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

Summer 2022, 3(2) 31-37
DOR: 20.1001.1.27832570.1401.3.2.4.4

Received: 25 May 2022
Accepted:16 July 2022

مقاله پژوهشی

Comparison of Linear and Non-linear Support Vector Machine Methods with Linear Regression for Short-term Prediction of Entry Queue Length and Arrival Volume Parameters at Isolated Adaptive Signal Controlled Intersections

Mohammad Ali KushanMoghaddam[1], Mehdi Fallah Tafti[2*]

1. MSc. Student, Department of Civil Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

2.Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.*(Corresponding Author)*
fallah.tafti@yazd.ac.ir

Abstract

IntroductionThis study was carried out in line with the development of adaptive traffic signal control systems to provide a better traffic control at intersections. In this approach, if the predicted data related to the future cycles are used to optimize the upcoming schedule, it will control the traffic in unforeseen cases and manage it before reaching the forthcoming cycles. In order to have enough data to create such a model, the required data from two intersections in Yazd city were collected and these intersections were simulated using AIMSUN software. Then these intersections were calibrated and validated for existing conditions. The prediction accuracy results were extracted by the proposed methods and compared with the linear regression method. RMSE, MAE and GEH errors were used to compare the methods.

Method: The predicted queue length and arrival volume parameters for any entry approach of itersections are major variables required during the adaptive signal control process, Hence, Linear and Non-linear Support Vector Regression Methods combined with the time series method were used to predict these parameters. For comparison of the performance of these models with a conventional model, Linear Regression models were also developed for the prediction of these parameters.

ResultsFor the developed model based on combined Linear Support Vector Regression and the time series methods, the number of optimal previous cycle data used in the model was measured as 6 and 2 previous data cycles for predicting the arrival volume at Pajuhesh and Seyed Hassan Nasrollah intersections, respectively. The optimal number of previous data used in the model was measured as 9 and 11 previous data cycles for predicting the queue length at Pajuhesh and Seyed Hassan Nasrollah intersections, respectively. Also, using the combined Non-Linear Support Vector Regression and the time series methods, the number of optimal previous data cycles was obtained as 8 and 2 cycles in predicting the arrival volume at Pajuhesh and Seyed Hassan Nasrollah intersections, and the number of optimal previous data cycles was obtained as 7 and 7 cycles in predicting the queue length at Pajuhesh and Seyed Hassan Nasrollah intersections.

Discussion: The results of RMSE, MAE and GEH measures were used to compare the performance of the developed models with the real data. This comparison indicated that the model based on the combined Non-Linear Support Vector Regression and time series methods, has produced the best performance in predicting traffic arrival volume than the other aforementioned models. However, in terms of predicting the queue length, this model produced a better performance than the combined Linear Support Vector Regression at only one of the intersections. The Linear Regression model produced the weakest performance in all comparisons. Thus, it can be concluded that the combined Support Vector Regression and time series methods are appropriate tools in predicting traffic parameters in these situations.

Keywords: Traffic Prediction, Adaptive Traffic Signal, Support Vector Regression, Queue Length, Intersection Entry Traffic Volume

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

مقایسه روش ماشین بردار پشتیبان خطی و غیرخطی با رگرسیون خطی جهت پیش‌بینی کوتاه‌مدت پارامتر طول صف و حجم ورودی رویکرد تقاطع جهت کنترل تطبیقی چراغ‌های راهنمایی منفرد

تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۳/۰۴
تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۰۴/۲۵

دورهٔ سوم، تابستان ۱۴۰۱
شمارهٔ دوم ، صص: ۳۱-۳۷

محمدعلی کوشان مقدم[۱]، مهدی فلاح تفتی[۲]*

۱. کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
۲. دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران. (نویسندهٔ مسئول) fallah.tafti@yazd.ac.ir

چکیده: این مطالعه به منظور تو سعه سیستم‌های کنترل چراغ راهنمایی با رویکرد تطبیقی جهت کنترل بهتر ترافیک در تقاطع‌ها صورت‌گرفته است. در این رویکرد اگر از داده‌های پیش‌بینی شده مربوط به سیکل‌های آینده به منظور بهینه سازی زمانبندی استفاده‌گردد، باعث کنترل ترافیک در موارد پیش‌بینی‌نشده و مدیریت آن قبل از رسیدن به سیکل مورد نظر می‌شود. در این راستا از روش رگرسیون بردار پشتیبان به صورت خطی و غیرخطی برای پیش‌بینی پارامتر طول صف و حجم ورودی به یک رویکرد به عنوان دو متغیر اصلی مورد نیاز در فرآیند کنترل تطبیقی استفاده‌شد. برای داشتن داده کافی جهت ایجاد چنین مدلی به آماربرداری از دو تقاطع شهر یزد و شبیه سازی آن‌ها در نرم‌افزار شبیه ساز ایمسان پرداخته شد. سپس این تقاطع‌ها برای شرایط موجود کالیبره و اعتبارسنجی گردیدند. نتایج دقت پیش‌بینی به روش‌های پیشنهادی استخراج‌شده و با روش رگرسیون خطی مقایسه‌گردید. نتایج نشان‌دادند که رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی دارای عملکرد بهتری نسبت به هر دوی مدل پیشنهادی در حالت خطی و رگرسیون خطی است. همچنین روش رگرسیون بردار پشتیبان خطی بهتر از رگرسیون خطی عمل‌می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی ترافیک، چراغ راهنمایی تطبیقی، رگرسیون بردار پشتیبان، طول صف، حجم ورودی به رویکرد تقاطع.

۱. مقدمه

ازدحام ترافیک یک مسئله بحرانی است که باعث شلوغی شبکه راه‌ها می‌گردد. یک ناحیه شهری در حال رشد، مسائل ترافیکی پیچیده‌ای در زندگی روزمره به‌وجودمی‌آورد. پدیده ازدحام ترافیک نمی‌تواند به‌تنهایی به‌وسیله توسعه فیزیکی زیر ساخت‌ها مانند احداث پل‌ها و راه‌ها حل شود. لازم است تا سیستم‌های فناورانه برای مدیریت حمل و نقل ایجاد شوند تا پدیده ازدحام ترافیک را کنترل‌کنند. یکی از این سیستم‌ها مربوط به کنترل چراغ‌های راهنمایی در تقاطع‌ها است.

در حال حاضر سه نوع سیستم کنترل چراغ راهنمایی داریم. در گروه اول با رویکردهای زمان ثابت[۱] (از پیش زمان‌بندی شده)، ترتیب و دوره فازها از قبل با توجه به وضعیت تقاطع مشخص‌شده‌است. این روش به شرایط مختلف ترافیک که ممکن است در وضعیت‌های متفاوت به‌وجود-آید، توجهی ندارد و به همین سبب ممکن است باعث تأخیرهای زیاد به هریک از رویکردها شود. گروه بعدی دارای رویکرد تحریک‌پذیر[۲] (سازگار با ترافیک) هستند که در آن چراغ‌ها قدری هوشمندتر شده و توانایی تطابق بیشتر با شرایط ترافیک را دارند. در حجم‌های ترافیک کم تا متوسط، توانایی کنترل مناسب تقاطع را خواهندداشت اما در حجم‌های ترافیکی بالا، به‌دلیل داشتن بیشترین و کمترین زمان سبز معین و غیرقابل‌تغییر در هر سیکل چراغ، ممکن است در یک بازه زمانی گسترده تر متشکل از تعدادی سیکل چراغ، به صورت بهینه عمل‌نکرده و پاسخگوی حجم ترافیکی کلی تقاطع نباشند. در نهایت در گروه سوم با رویکرد تطبیقی[۳] که هم‌اکنون از قدرتمندترین شیوه‌های کنترل تقاطع به‌شمارمی‌رود، می‌توان حجم ترافیک در سیکل‌های آتی چراغ را از روی وضع موجود ترافیک پیش‌بینی‌نمود و از این طریق برنامه کنترل تقاطع را از قبل طراحی‌کرد که در شرایط ترافیکی با حجم تقاضای بالا نیز کارایی مناسب را داشته‌باشد. در این روش زمان سبز در ابتدای هر سیکل مشخص خواهدشد. در این مطالعه برای پیش‌بینی ترافیک مذکور که مرحله دوم از فرآیند کنترل تطبیقی را تشکیل‌می‌دهد از روش هوش مصنوعی[۴] با نام رگرسیون بردار پشتیبان در چراغ‌های راهنمایی تطبیقی برای پیش‌بینی پارامتر طول صف[۵] و حجم ورودی[۶] به عنوان پارامترهای بیانگر میزان تقاضای ترافیک در رویکردهای ورودی تقاطع‌های چراغ‌دار استفاده‌گردید. این مدل پیش‌بینی بعدا می‌تواند برای توسعه الگوریتم جدیدی برای کنترل تطبیقی چراغ‌های راهنمایی در تقاطع‌ها استفاده-شود.

مطالعه مورد نظر از طریق شبیه‌سازی ترافیک تقاطع‌های منفرد چراغ‌دار و سیستم‌های کنترل ترافیک مورد استفاده در آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز ایمسان[۷] انجام‌شد. در یک مطالعه موردی، ابتدا داده های مورد نیاز از طریق مرکز کنترل ترافیک شهرداری و برداشت‌های میدانی برای شبیه‌سازی دو تقاطع چراغ‌دار شهر یزد جمع‌آوری‌شد. در مرحله بعد برای شبیه‌سازی مورد نظر، اطلاعات هندسی و ترافیکی و تنظیمات زمان‌بندی چراغ این تقاطع‌ها جهت شبیه‌سازی، کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل‌های ساخته‌شده برای آن‌ها مورد استفاده قرارگرفت. سپس با اجرای مدل هر تقاطع، در شرایط ترافیکی مختلف، پارامترهای ترافیکی، هندسی و زمان‌بندی رویکردهای مختلف هر تقاطع اندازه‌گیری و به این ترتیب مجموعه داده‌های مورد نیاز برای توسعه مدل رگرسیونی بردار پشتیبان[۸] پیش‌بینی‌کننده طول صف در سیکل یا سیکل‌های بعدی چراغ به‌دست‌آمده و دقت و عملکرد مدل حاصله با برارزیابی مقادیر پیش بینی توسط این مدل و مدل رگرسیون خطی با مقادیر واقعی حاصله از مدل تقاطع‌ها مقایسه‌شد.

در سال ۱۹۹۷ میلادی، برونا و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان "مقایسه میان روش‌های پیش زمان‌بندی شده[۹]، انتخاب از بین زمان‌بندی-های ارائه‌شده و مبتنی بر دانش[۱۰] برای کنترل تقاطع منفرد" به مقایسه روش کنترل زمان ثابت و روش‌های پاسخگوی تقاضا (سازگار با وسیله نقلیه) در تقاطع منفرد پرداختند. نتایج اولیه نشان‌دادند که روش‌های پاسخگوی تقاضا مبتنی بر سیستم‌های خبره[۱۱] نتایج بهتری را درمورد موقعیت‌های با ازدحام کمتر ارائه‌می‌دهند اما در ازدحام شدید، عملکرد روش کنترل زمان ثابت بهتر از روش‌های پاسخگوی تقاضا بود [۳].

گروه سوم که در بالا به آن پرداخته شد، سیستم‌های کنترل ترافیک تطبیقی هستند که به طور مداوم بر شرایط ترافیکی در راه‌های شهری نظارت‌می‌کنند و زمان‌بندی چراغ راهنمایی را به منظور مطابقت با تغییر در حجم ترافیک تنظیم‌می‌نمایند. همچنین تعداد توقف‌ها و میزان تأخیرها را کاهش‌می‌دهند. در سال ۱۹۹۹ میلادی، نیتیماکی در تحقیقی با عنوان "استفاده از منطق فازی[۱۲] به منظور کنترل چراغ‌های راهنمایی در تقاطع‌ها چند فازه[۱۳]"، به طور کلی به بحث در مورد پردازش کنترل چراغ راهنمایی فازی و ارائه نتایج جدید کنترل چندفازه پرداخت. نتایج وی نشان‌دادند که کنترل فازی عملکردی حداقل برابر یا بهتر از کنترل قدیمی سازگار وسیله نقلیه دارد [۴].

به طور کلی، ساختار کنترل تطبیقی شامل مراحل ذیل می‌باشد:

- شناسایی
- پیش‌بینی
- بهینه‌سازی (تصمیم‌گیری)

مرحله اول در فرآیند برنامه کنترل تطبیقی، شناسایی[۱۴] خودروهایی است که وارد یک رویکرد تقاطع می‌شوند. شناسایی وسیله نقلیه، توانایی است که حضور، عبور و مشخصات خودروهای شخصی را در راه حس کرده و نشان‌می‌دهد. کنترل چراغ راهنمایی پاسخگوی تقاضا، احتیاج به شناسگر[۱۵]های وسیله نقلیه برای ارائه اطلاعات دقیق درباره شرایط ترافیکی غالب در زمان واقعی (به صورت بلادرنگ) دارد. چنین اطلاعاتی معمولاً توسط کنترل‌کننده جهت تخمین میزان زمان سبز مورد نیاز برای هر گروه چراغ یا مجموعه گروه‌های چراغ استفاده‌می‌گردد. درسال ۲۰۱۸ میلادی، یولیانتو در پژوهشی با عنوان "تکنولوژی شناسگر برای کنترل چراغ راهنمایی پاسخگوی تقاضا تحت شرایط ترافیکی مختلط[۱۶]" به معرفی انواع شناسگر خودرو و ویژگی‌های آن‌ها پرداخت. شناسگرهای

مورد استفاده در این سیستم از نوع لوپ القایی[17]، رادار مایکروویو[18]، اولتراسونیک[19] و پردازش تصویر ویدیویی[20] هستند. طبق پژوهش وی، شناسگر ویدیویی از جمله پیشرفته‌ترین شناسگرهاست که متشکل از یک یا چند دوربین ویدیویی، یک میکروپردازشگر مبتنی بر سیستم برای عددی کردن و پردازش تصویر ویدیویی و نرم‌افزار برای تفسیر تصاویر و تبدیل آن‌ها به داده‌های پارامتری ترافیکی هستند. دوربین‌های ویدیویی، ورودی‌های تصویری را برای سیستم پردازشگر تصویر ویدوئی[21] (VIP) ارائه‌می‌کنند. با تحلیل موفق قاب‌های ویدیویی، سیستم VIP قادر به محاسبه داده‌های پارامتری ترافیکی است. این سیستم قادر به اندازه گیری پارامترهای پایه (حجم، نرخ اشغال، حضور، فاصله عبور، سرعت، طبقه‌بندی وسایل نقلیه) و پارامترهای پیچیده (طول صف، دانسیته، تأخیر، تشخیص حوادث، تغییرات خط، حرکات گردشی خودروها) است که به‌طور گسترده در کنترل چراغ راهنمایی تطبیقی استفاده‌می‌شود. سپس کنترل‌کننده محلی اطلاعات را پردازش‌کرده و به کامپیوتر مرکزی انتقال خواهدداد تا چرخه‌های چراغ راهنمایی را بر پایه اطلاعات تقاطع محلی تنظیم‌کند. وی نتیجه‌گرفت طول صف (متر) و نرخ اشغال[22] (درصد) ارائه‌شده توسط سیستم پردازش تصویر وسیله نقلیه، مناسب ترین داده ورودی برای یک کنترل چراغ راهنمایی پاسخگوی تقاضا[23] تحت شرایط ترافیکی مختلط است. سیستم VIP می‌تواند طول صف را به‌طور مستقیم هر ثانیه و به صورت جداگانه برای هر خط عبور اندازه بگیرد [۵].

مرحله دوم در فرآیند برنامه کنترل تطبیقی، استفاده از اطلاعات به دست آمده از مرحله شناسایی به منظور پیش‌بینی[24] و تعیین الگوهای ورود خودروها به تقاطع است. پیش‌بینی از نظر افق زمانی به پیش‌بینی های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت تقسیم می‌گردد. پیش-بینی‌های کوتاه‌مدت، بازه‌های زمانی از چند دقیقه تا چند ساعت را شامل می‌شود و یکی از موارد استفاده آن‌ها در زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی است. نوعی از این پیش‌بینی به صورت پیش‌بینی تقاضا است که دو روش کیفی و کمی برای آن تعریف شده است. در پیش‌بینی‌های کمی با استفاده از روش‌های ریاضی و داده‌های جمع‌آوری شده و یا متغیرهای علت و معلولی، تقاضا را پیش‌بینی می‌نمایند. از جمله روش‌های کمی پیش‌بینی تقاضا شامل تخمین ساده[25]، میانگین متحرک مدل‌های سری-های زمانی[26]، هموارسازی نمائی[27]، بررسی روند[28] و علت و معلولی هستند.

در سال ۲۰۱۷ میلادی، کیم و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان "استفاده از پیش‌بینی سری‌های زمانی برای کنترل چراغ راهنمایی تطبیقی" نوعی پیش‌بینی بر اساس تنظیم چراغ راهنمایی پیشنهادکردند که با تمدید چراغ سبز در زمان واقعی سعی در پیش‌بینی و کاهش وضعیتی دارد که در آن چراغ سبز قبل از عبور از تقاطع قرمز می‌شود. روش پیشنهادی آن‌ها در سه تقاطع با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی مورد استفاده قرارگرفت. نتایج حاصله حاکی از افزایش کارایی ترافیک و کاهش در کل تعداد خودروهای منتظر و زمان تأخیر در حالت استفاده از روش سری‌های زمانی بودند [۶].

در سال ۲۰۰۳ میلادی، سان و همکاران در پژوهشی با عنوان "استفاده از مدل رگرسیون خطی محلی[29] برای پیش‌بینی ترافیک کوتاه مدت" به مقایسه مدل پیشنهادی با نتایج قبلی روش‌های غیرپارامتری که بر اساس رگرسیون ثابت محلی[30] هستند مانند نزدیک‌ترین همسایه K[31] و کرنل[32] پرداختند. داده جمع‌آوری‌شده، سرعت ترافیک ۳۲ روزه از قطعه‌ای راه در آمریکا در فواصل زمانی ۵ دقیقه بود. نتایج نشان‌داد که روش‌های خطی محلی عملکرد بهتری از آن دو روش دارند [۷].

در سال ۱۳۹۷ شمسی، امرادی و دیواندری در تحقیقی با عنوان "ارزیابی تأثیر فاکتورهای ترافیکی در پیش‌بینی مدل تخمین تأخیر چراغ های راهنمایی و رانندگی"فاکتورهای ترافیکی در پیش‌بینی مدل تخمین تأخیر چراغ‌های راهنمایی و رانندگی در تقاطع‌های خیابان ولیعصر تهران از میدان راه‌آهن تا میدان ولیعصر را به‌کارگرفته و از داده‌های مستند هفت متغیر به شرح حجم ورودی به تقاطع V، طول چرخه چراغ C، سرعت متوسط حرکت S، متوسط زمان توقف هر خودرو T، تعداد فاز N، نسبت حجم به ظرفیت V/C و تعداد ترمز هر وسیله نقلیه B به منظور ارائه مدل تخمین تأخیر چراغ‌های راهنمایی D استفاده کردند. روش گردآوری داده‌ها به‌صورت میدانی و مدل تخمین میزان تأخیر از انواع مدل‌های رگرسیون (خطی، سهمی، توانی، نمایی و لگاریتمی) بود. یافته های تحقیق حاصل از مدل رگرسیون پواسون نشان داد که متغیرهای حجم ورودی به تقاطع، طول چرخه چراغ، سرعت متوسط حرکت، تعداد فاز و تعداد ترمز هر وسیله نقلیه پشت چراغ، نقش مؤثری در میزان تأخیر در چراغ‌های راهنمایی‌ورانندگی داشته و می‌توان مدل رگرسیونی را بر اساس این متغیرها تخمین‌زد. دو متغیر متوسط زمان توقف هر خودرو و نسبت حجم به ظرفیت، قابلیت پیش‌بینی و برآورد میزان تأخیر چراغ‌های راهنمایی و رانندگی نداشته‌اند [۱].

هوش مصنوعی به عنوان شاخه‌ای از علوم کامپیوتر برای تشریح کردن سیستم‌هایی به‌کارمی‌رود که هدف آن‌ها استفاده از ماشین‌ها برای تقلید و شبیه‌سازی هوش انسانی و رفتارهای مرتبط با آن است. شاخه‌های گوناگونی از هوش مصنوعی در دانش‌های رایانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند که برخی از آن‌ها شامل یادگیری ماشین[33]، شبکه عصبی مصنوعی، بینایی ماشین[34]، سامانه‌های خبره، پردازش زبان طبیعی، الگوریتم ژنتیک[35]، مفاهیم مرتبط با روباتیک هستند. عراقی و همکاران در سال ۲۰۱۵ میلادی در تحقیقی با عنوان "مروری بر روش‌های هوش محاسباتی برای کنترل زمان‌بندی چراغ راهنمایی" از روش هوش مصنوعی استفاده ردند؛ زیرا روش‌های هوشمند نشان‌دهنده عملکردی بالاتر در مقایسه با روش‌های کنترل قدیمی هستند. روش مورد استفاده در این تحقیق هوش محاسباتی (یادگیری Q و شبکه عصبی و منطق فازی) و زمان ثابت است. وسعت کاربرد آن در تقاطع به صورت مجزا و روش ارزیابی، شبیه‌سازی تقاطع با نرم‌افزار شبیه‌ساز PARAMICS بود. شاخص مورد استفاده جهت ارزیابی روش، تأخیر کلی ترافیک تقاطع بود. نتیجه حاصل از این مقاله، نشان‌داد که به طور

متوسط روش یادگیری تقویتی۶۶٪ و شبکه عصبی ۷۱٪ و منطق فازی ۷۴٪ عملکرد بالاتری در مقایسه با کنترل‌کننده زمان ثابت دارند [۸].

ماشین بردار پشتیبان یک الگوریتم نظارت شده یادگیری ماشین است که در سال ۱۹۹۵ میلادی توسط کرتس و وپنیک ارائه گردید. این نوع از شبکه‌های عصبی برخلاف برخی از شبکه‌های عصبی دیگر به جای کمینه کردن خطای مدل‌سازی، در مقابل ریسک عملیاتی را به عنوان تابع هدف در نظرمی‌گیرند و مقدار بهینه آن را حساب‌می‌کنند. این الگوریتم برای مسائل طبقه‌بندی (کلاسترینگ بردار پشتیبان[۳۶]) و مسائل پیش‌بینی (رگرسیون بردار پشتیبان[۳۷]) قابل‌استفاده است. در سال ۲۰۰۷ میلادی، شیمین و شوفنگ در تحقیقی با عنوان "پیش‌بینی پراکندگی جریان ترافیک وسایل نقلیه در کنترل چراغ هماهنگ بر اساس رگرسیون بردار پشتیبان" به جمع‌آوری پارامترهای جریان (تردد)، دانسیته و سرعت از طریق حسگر مایکروویو از راه دور[۳۸] (شناسگر) و پیش‌بینی پراکندگی حرکت گروهی[۳۹] پرداختند. وسعت کار آن‌ها به صورت هماهنگ و شاخص مورد استفاده جهت ارزیابی، میانگین خطای مربع[۴۰] بود. نتایج نشان‌دادند درمقایسه با فرمول رابرتسون، مدل SVR دقت پیش‌بینی بالاتری دارد و همچنین با افزایش افق پیش‌بینی، دقت پیش‌بینی کاهش‌می‌یابد [۹].

با توجه به اینکه پیش‌بینی، مرحله دوم از فرآیند کنترل تطبیقی را تشکیل‌می‌دهد لذا استفاده از مدل‌های پیش‌بینی برای تشخیص الگوی پارامترهای سیستم تطبیقی لازم است. بر مبنای مرور ادبیات ارائه‌شده در این بخش مشخص‌می‌شود که تاکنون از روش‌های پیش‌بینی مختلفی اعم از روش‌های سنتی (مانند روش‌های رگرسیون خطی و سری زمانی) و اخیرا از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی (مانند روش‌های یادگیری، منطق فازی و ماشین بردار پشتیبان) برای پیش‌بینی پارامترهای جریان های ترافیکی در شرایط مختلف استفاده‌شده‌است. در این میان، روش رگرسیون بردار پشتیبان یا SVR یکی از آن‌هاست. همانگونه که اشاره شد کاربرد این روش برای پیش‌بینی پراکندگی جریان‌های ترافیکی در شبکه‌ای متشکل از چراغ‌های راهنمایی هماهنگ‌شده موفقیت‌آمیز بوده است ولی شواهدی از کاربرد قبلی آن به منظور پیش‌بینی پارامترهای مورد استفاده در سیستم کنترل چراغ‌های راهنمایی تطبیقی در تقاطع‌های کنترل شده به صورت منفرد مشاهده‌نشد. برای استفاده از این روش در سیستم‌های تطبیقی، دو پارامتر ترافیکی طول صف و حجم ورودی به رویکرد مورد استفاده قرارگرفت. با استفاده از روش پیش‌بینی مورد نظر، پارامترهای مذکور برای افق زمانی معینی در آینده پیش‌بینی شد و در اختیار سیستم قرارگرفت تا با مدیریت سیستم، زمان سبز بهینه برای رویکردها مشخص‌گردد. همچنین اندازه‌گیری این پارامترها توسط سیستم‌های پردازش تصویری مقدار دقیق‌تری را ارائه‌می‌کند اما به دلیل محدودیت‌های موجود برای تهیه میدانی این داده‌ها، در این مطالعه از داده‌های حاصله از شبیه‌سازی حداقل دو تقاطع شهر یزد استفاده شده‌است.

۲. روش تحقیق

۱،۲.جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات

با بررسی‌های صورت‌گرفته بر روی چند تقاطع یزد، دو چهارراه پژوهش و سیدحسن نصرالله به دلیل حجم بالای ترافیک و مرکزیت آن مورد مطالعه قرارگرفتند. سپس به جمع‌آوری اطلاعات آن‌ها پرداخته‌شد. به طوری که آمار زمان‌بندی زمان سیکل و زمان سبز مؤثر موجود برای تمام رویکردها از مرکز کنترل ترافیک شهرداری دریافت‌شد. اطلاعات هندسی هم با برداشت‌های میدانی و دسترسی به نقشه تقاطع استخراج‌گردید و پارامترهایی از جمله حجم تردد، طول صف از طریق برداشت‌های میدانی به‌دست‌آمد.

۲،۲.شبیه‌سازی تقاطع‌ها

برای مدل‌کردن تقاطع‌ها از نرم‌افزار شبیه‌سازی ایمسان استفاده‌شد. برای این منظور یک ساعت داده‌های میدانی جمع‌آوری‌شده (تقاضا و زمان‌بندی) از هر تقاطع به دو بازه ۳۰ دقیقه‌ای داده جهت کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل تقسیم‌شد. پس از آن شبیه‌سازی در ۱۰ مرحله (در ادامه به آن پرداخته خواهدشد) اجرا گردید. سپس طول صف دو رویکرد عمود بر هم هر تقاطع و حجم عبوری از هر دتکتور پشت خط ایست در هر رویکرد به عنوان نتایج شبیه‌سازی استخراج‌شدند. از این نتایج جهت کالیبراسیون و اعتبارسنجی استفاده‌گردید که برای این منظور محاسبه خطاهای AMSE[۴۱]، RMSE[۴۲] و GEH[۴۳] و مقدار حداکثر خطای قابل قبول ۱۵ درصد مدّ نظر قرارگرفت.

تعداد کافی اجراهای نرم‌افزار مطابق با دستورالعمل نحوه شبیه‌سازی، کالیبراسیون و اعتبارسنجی نرم‌افزار ایمسان [۲] از قضیه حد مرکزی مطابق رابطه زیر به‌دست‌می‌آید. بدین منظور از پارامترهای مورد استفاده در سطح شبکه مدل‌شده شامل پارامتر زمان سفر کل[۴۴] شبکه و تردد[۴۵] کل شبکه در یکی از موارد مورد بررسی استفاده‌می‌شود که نتیجه آن برای وضعیت دیگر نیز قابل‌تعمیم می‌باشد. در این تحقیق با در نظر گرفتن توصیه‌ها، جهت اطمینان بیشتر تعداد تکرار اجرای مدل برابر با ۱۰ انتخاب‌می‌گردد.

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

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

۳،۲.ساخت الگوریتم پیش‌بینی

رگرسیون بردار پشتیبان تعمیمی بر ایده ماشین‌های بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی باینری (دو مقداری) است. در SVM ورودی‌ها در فضای n بعدی بودند اما خروجی‌ها یا ۱+ یا ۱- یعنی دو مقداری یا باینری بودند ولی در رگرسیون بردار پشتیبان فرض بر اینست که خروجی‌ها بیش از دو مقدار و در واقع بی‌نهایت مقدار می‌توانند بگیرند. این خروجی‌ها به شکل حقیقی هستند که می‌توان از آن‌ها در فضای پیوسته برای تخمین مقادیر

تابع جهت تقریب تابع، برازش منحنی و دیگر کاربردها مانند مباحث پیش‌بینی سری‌های زمانی و غیره بهره‌برد. می‌توان در روابط مربوط به رگرسیون بردار پشتیبان از جایگذاری کرنل برای داشتن مدل غیرخطی بهره برد. در اینجا تابع کرنل از نوع گوسی انتخاب شده‌است.

یکی از کاربردهای شبکه‌های عصبی، پیش‌بینی سری‌های زمانی است یعنی از یک شبکه عصبی به منظور پیش‌بینی یک سری زمانی از اطلاعات مشاهده‌شده در دوره‌های متوالی زمان در آینده استفاده‌گردد. هنگامی که از پیش‌بینی صحبت می‌کنیم، قطعا فرض بر اینست که رفتار این سیستم در زمان‌های مختلف ثابت است و قرار نیست تغییر زیادی در رفتار سیستم مشاهده شود. در اینجا فرض‌می‌شود که سری زمانی برداشت‌شده، مربوط به فرآیندی است که این فرآیند، حالت قبلی یا گذشته را می‌گیرد و آن را به حالت فعلی یا حال یا آینده تبدیل‌می‌کند. کار این فرآیند، شیفت زمانی است. حال به نحوه ایجاد داده‌های تأخیر می‌پردازیم. فرض‌شود داده‌های ما برابر با x_1 در لحظه ۱، x_2 در لحظه ۲... تا x_{100} در لحظه ۱۰۰ هستند. یعنی در ۱۰۰ گام زمانی نمونه‌برداری انجام‌شده‌است که این همان سری زمانی مربوطه است. می‌خواهیم x لحظه t را به صورت تابعی از x لحظه $t-1$ بیان کنیم. در این حالت مجموعه داده ما هر زوج از x_t و $x_{(t-1)}$ هاست که $x_{(t-1)}$ ورودی و x_t خروجی می‌باشد، x_t، $x_{(t-1)}$ را ندارد. پس اولین خروجی تخمینی که این تأخیرها را دارد x_2 است و تاخیر آن x_1 است. به همین صورت الی آخر تا x_{100} که تأخیر آن x_{99} است.

۴،۲.ساخت مدل‌ها

بعد از کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل به تعیین نقطه ظرفیت تقاطع پرداخته شد. برای این منظور، از ایجاد چند مدل شبیه‌سازی با تقاضایی به نسبت حجم‌های برداشتی در ۳۰ دقیقه دوم آماربرداری و سیستم کنترل چراغ مبتنی بر زمان‌بندی ثابت محاسبه‌شده به روش وبستر برای این تقاضاها استفاده‌شد. به این صورت که حجم‌های برداشتی به صورت سیکل به سیکل به تردد ساعتی معادل تبدیل‌شده و با افزایش و کاهش ۱۰ درصدی از این حجم‌ها، برای تقاطع پژوهش ۹ پروفایل تقاضا و برای تقاطع سیدحسن نصرالله ۱۴ پروفایل حجم تقاضای ترافیک ۳۰ دقیقه‌ای به صورت سیکل به سیکل ساخته و شبیه‌سازی ترافیک تقاطع برای هریک از آن‌ها انجام‌شد. تقاطع پژوهش در نقطه‌ای با تقاضای ۱/۴ برابر تردد ساعتی برداشتی ۳۰ دقیقه دوم و تقاطع سیدحسن نصرالله در نقطه‌ای با تقاضای ۱/۸ برابر تردد ساعتی برداشتی ۳۰ دقیقه دوم به ظرفیت خود رسیدند.

پس از تعیین نقطه ظرفیت تقاطع، نوبت به ساخت مدل اصلی است که شامل ترافیک با ازدحام کم تا نقطه ظرفیت و کمی بعد از آن باشد. بدین منظور با یافتن نقطه اوج در مدت آماربرداری و برداشت زمان سیکل و تقاضای متناسب با آن، انواع تغییر ازدحام از ۰/۷ برابر حجم میدانی سیکل به سیکل تا نقطه ظرفیت تقاطع مورد نظر ایجادگردید.

۳. نتیجه

در تمام محاسبات فوق برای در نظر گرفتن افق پیش‌بینی در ترکیب رگرسیون بردار پشتیبان خطی با سری زمانی بر روی داده‌ها، تعداد داده ماقبل بهینه ۶ و ۲ سیکل در پیش‌بینی حجم ورودی تقاطع پژوهش و سیدحسن نصرالله و تعداد داده ماقبل ۹ و ۱۱ سیکل در پیش‌بینی طول صف تقاطع پژوهش و سیدحسن نصرالله به دلیل داشتن کمترین خطای RMSE مناسب تشخیص داده‌شد. همچنین در ترکیب رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی با سری زمانی، تعداد داده ماقبل بهینه ۸ و ۲ سیکل در پیش‌بینی حجم ورودی تقاطع پژوهش و سیدحسن نصرالله و تعداد داده ماقبل ۷ و ۷ سیکل در پیش‌بینی طول صف تقاطع پژوهش و سیدحسن نصرالله محاسبه شد. جهت مقایسه روش‌ها از خطاهای RMSE و MAE[۴۶] و GEH استفاده شد. همانطور که جدول‌های ۱ تا ۴ نشان‌می‌دهند که روش رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی نسبت به دو روش مذکور دارای خطای محاسباتی کمتری است. همچنین روش رگرسیون بردار پشتیبان خطی دارای عملکرد بهتری از روش رگرسیون خطی می‌باشد. این موضوع بیانگر عملکرد غیرخطی پارامترهاست که باعث شده تا رگرسیون غیرخطی پیش‌بینی بهتری از دو مورد دیگر انجام‌دهد.

جدول ۱: خلاصه محاسبات خطای پیش‌بینی حجم در تقاطع پژوهش

روش پیش‌بینی		آزمون خطا		
		RMSE	MAE	GEH
ترکیب سری زمانی و رگرسیون بردار پشتیبان خطی	SVRTSP	۵/۳۶	۲/۵۲	۰/۶۱۱۹
ترکیب سری زمانی و رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی	SVRKTSP	۲/۷۲	۱/۲۷	۰/۳۲۲۸
رگرسیون خطی	LR	۷/۹۳	۴/۳۴	۰/۹۵۶۲

جدول ۲: خلاصه محاسبات خطای پیش‌بینی حجم در تقاطع سید حسن نصرالله

روش پیش‌بینی		آزمون خطا		
		RMSE	MAE	GEH
ترکیب سری زمانی و رگرسیون بردار پشتیبان خطی	SVRTSP	۱۱/۰۱	۹/۰۷	۱/۰۲۷۲
ترکیب سری زمانی و رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی	SVRKTSP	۱۰/۷۰	۹/۰۳	۱/۰۱۶۲
رگرسیون خطی	LR	۱۱/۹۵	۱۰/۱۱	۱/۱۳۵۷

جدول ۳: خلاصه محاسبات خطای پیش‌بینی طول صف در تقاطع پژوهش

روش پیش‌بینی		آزمون خطا		
		RMSE	MAE	GEH
ترکیب سری زمانی و رگرسیون بردار پشتیبان خطی	SVRTSP	۷/۰۰	۳/۳۲	۰/۹۶۵۱
ترکیب سری زمانی و رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی	SVRKTSP	۵/۴۸	۳/۰۲	۰/۹۶۴۹
رگرسیون خطی	LR	۱۳/۱۱	۶/۶۵	۱/۷۱۶۳

جدول ۴ : خلاصه محاسبات خطای پیش‌بینی طول صف در تقاطع سیدحسن نصرالله

روش پیش‌بینی		آزمون خطا		
		RMSE	MAE	GEH
ترکیب سری زمانی و رگرسیون بردار پشتیبان خطی	SVRTSP	۰/۵۷	۰/۴۲	۰/۱۱۱۴
ترکیب سری زمانی و رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی	SVRKTSP	۱/۴۲	۱/۱۴	۰/۲۹۹۹
رگرسیون خطی	LR	۲/۲۹	۱/۹۳	۰/۴۵۸۷

مراجع

[1] Emradi and Divandari, "Evaluating the impact of traffic factors in predicting traffic light delay estimation model", International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development Management in Iran, Tehran, 1397.

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

[3] Bruno, Giuseppe, Giovanni Buommino, and Gennaro Improta. *"Comparison Among Pre-Timed, Plan Selection and Knowledge-Based Strategies for Individual Junction Control."* IFAC Proceedings Volumes 30, no. 8. 1997.

[4] Niittymäki, Jarkko. *"Using fuzzy logic to control traffic signals at multi-phase intersections."* In International Conference on Computational Intelligence, pp. 354-362. Springer, Berlin, Heidelberg, 1999.

[5] Yulianto, Budi. *"Detector technology for demand responsive traffic signal control under mixed traffic conditions."* In AIP Conference Proceedings, vol. 1977, no. 1, p. 040021. AIP Publishing LLC, 2018.

[6] Kim, S., M. Keffeler, T. Atkison, and A. Hainen. *"Using Time Series Forecasting for Adaptive Traffic Signal Control."* In Proceedings of the International Conference on Data Science (ICDATA), pp. 34-39. The Steering Committee of the World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp), 2017.

[7] Sun, Hongyu, Henry X. Liu, Heng Xiao, Rachel R. He, and Bin Ran. *"Use of local linear regression model for short-term traffic forecasting."* Transportation Research Record 1836, no. 1. 2003.

[8] Araghi, Sahar, Abbas Khosravi, and Douglas Creighton. *"A review on computational intelligence methods for controlling traffic signal timing."* Expert systems with applications 42, no. 3. 2015.

[9] Ximin, Liu, and Lu Shoufeng. *"Vehicular traffic flow dispersion prediction of coordinated signal control based on support vector regression."* In 2007 Chinese Control Conference, pp. 49-52. IEEE, 2007.

پی‌نوشت

1. Fixed-timing or Pre-timed
2. Traffic Actuated
3. Adaptive
4 Artificial Intelligence Techniques
5. Queue Length
6. Arrival Volume
7. AIMSUN
8. SVR: Support Vector Regression
9. Plan Selection
10. Knowledge-based Strategies
11. Expert Systems
12. Fuzzy Logic
13. Multi-phase Intersections
14. Detection
15. Detector
16. Mixed Traffic Conditions
17. Inductive Loop
18. Microwave Radar
19. Ultrasonic
20. Video Image Processing (VIP)
21. Video Image Processor
22. Occupancy Rate
23. Demand Responsive Traffic Signal Control
24. Prediction
25. Naive Approach
26. Moving Average
27. Exponential Smoothing
28. Trend Projection
29. Local Linear Regression
30. Local Constant Regression
31. K-Nearest Neighbor
32. Kernel Methods
33. Machine Learning
34. Machine Vision
35. Genetic Algorithm
36. Support Vector Clustering
37. Support Vector Regression
38. Remote Traffic Microwave Sensor (RTMS)
39. Platoon
40. Mean Squared Error (MSE)
41. Average Mean Squared Error (AMSE)
42. Root Mean Squared Error (RMSE)
43. Geoffrey E Havers Statistic (GEH)
44. Total Travel Time
45. Flow
46. Mean Absolute Error (MAE)