM 2000 مقایسه شده است. نتایج نشان‌دهنده کاهش این دو معیار در صورت استفاده از طول چرخه محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار است (ثباتی و امینی، ۱۳۸۵). انصاری یار و همکاران در مطالعه خود با هدف افزایش گذردهی در تقاطع رابطه‌ای برای برآورد طول چرخه ارائه داده‌اند. برای این منظور با هدف افزایش گذردهی تابع هدف در نرم‌افزار لینگو بهینه‌سازی شده است و مقادیر بهینه طول چرخه با مقادیر HCM 2000 مقایسه شده است. نتایج نشان‌دهنده افزایش گذردهی، کاهش طول صف و افزایش تأخیر در طول چرخه‌های حاصل از لینگو نسبت به HCM 2000 است. درنهایت پارامترهای رابطه و بستر با توجه به مقادیر بهینه به‌دست‌آمده از نرم‌افزار لینگو با رگرسیون غیرخطی در نرم‌افزار SPSS کالیبره و به‌عنوان رابطه‌ای برای برآورد طول چرخه با هدف افزایش گذردهی استفاده شده است (انصاری یار و همکاران، ۱۳۹۳).

در مطالعه‌ای که در شهر شیان<sup>۲</sup>، چین انجام شد، مدلی برای محاسبه طول بهینه زمان چرخه برای تقاطعات چراغ‌دار ارائه شد. با جمع‌آوری داده‌های ترافیکی ۵۰ تقاطع، ضرایب رابطه تأخیر و بستر<sup>۳</sup> برای شرایط این شهر کالیبره شد. برای ارزیابی مدل ۳ تقاطع شهر شیان انتخاب و در نرم‌افزار VISSIM شبیه‌سازی شد. مقایسه تأخیر و طول صف برای طول چرخه حاصل از مدل کالیبره و مدل و بستر نشان‌دهنده کاهش قابل توجه تأخیر و طول

مدت زیادی است که رابطه و بستر (رابطه ۱) برای برآورد طول چرخه با حداقل تأخیر استفاده می‌شود.

$$C = \frac{5 + 1.5L}{1 - Y} \quad (1)$$

که در آن:  $C$ : طول چرخه بهینه (ثانیه)،  $L$ : کل زمان ازدست‌رفته (ثانیه)،  $Y$ : نسبت جریان بحرانی تقاطع است.

طول چرخه حاصل از این رابطه اگرچه برای مقادیر زیر اشباع بهینه است، اما برای شرایط نزدیک به اشباع مقادیر بیش‌ازاندازه بزرگ برآورد می‌کند و برای شرایط اشباع و فوق اشباع (درجه اشباع برابر یک و بیشتر) قادر به برآورد طول چرخه نیست. با وجود این محدودیت‌ها برای رابطه و بستر هنوز روابط چندانی برای طول چرخه بهینه در شرایط اشباع و فوق اشباع توسعه داده نشده است.

صفازاده و همکاران با بررسی و معرفی انواع روابط موجود در تعیین طول چرخه چراغ راهنمایی، سعی کرده‌اند تا بهترین رابطه بر اساس ترکیب روابط ارائه‌شده طول چرخه تقاطع را در شرایط مختلف ترافیکی شهری ارائه نمایند. آن‌ها مقادیر خروجی از روابط مختلف را در سیستم SCATS وارد کرده و در نرم‌افزار Aimsun سناریوهای مختلفی را شبیه‌سازی نموده‌اند تا رابطه‌ای که طول چرخه بهینه را در شرایط مختلف ترافیکی ارائه می‌نماید را محاسبه نمایند (صفازاده و همکاران، ۱۳۹۵).

بابائی‌زاده و هاشم مهرآذین در مطالعه خود، رابطه‌ای برای برآورد طول چرخه بهینه با توجه به رابطه و بستر (Webster) ارائه داده‌اند. با توجه به مؤلفه‌های رابطه و بستر سناریوهای مختلف تشکیل شده و مقادیر بهینه طول چرخه با روش HCM 2000 محاسبه شده است. مقادیر بهینه روش HCM 2000 از تحلیل نرم‌افزاری در HICAP 2000 که برنامه‌ای است بر مبنای HCM 2000 مقدار بهینه زمان چرخه به دست آمده است. ضرایب مؤلفه‌های رابطه و بستر با توجه به طول چرخه‌های حاصل از روش HCM 2000 کالیبره شده و حالت‌های مختلف مؤلفه‌ها (نمایی، لگاریتمی و غیره) بررسی شده است. درنهایت

و یا حتی از آن جلوگیری نماید. این مطالعه با هدف به حداقل رساندن تأخیر تقاطع طول چرخه بهینه را برآورد می‌کند. برای شرایط فوق اشباع مدلی پیشنهاد می‌شود که با استفاده از خروجی نرم‌افزار ویسیم توسعه داده شده و در ادامه توضیح داده می‌شود.

## ۲. روش پژوهش

### ۲-۱ معرفی الگوریتم GP

برنامه‌نویسی ژنتیک (GP)<sup>۶</sup> در ۱۹۹۰ توسط جان کوزا<sup>۸</sup> توسعه داده شده است. در برنامه‌نویسی ژنتیک سعی می‌شود با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک، به جای اینکه کد برنامه لازم ایجاد شود، برای رایانه این امکان فراهم شود که تنها با دانستن مفهوم کلی از کار، برنامه موردنظر را آماده کند. در واقع یک دستور سطح بالا به رایانه داده می‌شود تا رایانه برنامه لازم برای اجرای برنامه موردنظر را آماده کند، سپس برنامه را اجرا و خروجی مطلوب را ارائه دهد.

در ساخت یک مدل با استفاده از روش‌های مرسوم مانند رگرسیون، کاربر نیاز به تعریف ساختار مدل دارد. تعریف ساختار برای داده‌های غیرخطی و پیچیده به‌خصوص زمانی که بیش از یک متغیر داریم کاری بسیار چالش‌برانگیز است. در مدل GP کاربر نیازی به فراگیری ساختار داده و روند تکاملی ندارد و این کار توسط مدل انجام می‌شود. حل مسئله با برنامه‌نویسی ژنتیک شامل تعیین مجموعه‌ای از متغیرها، انتخاب مجموعه‌ای از توابع و تعریف تابع برای ارزیابی عملکردها است. قبل از اجرای برنامه‌نویسی ژنتیک برای حل یک مسئله، پنج مرحله مقدماتی انجام می‌شود.

مرحله ۱: تعیین مجموعه‌ای از ترمینال‌ها<sup>۹</sup>. ترمینال‌ها متناظر با ورودی‌های برنامه‌ی رایانه‌ای هستند که باید شناسایی شوند.  
مرحله ۲: انتخاب مجموعه توابع اولیه. این توابع به وسیله عملیات ریاضی استاندارد، عملیات برنامه‌نویسی استاندارد، توابع ریاضی استاندارد، توابع منطقی و توابع خاص تعریف می‌شوند. در برنامه از چهار عملیات استاندارد جمع، تفریق، ضرب و تقسیم؛ و توابع ریاضی، توان دوم، توان دوم ریشه و لگاریتم استفاده می‌شود و

صف در مدل کالیبره نسبت به وبستر است (Wu et al., 2015).

در مطالعه‌ای دیگری که برای شهر نانجینگ<sup>۱۰</sup>، چین انجام شد طول چرخه بهینه با هدف حداقل کردن تأخیر، مصرف سوخت و آلودگی برآورد شد. در این مطالعه الگوریتمی توسعه داده شده که مقدار شاخص را برای طول چرخه‌های مختلف اندازه‌گیری و مقدار بهینه طول چرخه را برآورد می‌کند. الگوریتم بر روی داده‌های یک تقاطع در شهر نانجینگ ارزیابی شد و نتایج نشان‌دهنده ۴٫۱ ثانیه کاهش تأخیر همراه با کاهش آلودگی و مصرف سوخت است (Li et al., 2004).

در مطالعه که برای شهر طهران، عربستان انجام شد شاخصی با توجه به تأخیر متوسط، تعداد کل توقف، مصرف سوخت متوسط و آلودگی وسایل نقلیه توسعه داده شد. در این مطالعه پارامترهای زمان‌بندی چراغ را با استفاده از الگوریتم NSGA-II<sup>۱۱</sup> بهینه کردند. دو تقاطع در شهر طهران انتخاب و زمان بدی موجود (طول چرخه و تقسیم سبز) با زمان‌بندی حاصل از مدل مقایسه شد. نتایج نشان‌دهنده ۱۹٪ کاهش تأخیر متوسط و ۱۶٪ کاهش تعداد توقف‌ها، ۲۲٫۵٪ کاهش مصرف سوخت و حدود ۱۷٪ کاهش آلودگی نسبت به زمان‌بندی موجود است. همچنین برای ارزیابی، زمان‌بندی مدل با نرم‌افزار سینکرو<sup>۱۲</sup> نیز مقایسه شد که مقادیر همه معیارها در مدل بر پایه NSGA-II نسبت به سینکرو بهینه‌تر بود (Al-Turki et al., 2020).

### ۱-۱ تعریف مسئله و اهداف پژوهش

شهرهای ایران از متراکم‌ترین شهرهای دنیا محسوب می‌شوند. تراکم جمعیت و حمل‌ونقل همگانی با عملکرد ضعیف و نبود اهرم‌های فشار از قبیل ارزان بودن بنزین و تاکسی خطی، عدم اعمال مقررات پارک حاشیه‌ای در ورودی و خروجی تقاطعات و وجود کاربری‌های نامناسب اطراف تقاطع‌ها باعث شده است بسیاری از تقاطعات شهرهای ایران در ساعات اوج ترافیک با شرایط اشباع و فوق اشباع کار کنند. طول چرخه‌ی بهینه به‌صورت محسوسی می‌تواند میزان ازدحام ترافیک را کاهش داده

انتخاب می‌شود، در برنامه‌نویسی ژنتیک هم یک برنامه رایانه‌ای مناسب‌تر احتمالاً با کپی کردن خود به نسل بعدی باقی خواهد ماند.

در برنامه‌نویسی ژنتیک، عملگر همگذری روی دو برنامه رایانه‌ای عمل می‌کند و دو ولد<sup>۱۵</sup> (برنامه) جدید می‌سازد. برنامه‌ها اندازه‌ها و شکل‌های مختلفی دارند. این دو ولد با بهبود قسمت‌هایی که به‌طور تصادفی از والدینشان<sup>۱۶</sup> انتخاب می‌کنند، تشکیل می‌شوند. برای مثال، شکل ۱ دو روش را نشان می‌دهد که با همگذری دو ولد از والدینشان ساخته می‌شوند. همچنین برای جهش، یک تابع یا ترمینال به‌طور تصادفی تغییر می‌یابد.

پس از تکمیل پنج مرحله مقدماتی، هشت مرحله زیر اجرا می‌شود:

مرحله ۱: تعیین حداکثر تعداد نسل‌ها برای اجرا و تعیین احتمال انتخاب، همگذری و جهش به‌گونه‌ای که مجموع احتمال انتخاب، احتمال همگذری و احتمال جهش برابر با یک باشد.

مرحله ۲: تولید یک جمعیت اولیه از برنامه‌های رایانه‌ای به اندازه  $N$  با ترکیب تصادفی توابع و ترمینال‌ها.

مرحله ۳: اجرای هر برنامه رایانه‌ای با استفاده از جمعیت ساخته‌شده و محاسبه تناسب آن با  $MSE$  و تعیین بهترین فرد در نتیجه اجرا.

مرحله ۴: با احتمالات تعیین‌شده، یک اپراتور ژنتیکی برای انجام فرآیندهای انتخاب، همگذری یا جهش انتخاب خواهد شد.

ترمینال و عملیات اولیه، بلوک سازنده را تشکیل می‌دهد. در این مرحله در برنامه‌نویسی ژنتیک یک برنامه رایانه‌ای برای حل مسئله ایجاد می‌شود.

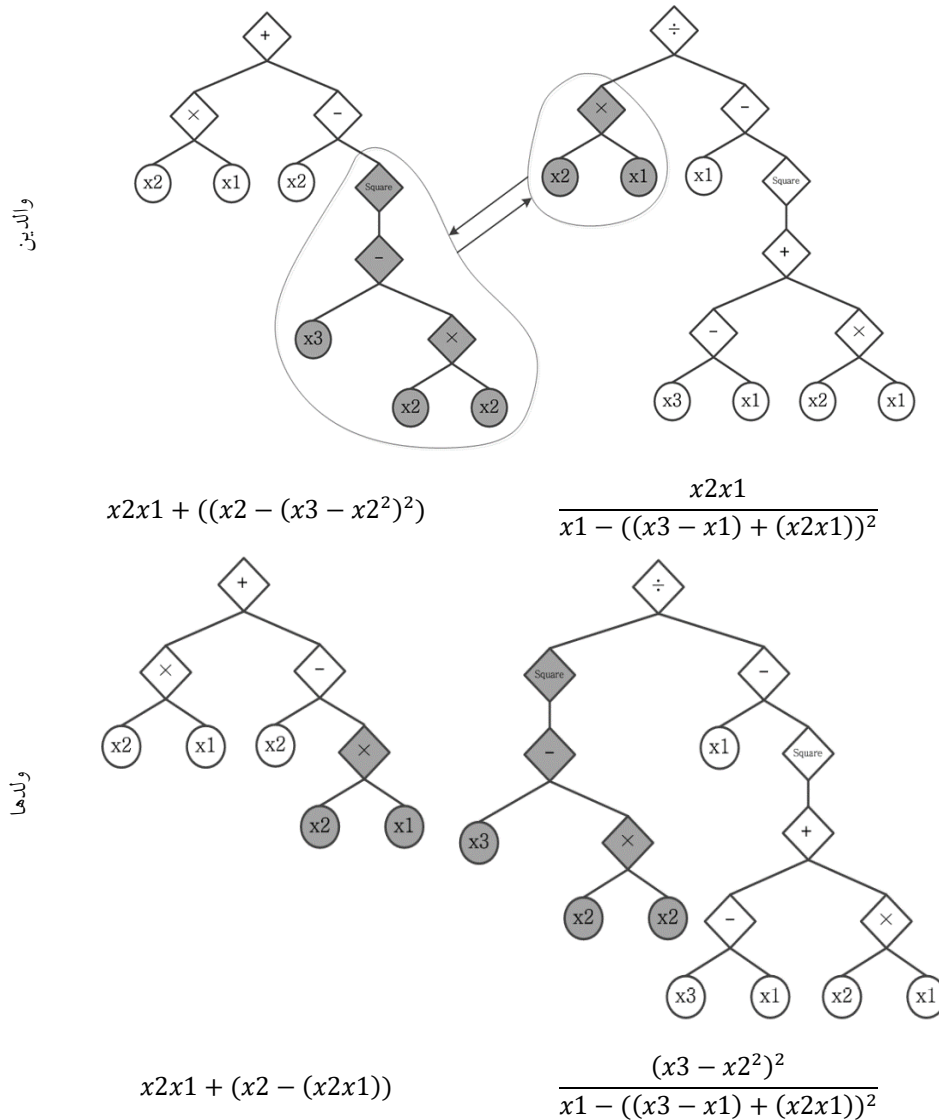
مرحله ۳: تعریف تابع تناسب. یک تابع تناسب چگونگی حل مسئله توسط رایانه را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در این مسئله، تناسب برنامه‌ی رایانه‌ای با میانگین مربعات خطا ( $MSE$ )<sup>۱۷</sup> نتایج حاصل از برنامه و شمارش مشاهدات است. هرچه  $MSE$  به صفر نزدیک‌تر باشد، برنامه رایانه‌ای ایجادشده، مناسب‌تر است.

مرحله ۴: تصمیم‌گیری در مورد پارامترهای کنترلی در اجرا. برای کنترل در اجرا، در برنامه‌نویسی ژنتیک از پارامترهای اولیه مشابه در الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. این پارامترها شامل اندازه جمعیت، حداکثر تعداد نسل‌ها<sup>۱۸</sup>، همگذری (ترکیب)<sup>۱۹</sup> و احتمال جهش<sup>۲۰</sup> و میزان نخبه‌گرایی<sup>۲۱</sup> است.

مرحله ۵: انتخاب روش تعیین یک نتیجه از اجرا. انتخاب بهترین روش در برنامه‌نویسی ژنتیک برای مشخص کردن بهترین برنامه تولیدشده به‌عنوان نتیجه یک اجرا است.

هنگامی که این پنج مرحله تکمیل شود، فرآیند اجرا انجام می‌شود. اجرای برنامه‌نویسی ژنتیک با تولید تصادفی از یک جمعیت ابتدایی از برنامه‌های رایانه‌ای شروع می‌شود. هر برنامه متشکل از توابع جمع، تفریق، ضرب، تقسیم، توان دوم، توان دوم ریشه و لگاریتم است.

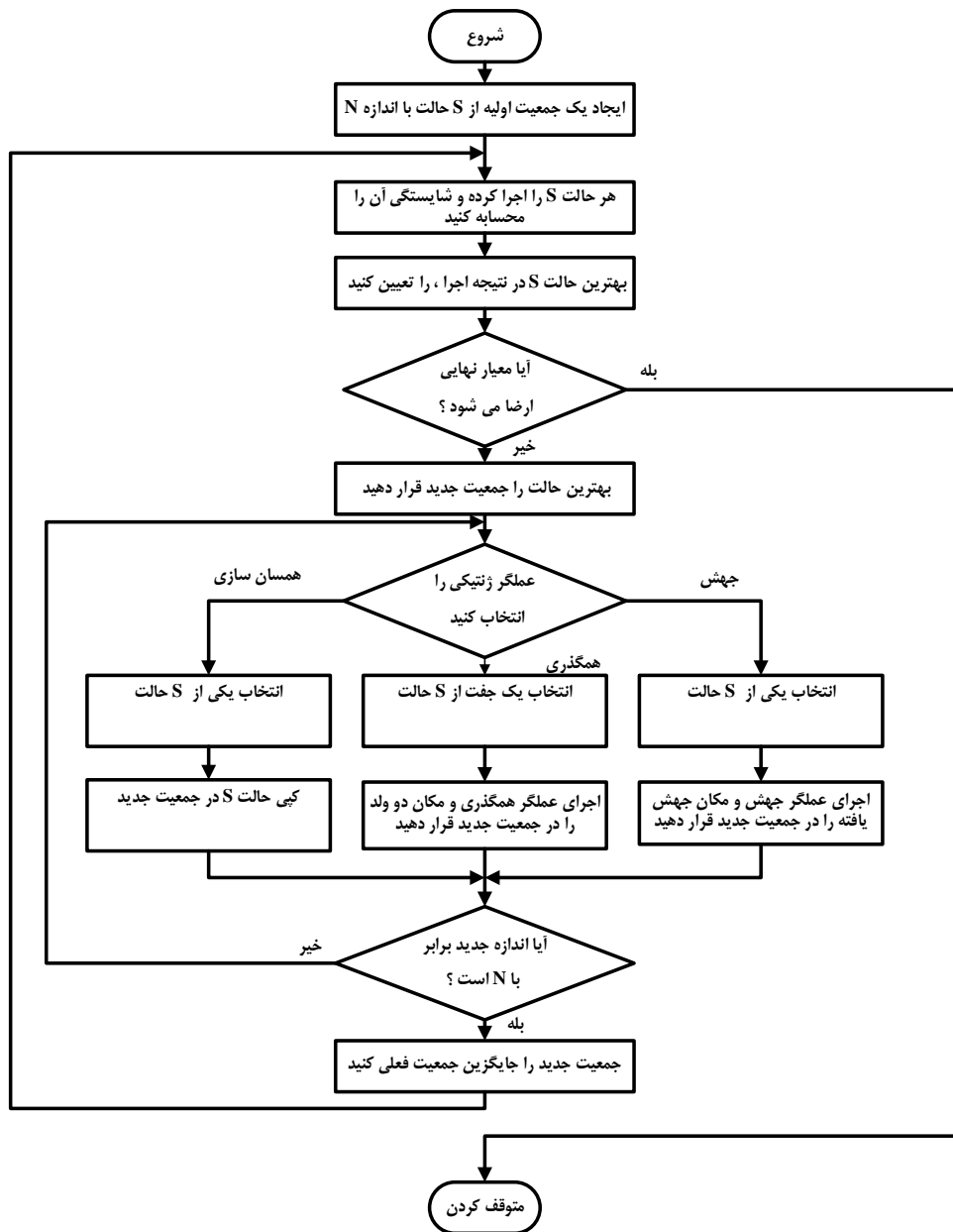
در جمعیت اولیه، همه برنامه‌های رایانه معمولاً آمادگی ضعیفی دارا می‌باشند، اما برخی شایستگی بیشتری دارند. درست به همان اندازه که در الگوریتم ژنتیک یک کروموزوم بهتر برای تکثیر



شکل ۱. همگذاری دو والد برای ایجاد دو ولد

مرحله ۶: مرحله ۴ آنقدر تکرار می‌شود تا اندازه جمعیت جدید برنامه‌های رایانه‌ای برابر با اندازه جمعیت اولیه  $N$  شود.  
 مرحله ۷: جمعیت (والد) فعلی با جمعیت جدید (ولد) جایگزین می‌شود.  
 مرحله ۸: برنامه به مرحله ۳ می‌رود و فرآیند را تکرار می‌کند تا زمانی که معیارهای نهایی اتمام برنامه حاصل شود.  
 نمایش هشت مرحله به صورت فلوجارت در شکل ۲ نشان داده شده است.

مرحله ۵: با عملگر انتخاب، یک برنامه رایانه‌ای از جمعیت فعلی برنامه‌ها انتخاب می‌شود و در یک جمعیت جدید کپی می‌شود. اگر عملگر همگذاری انتخاب شود، یک جفت برنامه رایانه‌ای از جمعیت فعلی می‌گیرد و یک جفت برنامه ولد از والد‌ها ایجاد می‌کند. اگر عملگر جهش انتخاب شود، یک برنامه رایانه‌ای از جمعیت فعلی برای تغییر یکی از عملگرها یا ترمینال‌هایش انتخاب می‌شود و در جمعیت جدید قرار می‌گیرد. تمام برنامه‌ها بر اساس شایستگی انتخاب می‌شوند (هر چه شایستگی بیشتر باشد، احتمال انتخاب برنامه بیشتر است).



شکل ۲. الگوریتم مدل سازی GP

## ۲-۲ مدل سازی طول چرخه‌ی بهینه با GP

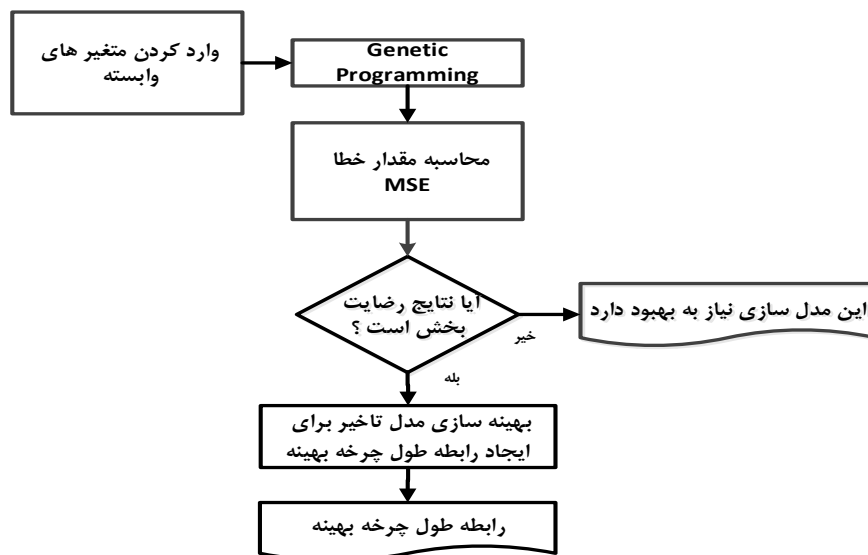
به منظور ارائه طول چرخه بهینه، مدل تأخیری با متغیرهای مستقل طول چرخه، نرخ اشباع، عرض رویکردها، ظرفیت و متغیر وابسته‌ی تأخیر متوسط تقاطع (ثانیه به ازای هر خودرو) که از شبیه سازی گرفته می شود ساخته می شود. با بهینه سازی این مدل، طول چرخه بهینه تعیین می شود به گونه ای که تأخیر تقاطع حداقل

شود. شکل ۳ الگوریتم مدل سازی طول چرخه‌ی بهینه با GP را نمایش می دهد.

برای ساخت مدل GP، در ابتدا لازم است داده های مورد نیاز ساخت مدل از ویسیم گرفته شود. برای این منظور سناریوهای مختلفی شبیه سازی می شوند. در جدول ۱ بخشی از داده های مورد استفاده به منظور ورودی در شبیه سازی نمایش داده شده است. هر سطر این جدول یک سناریوی شبیه سازی است.

## ساخت مدل طول چرخه بر مبنای داده‌های شبیه‌سازی با الگوریتم هوش مصنوعی GP - نقدی بر شبیه‌سازی ترافیکی

از اعمال ورودی‌ها در شبیه‌ساز ویسیم، متغیر تأخیر به‌منظور مدل‌سازی برای تعیین بهینه‌ترین مقدار طول چرخه، استخراج می‌شود.



شکل ۳. الگوریتم مدل‌سازی طول چرخه‌ی بهینه با GP

یک مدل در نرم‌افزار مواردی از قبیل تعداد خطوط عبوری (و نه تعداد خطوط خط‌کشی شده)، عرض و شیب آن‌ها، زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی و حرکات گردشی موردنیاز است. اطلاعات مرتبط با هندسه مسیر با بهره‌گیری از عکس‌های هوایی و بازدید میدانی برداشت شدند. این اطلاعات شامل تعداد خطوط موجود، نحوه توقف و گردش خودروها و عرض خطوط است. همچنین داده‌های مرتبط با جریان و سرعت خودروها از طریق فیلم‌برداری و پردازش تصویر و یا شمارش دستی گردآوری شدند. شکل ۶ تصویری از یکی از تقاطعات شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

ویسیم خروجی‌های با رزولوشن بالا<sup>۱۴</sup> تولید می‌کند، به این معنا که رکورد تک‌تک خودروهایی که وارد شبکه می‌شوند قابل‌دستیابی است. شکل ۴ خروجی‌های زمان سفر و تأخیر در نرم‌افزار ویسیم برای یک تقاطع شبیه‌سازی شده را نمایش می‌دهد. این جدول اطلاعاتی نظیر تأخیر و حجم عبور از تقاطع را برای هر چرخه به‌صورت تجمیع نشده نشان می‌دهد.

لازم است شبکه‌ی مدل شده در نرم‌افزار رفتاری مطابق با شرایط واقعی داشته باشد. به همین دلیل نیاز است تا اطلاعات به‌صورت میدانی و فیلم‌برداری از محل موردبررسی برداشت شود تا بتوان مدل را با شرایط برداشت شده مقایسه نمود. جهت شبیه‌سازی

جدول ۱. نمایش داده‌های ورودی جهت شبیه‌سازی در نرم‌افزار ویسیم

Cycle Time (sec)	DS	Width of approach (m) (SB)	Width of approach (m) (NB)	Width of approach (m) (EB)	Width of approach (m) (WB)	Capacity (veh)	Demand (veh)
۶۰	۰,۶	۱۰,۵	۱۰,۵	۱۳,۶	۱۳,۶	۱۲۰۰۰	۷۲۰۰
۶۰	۰,۷	۱۰,۵	۱۰,۵	۱۳,۶	۱۳,۶	۱۲۰۰۰	۸۴۰۰
۶۰	۰,۸	۱۰,۵	۱۰,۵	۱۳,۶	۱۳,۶	۱۲۰۰۰	۹۶۰۰
۶۰	۰,۹	۱۰,۵	۱۰,۵	۱۳,۶	۱۳,۶	۱۲۰۰۰	۱۰۸۰۰

Cycle Time (sec)	DS	Width of approach (m) (SB)	Width of approach (m) (NB)	Width of approach (m) (EB)	Width of approach (m) (WB)	Capacity (veh)	Demand (veh)
60	1	10.5	10.5	13.6	13.6	12000	12000
60	1,1	10.5	10.5	13.6	13.6	12000	13200
60	1,2	10.5	10.5	13.6	13.6	12000	14400
60	1,3	10.5	10.5	13.6	13.6	12000	15600
60	1,4	10.5	10.5	13.6	13.6	12000	16800
60	1,5	10.5	10.5	13.6	13.6	12000	18000
70	0,6	10.5	10.5	13.6	13.6	12000	7200
70	0,7	10.5	10.5	13.6	13.6	12000	8400
70	0,8	10.5	10.5	13.6	13.6	12000	9600
70	0,9	10.5	10.5	13.6	13.6	12000	10800
70	1	10.5	10.5	13.6	13.6	12000	12000
70	1,1	10.5	10.5	13.6	13.6	12000	13200
70	1,2	10.5	10.5	13.6	13.6	12000	14400
...	...	...	...	...	...	...	...

• مقایسه میزان صف تشکیل شده در هر رویکرد

• مقایسه نحوه گردش خودروها

• مقایسه جایگیری و توقف وسایل نقلیه در خطوط حرکتی

بعد از ساخت اولیه مدل، خروجی های شبیه سازی با وضعیت

مشاهده شده در تقاطع مقایسه گردید. برخی از موارد مورد بررسی

عبارت اند از:

Time;	No.;	veh;	VehType;	Trav;	Delay;
115.3;	1;	2;	100;	106.2;	0.2;
120.4;	1;	1;	100;	111.8;	0.2;
126.0;	1;	8;	100;	112.2;	1.7;
127.0;	1;	12;	100;	108.3;	2.0;
127.8;	1;	5;	100;	115.2;	0.2;
128.0;	1;	4;	100;	115.4;	0.3;
128.4;	1;	15;	100;	108.5;	1.9;
128.9;	1;	9;	100;	112.5;	1.5;
130.5;	1;	11;	100;	112.3;	4.1;
131.8;	1;	10;	100;	113.7;	4.5;
133.8;	1;	7;	100;	120.0;	0.3;
137.1;	1;	3;	100;	124.1;	0.5;
139.4;	1;	14;	100;	119.6;	0.5;
139.6;	1;	18;	100;	108.3;	0.2;
140.2;	1;	6;	200;	126.2;	0.8;
141.6;	1;	13;	100;	121.9;	0.2;
144.0;	1;	17;	100;	117.0;	0.5;
146.0;	1;	20;	100;	109.0;	0.6;
146.8;	1;	19;	100;	111.9;	0.2;
146.8;	1;	16;	100;	123.0;	1.0;
158.0;	1;	22;	100;	111.1;	0.2;
162.2;	1;	23;	100;	115.1;	0.2;
163.3;	1;	24;	100;	116.2;	1.0;
163.4;	1;	28;	100;	114.2;	8.0;
164.0;	1;	27;	100;	115.7;	-0.1;
165.4;	1;	29;	100;	112.6;	2.7;
166.1;	1;	21;	100;	124.3;	0.7;
169.6;	1;	36;	100;	109.3;	1.8;
169.9;	1;	25;	200;	121.8;	0.1;
171.3;	1;	39;	100;	109.8;	3.3;
171.9;	1;	32;	100;	116.0;	0.5;
172.1;	1;	26;	100;	123.7;	0.0;
172.4;	1;	34;	100;	113.9;	7.6;

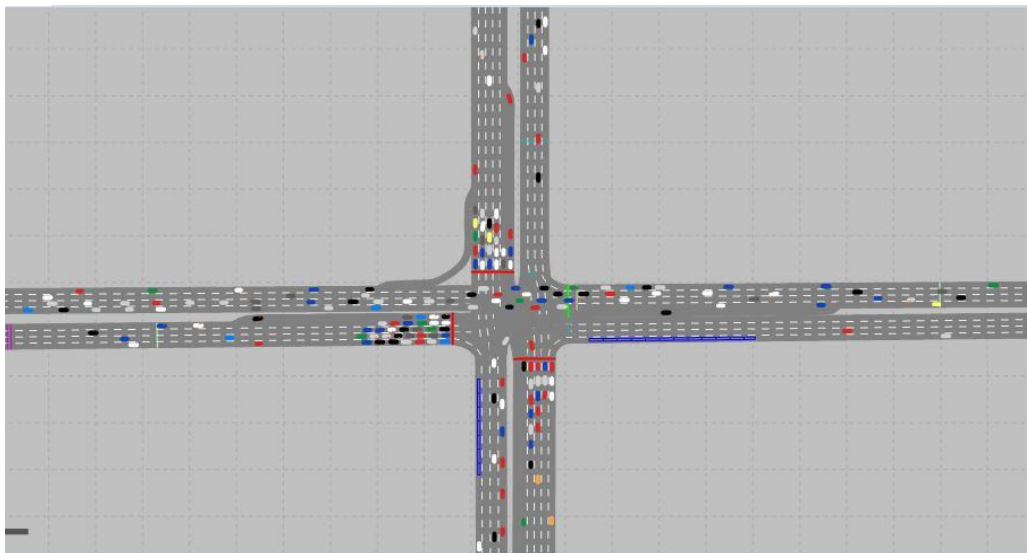
شکل ۴. نمایش خروجی زمان سفر و تأخیر و بسیم (خروجی Travel Times با پسوند RSR)

## ساخت مدل طول چرخه بر مبنای داده‌های شبیه‌سازی با الگوریتم هوش مصنوعی GP - نقدی بر شبیه‌سازی ترافیکی

همچنین شکل ۵ خروجی‌های ارزیابی گره برای تقاطع و حجم و تعداد توقف‌های خودروها را برای هر چرخه شبیه‌سازی شده را نمایش می‌دهد که اطلاعات مفیدی نظیر تأخیر به‌صورت تجمیع نشده نشان می‌دهد.

VehNo;	VehType;	Start time;	End at;	StartLink;	StartLane;	StartPos;	NodeNo;	Movement;	FromLink;	ToLink;	ToLane;	ToPos;	Delay;	Layover;	Stops;	No_Pers;
366;	100;	209.5;	300.7;	4;	5;	0.402;	1;	N-E;	4;	1;	4;	385.682;	28.6;	23.3;	1;	1;
351;	300;	200.3;	302.0;	1;	3;	0.000;	1;	W-E;	1;	1;	3;	385.682;	0.0;	0.0;	0;	1;
410;	100;	242.4;	302.4;	4;	1;	0.402;	1;	N-W;	4;	2;	1;	381.812;	5.7;	1.1;	1;	1;
378;	100;	217.4;	303.3;	4;	1;	0.402;	1;	N-E;	4;	1;	4;	385.682;	27.2;	14.9;	1;	1;
439;	100;	256.3;	305.7;	4;	5;	0.402;	1;	N-W;	4;	2;	1;	381.812;	0.0;	0.0;	0;	1;
273;	100;	159.0;	306.0;	6;	3;	12.811;	1;	S-N;	6;	5;	4;	84.817;	102.9;	97.0;	1;	1;
231;	100;	138.2;	306.2;	6;	2;	12.811;	1;	S-N;	6;	5;	2;	84.817;	122.1;	108.3;	2;	1;
260;	100;	149.8;	306.2;	6;	3;	12.811;	1;	S-N;	6;	5;	3;	84.817;	110.2;	104.1;	1;	1;
381;	100;	220.7;	307.8;	4;	5;	0.402;	1;	N-E;	4;	1;	3;	385.682;	30.8;	16.7;	2;	1;
164;	100;	97.8;	308.2;	6;	1;	12.811;	1;	S-N;	6;	5;	1;	84.817;	159.4;	145.2;	3;	1;
259;	100;	150.3;	309.2;	6;	2;	12.811;	1;	S-N;	6;	5;	3;	84.817;	109.8;	104.2;	1;	1;
298;	100;	173.6;	309.4;	6;	2;	13.711;	1;	S-W;	10003;	2;	4;	381.812;	89.2;	84.5;	1;	1;
205;	100;	115.6;	310.6;	6;	1;	12.811;	1;	S-N;	6;	5;	2;	84.817;	146.4;	128.5;	4;	1;
176;	100;	102.9;	310.7;	6;	1;	12.811;	1;	S-N;	6;	5;	1;	84.817;	158.0;	142.0;	4;	1;
386;	100;	225.3;	311.2;	4;	3;	0.402;	1;	N-E;	4;	1;	3;	385.682;	18.8;	10.3;	2;	1;
272;	100;	158.9;	311.5;	6;	4;	12.811;	1;	S-N;	6;	5;	3;	84.817;	108.1;	99.3;	1;	1;
312;	100;	180.3;	313.5;	6;	1;	13.711;	1;	S-W;	10003;	2;	4;	381.812;	82.4;	76.4;	1;	1;
262;	100;	154.8;	314.1;	6;	2;	12.811;	1;	S-N;	6;	5;	2;	84.817;	106.2;	101.5;	1;	1;
280;	100;	164.1;	314.7;	6;	4;	12.811;	1;	S-N;	6;	5;	3;	84.817;	102.4;	94.2;	1;	1;
216;	100;	123.2;	315.4;	6;	5;	12.811;	1;	S-W;	6;	2;	3;	381.812;	134.2;	122.1;	2;	1;
285;	100;	165.4;	316.3;	6;	2;	12.811;	1;	S-N;	6;	5;	2;	84.817;	104.8;	97.7;	1;	1;
323;	100;	186.3;	317.1;	6;	5;	12.811;	1;	S-N;	6;	5;	3;	84.817;	83.3;	77.1;	1;	1;

شکل ۵. نمایش خروجی ارزیابی گره و بسیم (خروجی Node Evaluation با پسوند KNR)



شکل ۶. نمایی از شبکه تقاطع خیام-سجاد در نرم‌افزار VISSIM

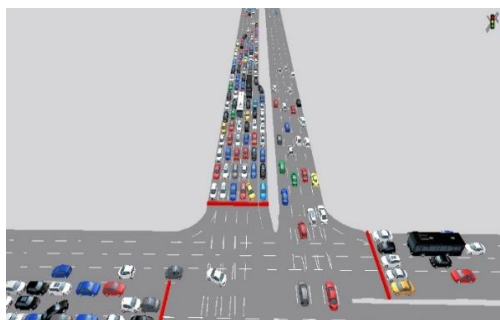
علاوه بر انباره در نظر گرفته‌شده از خط کنار نیز استفاده نموده که برای مطابقت با شرایط واقعی، این رفتار نیز در نظر گرفته شده است.

همچنین به‌منظور کنترل نتایج حاصل از شبیه‌سازی با وضع موجود نسبت به مقایسه طول صف ایجادشده در رویکردهای تقاطع در وضع موجود با مدل ساخته‌شده اقدام گردید. در شکل ۷ میزان طول صف ایجادشده در یکی از رویکردهای تقاطع در نرم‌افزار و وضع موجود نمایش داده شده است. همان‌طور که در

با مقایسه موارد مذکور با شرایط واقعی تقاطع، پارامترهای مربوط به خصوصیات وسیله نقلیه، خصوصیات رانندگی و تغییرات هندسی جهت شباهت بیشتر با وضع موجود تنظیم شدند.

به‌عنوان مثال، جهت شبیه شدن شبیه‌سازی با وضع موجود لازم است طول انباره‌ها بیشتر از مقدار واقعی وارد شود و گرنه به علت رفتار رانندگان در تبعیت از خطوط گردشی در و بسیم، خودروهای گردشی به چپ در بالادست انباره‌ها مسیرهای مستقیم را مسدود می‌کنند و موجب صف‌های غیرواقعی قبل از انباره می‌شوند. همچنین در شرایط ایران جهت گردش به چپ

این شکل مشخص است، طول صف و تعداد خط ایجادشده در شبیه‌سازی، مشابه وضع موجود است.



شکل ۷. تصویر طول صف در رویکرد خیام جنوبی

به‌عنوان تقاطعات مورد مطالعه انتخاب شد. خوشه‌بندی تقاطعات با استفاده از الگوریتم K-means با استفاده از ویژگی‌های نرخ اشباع و طول چرخه روی داده‌های تمام تقاطعات شهر مشهد انجام شد. برای تقاطعات انتخاب‌شده، سناریوهای مختلفی تحت تغییر متغیرهای نرخ اشباع (DS) و طول چرخه (CL) در نرم‌افزار ویسیم شبیه‌سازی شد و برای هر سناریو خروجی‌های مورد نیاز جهت مدل‌سازی GP حاصل شد.

در شکل (۸-الف) سناریوهای مختلف طول چرخه از ۵۰ تا ۲۰۰ ثانیه (با گام ۱۰ ثانیه) نمایش داده شده است. سناریوهای مختلف نرخ اشباع نیز از نرخ اشباع ۰/۶ تا ۱/۵ (با گام ۰/۱) برای هر طول چرخه بررسی شد. در شکل (۸-ب) بخشی از خروجی نهایی ویسیم برای هر سناریو تعریف‌شده را نمایش می‌دهد. در مجموع برای هر تقاطع ۲۲۵ سناریو بررسی می‌شود.

در شکل ۹ و ۱۰ خروجی‌های تقاطع خیام سجاد به‌عنوان نمونه نمایش داده شده است. در شکل ۹ خروجی‌های زمان سفر و تأخیر در نرم‌افزار ویسیم برای تقاطع خیام سجاد قابل مشاهده است. اطلاعاتی نظیر تأخیر، حجم عبور از تقاطع و تعداد توقف‌های خودروها برای هر چرخه به‌صورت تجمیع نشده را می‌توان از شکل ۱۰ برداشت کرد.

بعد از تهیه داده‌های شبیه‌سازی، با استفاده از GP، مدلی برای تأخیر که تابع متغیرهایی نظیر طول چرخه، نرخ اشباع، ظرفیت تقاطع و مجموع عرض رویکردهای تقاطع باشد به‌صورت رابطه ۲ ی ساخته می‌شود.

$$D = f(C, DS, C_a, W) \quad (2)$$

که در آن: D: تأخیر کلی تقاطع (ثانیه)، C: طول چرخه (ثانیه)، DS: نرخ اشباع، C<sub>a</sub>: ظرفیت تقاطع (خودرو بر ساعت) و W: مجموع عرض رویکردها (متر) است.

پس از حاصل شدن مدل تأخیر با مشتق‌گیری تأخیر نسبت به طول چرخه (رابطه ۳) و حداقل کردن تأخیر و سپس نوشتن رابطه بر مبنای طول چرخه، رابطه ۴ حاصل می‌شود. رابطه ۴ طول چرخه بهینه با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده را نمایش می‌دهد.

$$\frac{\partial D}{\partial C} = f' \quad (3)$$

$$\hat{C} = f(DS, C_a, W) \quad (4)$$

که در آن: Ĉ: زمان چرخه بهینه (ثانیه)، DS: نرخ اشباع، C<sub>a</sub>: ظرفیت تقاطع (خودرو بر ساعت) و W: مجموع عرض رویکردها (متر) است.

### ۳. تحلیل داده‌ها

با استفاده از خوشه‌بندی تقاطعات شهر مشهد، تقاطعات خیام سجاد، لشگر، احمدآباد کلاهدوز، عبادی‌گاز و سهراب خیام سجاد

## ساخت مدل طول چرخه بر مبنای داده‌های شبیه‌سازی با الگوریتم هوش مصنوعی GP - نقدی بر شبیه‌سازی ترافیکی

ب	الف
<ul style="list-style-type: none"> <li>01_Simulation Khayam-Sajad_C50_DS0.6_D3720_Queue Results_001.att</li> <li>01_Simulation Khayam-Sajad_C50_DS0.6_D3720_Data Collection Results_001.att</li> <li>01_Simulation Khayam-Sajad_C50_DS0.6_D3720_Link Segment Results_001.att</li> <li>01_Simulation Khayam-Sajad_C50_DS0.6_D3720_Node Results_001.att</li> <li>01_Simulation Khayam-Sajad_C50_DS0.6_D3720_Vehicle Network Performance Evaluation Results_001.att</li> <li>01_Simulation Khayam-Sajad_C50_DS0.6_D3720_Vehicle Travel Time Results_001.att</li> <li>01_Simulation Khayam-Sajad_C50_DS0.6_D3720_001.knr</li> <li>01_Simulation Khayam-Sajad_C50_DS0.6_D3720_001.rsr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>C50 File folder</li> <li>C60 File folder</li> <li>C70 File folder</li> <li>C80 File folder</li> <li>C90 File folder</li> <li>C100 File folder</li> <li>C110 File folder</li> <li>C120 File folder</li> <li>C130 File folder</li> <li>C140 File folder</li> <li>C150 File folder</li> <li>C160 File folder</li> <li>C170 File folder</li> <li>C180 File folder</li> <li>C190 File folder</li> <li>C200 File folder</li> </ul>

شکل ۸. الف) نمایش فولدرهای خروجی‌های سناریوهای طول چرخه شبیه‌سازی شده در تقاطع خیام سجاد ب) نمایش خروجی‌های نرم‌افزار

ویسیم برای هر کدام از سناریوهای طول چرخه در تقاطع خیام سجاد

Time;	No.;	Veh;	VehType;	Trav.;	Delay.;	Dist;
302.9;	2;	242;	100;	43.0;	12.2;	236.0;
303.9;	2;	216;	100;	71.4;	38.4;	236.0;
304.0;	2;	227;	100;	59.6;	26.3;	236.0;
304.1;	2;	223;	100;	64.6;	32.3;	236.0;
305.0;	2;	261;	100;	32.9;	2.4;	236.0;
305.8;	2;	225;	100;	65.2;	34.2;	236.0;
305.8;	2;	255;	100;	38.0;	7.0;	236.0;
306.3;	2;	235;	100;	55.8;	24.1;	236.0;
307.7;	2;	234;	100;	61.7;	30.9;	236.0;
308.9;	1;	218;	100;	55.8;	23.6;	236.0;
308.9;	2;	260;	100;	36.3;	4.5;	236.0;
309.5;	1;	197;	100;	75.4;	41.1;	236.0;
310.8;	1;	237;	100;	37.0;	5.4;	236.0;
312.5;	1;	215;	100;	63.6;	29.4;	236.0;
313.4;	1;	198;	100;	78.3;	44.4;	236.0;
313.6;	1;	231;	100;	52.2;	22.1;	236.0;
313.6;	1;	233;	100;	49.7;	18.1;	236.0;

شکل ۹. نمایش خروجی زمان سفر و تأخیر ویسیم (خروجی **Travel Times** با پسوند **RSR**)

VehNo;	VehType;	Start time;	End at;	StartLink;	StartLane;	StartPos;	NodeNo;	Movement;	FromLink;	ToLink;	ToLane;	ToPos;	Delay;	Layover;	Stops;	No_Pers;
242;	100;	252.0;	301.6;	4;	1;	184.570;	1;	N-S;	4;	3;	1;	92.127;	12.2;	7.0;	1;	1;
216;	100;	224.5;	302.6;	4;	4;	184.570;	1;	N-S;	4;	3;	4;	92.127;	38.4;	33.8;	1;	1;
227;	100;	236.2;	302.6;	4;	2;	184.570;	1;	N-S;	4;	3;	2;	92.127;	26.3;	21.6;	1;	1;
223;	100;	231.6;	302.9;	4;	3;	184.570;	1;	N-S;	4;	3;	3;	92.127;	32.3;	27.5;	1;	1;
261;	100;	264.6;	303.8;	4;	1;	184.570;	1;	N-S;	4;	3;	1;	92.127;	6.6;	0.0;	0;	1;
255;	100;	260.3;	304.3;	4;	2;	184.570;	1;	N-S;	4;	3;	2;	92.127;	6.6;	1.3;	1;	1;
225;	100;	233.0;	304.4;	4;	4;	184.570;	1;	N-S;	4;	3;	4;	92.127;	34.0;	29.0;	1;	1;
235;	100;	243.1;	305.0;	4;	4;	184.570;	1;	N-S;	4;	3;	3;	92.127;	24.1;	17.7;	1;	1;
234;	100;	238.7;	306.3;	4;	4;	184.570;	1;	N-S;	4;	3;	4;	92.127;	30.6;	25.1;	1;	1;
264;	100;	269.9;	306.6;	4;	1;	184.570;	1;	N-W;	4;	2;	1;	793.936;	0.0;	0.0;	0;	1;
228;	100;	246.2;	306.9;	10004;	1;	20.761;	1;	N-E;	10004;	1;	4;	562.837;	18.8;	14.5;	1;	1;
260;	100;	265.0;	307.6;	4;	4;	184.570;	1;	N-S;	4;	3;	3;	92.127;	4.5;	0.0;	0;	1;
226;	100;	233.4;	308.6;	4;	5;	184.570;	1;	N-E;	4;	1;	3;	562.837;	31.5;	26.5;	1;	1;
218;	100;	246.9;	309.2;	6;	2;	333.835;	1;	S-N;	6;	5;	3;	64.109;	23.6;	17.8;	1;	1;
197;	100;	227.4;	309.8;	6;	5;	333.835;	1;	S-N;	6;	5;	4;	64.109;	41.1;	36.6;	1;	1;
237;	100;	267.5;	311.1;	6;	3;	333.835;	1;	S-N;	6;	5;	3;	64.109;	5.4;	0.0;	1;	1;
236;	100;	249.3;	311.1;	10004;	1;	20.761;	1;	N-E;	10004;	1;	4;	562.837;	15.9;	11.3;	1;	1;
215;	100;	242.3;	312.8;	6;	4;	333.835;	1;	S-N;	6;	5;	4;	64.109;	29.4;	22.4;	1;	1;
248;	100;	255.5;	313.5;	10004;	1;	20.761;	1;	N-E;	10004;	1;	4;	562.837;	13.0;	7.5;	1;	1;
198;	100;	228.5;	313.7;	6;	1;	333.835;	1;	S-N;	6;	5;	1;	64.109;	44.4;	38.1;	2;	1;
231;	100;	255.4;	313.9;	6;	1;	333.835;	1;	S-N;	6;	5;	2;	64.109;	22.1;	15.2;	1;	1;
233;	100;	257.7;	313.9;	6;	4;	333.835;	1;	S-N;	6;	5;	3;	64.109;	18.1;	12.1;	1;	1;
201;	100;	228.1;	314.1;	10003;	1;	98.302;	1;	S-W;	10003;	2;	4;	793.936;	44.4;	36.6;	1;	1;
204;	100;	230.6;	315.4;	6;	2;	333.835;	1;	S-E;	6;	1;	2;	562.837;	40.2;	35.7;	1;	1;
250;	100;	272.8;	315.4;	6;	1;	333.835;	1;	S-N;	6;	5;	2;	64.109;	7.7;	1.4;	2;	1;
211;	100;	236.2;	315.5;	6;	1;	333.835;	1;	S-N;	6;	5;	1;	64.109;	40.2;	31.6;	2;	1;
202;	100;	231.7;	317.1;	6;	4;	333.835;	1;	S-W;	6;	2;	3;	793.936;	37.9;	33.1;	1;	1;

شکل ۱۰. نمایش خروجی ارزیابی گره ویسیم (خروجی **Node Evaluation** با پسوند **KNR**)

این داده‌ها به صورت خام قابل استفاده نیستند و نیاز به آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها<sup>۱۸</sup> وجود دارد. خروجی به دست آمده از نرم‌افزار ویسیم با فرمت **txt** است بدین منظور در مرحله اول تبدیل قالب داده‌ها<sup>۱۹</sup> به فرمت مناسب و تغییر نوع داده‌ها از متنی

و تأخیر متوسط به عنوان متغیر وابسته در مدل سازی در نظر گرفته شدند. دو مدل با استفاده از GP به صورت زیر ساخته شد.

• مدل اول ساخته شده توسط GP

$$Y = \frac{X_1^2 \times X_3 \times X_1}{X_2} \quad (5)$$

که در آن، Y: تأخیر متوسط تقاطع (ثانیه)،  $X_1$ : نرخ اشباع،  $X_2$ : مجموع عرض رویکردها (متر) و  $X_3$  ظرفیت تقاطع (خودرو بر ساعت) است.

همان طور که توضیح داده شد برای به دست آوردن طول چرخه باید از این رابطه نسبت به طول چرخه مشتق گرفت و سپس رابطه را برحسب طول چرخه نوشت. علی رغم مقدار مناسب  $R^2$  به دلیل عدم وجود متغیر طول چرخه در این رابطه امکان نوشتن رابطه بر مبنای طول چرخه نیست بنابراین این رابطه مناسب نیست.

• مدل دوم (رابطه ۶) ساخته شده توسط GP

$$Y = X_0 \times X_1^2 \quad (6)$$

که در آن: Y: تأخیر متوسط تقاطع (ثانیه)،  $X_0$ : طول چرخه (ثانیه) و  $X_1$ : نرخ اشباع است.

در رابطه ۶ هرچند طول چرخه به عنوان متغیر در رابطه وجود دارد ولی به دلیل مقدار  $R^2$  بسیار پایین مدل دقت کافی برای ارائه رابطه ی طول چرخه را ندارد.

#### ۴. نتیجه گیری

در این مطالعه سعی شد مدل های شبیه سازی چند تقاطع ساخته شود و با تغییر طول چرخه و دیگر پارامترهای مرتبط، ارتباط بین طول چرخه و شاخص های ارزیابی را به دست آورد. شبیه سازی به عنوان یکی از روش های رایج برای بسیاری از مطالعات ترافیکی استفاده می شود. شرایط ترافیکی بسیار خاص ایران باعث می شود که این شبیه سازی ها علی رغم صرف زمان زیاد برای کالیبره کردن مدل ها چندان قابل اعتماد نباشند. علی رغم استفاده از روش مدل سازی GP که دقت بسیار بالایی در ساخت مدل دارد مدل های ساخته شده در مدل های ساخته شده در این مطالعه حساسیتی به طول چرخه ندارند. نتایج این مطالعه نشان

به عددی، صورت پذیرفت. به منظور ساخت داده های مورد نیاز جهت استفاده در مدل سازی GP با استفاده از خروجی های نرم افزار ویسیم و داده های ورودی به نرم افزار، جدول ۲ از متغیرهای مورد نیاز آماده شد. جدول ۲ داده های مورد استفاده در مدل سازی را نمایش می دهد که از متغیرهای طول چرخه تقاطع (CL)، نرخ اشباع (DS)، مجموع عرض رویکردهای تقاطع (Total width)، ظرفیت تقاطع (Capacity) و تأخیر متوسط (Average Delay) تشکیل شده است.

جدول ۲. نمایش بخشی از داده های استفاده شده در مدل سازی GP

CL	DS	Total width	Capacity	Average Delay
۶۰	۰,۶	۶۶	۶۲۰۰	۱۹,۷۸
۶۰	۰,۷	۶۶	۶۲۰۰	۲۱,۱۳
۶۰	۰,۸	۶۶	۶۲۰۰	۲۲,۵
۶۰	۰,۹	۶۶	۶۲۰۰	۲۵
۶۰	۱	۶۶	۶۲۰۰	۳۲,۳۹
۶۰	۱,۱	۶۶	۶۲۰۰	۶۸,۳۵
۶۰	۱,۲	۶۶	۶۲۰۰	۱۲۰,۴۵
۶۰	۱,۳	۶۶	۶۲۰۰	۱۵۹,۶۳
۶۰	۱,۴	۶۶	۶۲۰۰	۲۴۲,۹۴
۶۰	۱,۵	۶۶	۶۲۰۰	۲۹۱,۰۷
۷۰	۰,۶	۶۶	۶۲۰۰	۲۲,۸۴
۷۰	۰,۷	۶۶	۶۲۰۰	۲۴,۴۱
۷۰	۰,۸	۶۶	۶۲۰۰	۲۶,۳۷
۷۰	۰,۹	۶۶	۶۲۰۰	۲۹,۹۹
۷۰	۱	۶۶	۶۲۰۰	۴۴,۰۲
۷۰	۱,۱	۶۶	۶۲۰۰	۱۰۸,۰۳
۷۰	۱,۲	۶۶	۶۲۰۰	۱۵۹,۰۹
...	...	...	...	...

داده های جدول ۲ به عنوان ورودی در مدل سازی با الگوریتم GP استفاده شد. متغیرهای طول چرخه تقاطع، نرخ اشباع، مجموع عرض رویکردهای تقاطع، ظرفیت تقاطع به عنوان متغیر مستقل

## ساخت مدل طول چرخه بر مبنای داده‌های شبیه‌سازی با الگوریتم هوش مصنوعی GP - نقدی بر شبیه‌سازی ترافیکی

- امینی، ب.، انصاری یار، ع. و باباپور، م. (۱۳۹۳) 'ارائه رویکردی جدید برای تعیین طول چرخه بهینه و بیشینه‌سازی گذردهی در تقاطعات چراغ‌دار'، چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، ۱۴.

- Y. Wu, J. Lu, H. Chen, and H. Yang, "Development of an Optimization Traffic Signal Cycle Length Model for Signalized Intersections in China," Hindawi Publ. Corp., vol. 2015, no. 1, 2015.

- Li, H., Wang, D. and Qu, Z. (2004) 'Research on the optimal method of cycle length for signalized intersection', JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING.

- Al-Turki, M., Jamal, A., Al-Ahmadi, H., Al-Sughaiyer, M. A., & Zahid, M. (2020) 'On the potential impacts of smart traffic control for delay, fuel energy consumption, and emissions: An NSGA-II-based optimization case study from Dhahran, Saudi Arabia', Sustainability (Switzerland), 12(18), pp. 1-22. doi: 10.3390/SU12187394.

می‌دهد که حتی اگر مدل شبیه‌سازی به‌ظاهر کالیبره شده باشد، در استفاده از نتایج این‌گونه مدل‌ها باید احتیاط کرد چراکه شرایط مدل‌ها با شرایط ترافیکی ایران بسیار متفاوت است. بعضی از کشورهای آسیایی به همین علت به دنبال ساخت نرم‌افزارهای شبیه‌سازی بومی هستند.

### ۵. پی‌نوشت‌ها

1. Highway Capacity Manual 2000
2. Xi'an
3. Webster delay model
4. Nanjing
5. Non-dominated sorting genetic algorithm II
6. Synchro
7. Genetic Programming
8. John Koza
9. Terminal
10. Mean Square Error
11. Generations
12. Crossover
13. Mutation
14. Elitism
15. Offspring
16. Parents
17. High Resolution
18. Data preprocessing
19. Data Frame

### ۶. مراجع

- صفارزاده، م.، حادقی، م.؛ امامی میبیدی یزدی، م. و یزدی، م. (۱۳۹۵)، "تحلیل روابط طول چرخه و ظرفیت بهینه تقاطعات فرماندهی در شرایط فوق‌اشباع ترافیکی (نمونه موردی: تقاطع ابوطالب - کلاهدوز شهر مشهد)" شانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران، ایران.

- ثباتی، ع. و امینی، ب. (۱۳۸۵) 'تعیین طول چرخه بهینه برای تقاطع‌های چراغ‌دار

- بابائی‌زاده، ع. و مهرآذین، ه. (۱۳۸۷) 'روابط جدید زمان چرخه بهینه برای تقاطع‌های پیش‌زمان‌بندی‌شده مستقل با تغییر رابطه و بستر بر اساس روش HCM2000' نشریه دانشکده فنی، ۴، صفحه ۴۱۹ تا ۴۲۹.

فصلنامه مهندسی ترافیک/ سال بیست و سوم/ شماره ۹۳ / تابستان ۱۴۰۲

## **Developing Optimal Cycle Length Model Based on VISSIM Simulation Data with GP Algorithm-A Criticism on Simulation**

Mostafa Heydari, Golestan University, Golestan, Iran

Ali Gholami, Assistant Professor, Golestan University, Golestan, Iran

Saeed Rashvand, Golestan University, Golestan, Iran

Mahmoud Soleymani, Golestan University, Golestan, Iran

Mani Hazeghi, Mashhad Traffic and Transportation Organization, Mashhad, Iran

Farshid Firouzei, Mashhad Traffic and Transportation Organization, Mashhad, Iran

Seyed Hassan Mohsenian, Mashhad Traffic and Transportation Organization, Mashhad, Iran

Ali Pazhoumand Rad, Mashhad Traffic and Transportation Organization, Mashhad, Iran

E-mail: heydarimostafa97@gmail

### **Abstract**

Iranian cities are considered to be among the densest cities in the world. Population density and public transportation with poor performance, and the lack of pressures such as the cheapness of gasoline and regular taxis have caused many intersections in Iranian cities to operate under saturated and supersaturated conditions during peak traffic hours. The optimal cycle length can significantly reduce or even prevent traffic congestion. This study estimates the optimal cycle length with the objective of minimizing the intersection delay. For this purpose, different scenarios were simulated by changing the saturation rate (DS), cycle length (CL) and line capacity variables in VISSIM software, and the delay value was obtained for different cycle lengths.

**Keywords:** Oversaturation Condition, Cycle Length, GP algorithm, Delay, Traffic