




## Forecasting Travel Demand using Self-Correlated Moving Average Time Series Methods (Case Study: Qom-Tehran Freeway)

Research Article

Hassan Khaksar<sup>1</sup> , Seyed Ahmad Almasi,<sup>2</sup> Mohammad Mehdi Khabiri<sup>3</sup>, Amir Golro<sup>4</sup>, Hossein Bahmani<sup>5</sup>

DOI: [10.22067/jfeci.2023.77217.1157](https://doi.org/10.22067/jfeci.2023.77217.1157)

### 1. Introduction

Transportation, as one of the most important parts of the infrastructure of any country, is of great importance in mobility and dynamism of any society in order to achieve the goals of economic and social development programs. One of the main factors that can play a guiding role in the policy making and grand plans of every country's senior managers in order to achieve the above goals is travel demand forecasting. In order to plan and manage the national macro in the coming years, it is necessary to forecast the volume of travel demand. If the current travel demand is available, it is possible to predict the travel demand for the future. Tehran-Qom freeway is the main corridor of the north-south freeway, which hugely contributes to the transfer of goods (about 600 million tons annually) and passengers from the north to the south of the Iran. A high volume of vehicles pass through this freeway continuously and on all days of the year, especially on religious occasions. Therefore, forecasting travel demand for this freeway seems essential. Therefore, in order to correctly predict the amount of travel demand in different origins and destinations, in order to ensure the need to build different routes in the future, it is necessary to use more accurate methods in the forecasting process.

### 2. Literature review

In previous studies, the use of traditional transportation demand modeling based on separate trips has created many challenges and caused changes and transformations in such models. Most researchers have developed forecasting models with sample values without calibration, but the input parameters of these models can affect many of the extracted results, especially the traffic flow pattern prediction. Therefore, among the available forecasting methods, time series methods are widely used in forecasts when problem data is available sequentially. This method can provide accurate results. Forecasting travel demand is

very important for national strategy planning. Therefore, it is necessary to choose the right method for forecasting. The methods that have been used before for modeling and forecasting travel demand are mainly based on four-step methods. Therefore, predictions are often made with regression and neural network methods, based on the results of origin-destination studies, and using parameters such as population-income-cost per capita car ownership to predict travel between origins and destinations.

### 3. Method

The identification process based on linear models such as ARMA is known as the Box-Jenkins method, which includes 4 steps. In the current research, the data of the traffic counter (plate reader) of the Qom-Tehran highway were used in a 10-year period. The type of available data is time series data, and according to this aspect of the nature of the data, their modeling should be done. A time series is a set of quantitative observations that are measured consecutively at time intervals.

There are different techniques for modeling, and parametric method of autocorrelated moving average is one of the time series models; Therefore, in order to predict the travel demand, autoregressive (AR), moving average (MA), autocorrelated moving average (ARMA) methods were used in this research according to Equations 1 to 5, using ITSM software.

$$X_t - \mu = \varphi(X_{t-1} - \mu) + a_t \quad (1)$$

We consider the prediction problem in a future time unit, by replacing  $t$  with  $t+1$  in Equation 1 and having  $X_1, \dots, X_{t-1}, X_t$ , if we consider the conditional mathematical expectation of both sides of the above equation, the Equation 2 is obtained:

$$\hat{X}_t(1) - \mu = \varphi[E(X_t | X_1, X_2, \dots, X_{t-1}) - \mu] + E(a_{t+1} | X_1, X_2, \dots, X_t) \quad (2)$$

\*Manuscript received: February 12, 2023, Revised, September 7, 2022, Accepted, June 19, 2022.

<sup>1</sup> Corresponding Author: Faculty of Engineering, Islamic Azad University, North Tehran Branch .

**Email:** [h.khaksar@iau-tnb.ac.ir](mailto:h.khaksar@iau-tnb.ac.ir)

<sup>2</sup> PHD candidate, transportation engineering, Imam Khomeini University.

<sup>3</sup> Associate Professor, Civil Engineering Department - Geotechnics and Road, Yazd University.

<sup>4</sup> Assistant Professor Department of Civil and Environmental Engineering Geotechnics, Roads and Transportation Specialty.

<sup>5</sup> Ph.D. Candidate, Civil Engineering Department, Yazd University, Yazd, Iran.

To illustrate how to solve the problems that arise in forecasting moving averages or compound patterns, we consider the case of MA (1) with an anti-zero mean:

$$X_t = \mu + a_t - \theta a_{t-1} \quad (3)$$

Again, if we replace  $t$  with  $t+1$  and consider the mathematical hopes of both sides, we will have:

$$X_{t+1} = \mu - \theta E(a_{t+1} / X_t, X_{t-1}, \dots, X_1) \quad (4)$$

However, for an invertible pattern, Equation 5 shows that  $a_t$  is a function of  $\dots, X_t$ :

$$E(a_t / X_t, X_{t-1}, \dots, X_1) = a_t \quad (5)$$

#### 4. Case study

The required data were extracted from the traffic counter data (plate reader) on a monthly and daily basis of the Road Organization of the country on the Qom-Tehran route. The degree of correlation between independent variables was measured to reduce the error. After modeling and forecasting, the models were compared based on the degree of correlation and the degree of accuracy in estimating the dependent variable in each model. Table 1 shows the correlation and absolute error of the time series method, which shows that the time series method has an acceptable correlation and error for prediction.

**Table 1. Comparison of predicted values by month**

| Month     | Actual values | Predicted values | Absolute error (x 1000) |
|-----------|---------------|------------------|-------------------------|
|           | Basic data    | time series      | Standard deviation      |
| April     | 1163327       | 1194758          | -31.43                  |
| May       | 988187        | 987241           | 0.94                    |
| June      | 837682        | 841487           | -3.805                  |
| July      | 1064400       | 1064157          | 0.243                   |
| August    | 1071527       | 1069471          | 2.056                   |
| September | 1229574       | 1236457          | -6.882                  |
| October   | 926087        | 927145           | -1.058                  |
| November  | 931638        | 928471           | 3.167                   |
| December  | 860209        | 860845           | -0.636                  |
| January   | 783899        | 782541           | 1.358                   |
| February  | 866766        | 859541           | 7.225                   |
| march     | 743500        | 758941           | -15.440                 |

#### 5. Conclusion

The data obtained from field observations and traffic studies alone cannot represent the future situation, but if traffic data is available in the current situation, it is possible to estimate the volume of travel demand in the future by modeling. The Persian Gulf Freeway is one of the busiest and most vital transportation freeways of Iran, which transports a large volume of goods and passengers every year. The data used in this research is actually the amount of vehicle traffic on a monthly basis taken from the Iran Road Maintenance and Transportation Organization,

considering that the nature of the data is the nature of time series, using the self-correlated moving average time model based on the data of the current conditions, a model was developed.



پیش‌بینی تقاضای سفر با استفاده از روشهای سری زمانی میانگین متحرک خود همبسته (مطالعه موردی: آزادراه قم-تهران)\*

مقاله پژوهشی

حسن خاکسار<sup>(۱)</sup> سید احمد الماسی<sup>(۲)</sup> محمد مهدی خبیری<sup>(۳)</sup> امیر گلرو<sup>(۴)</sup> حسن بهمنی<sup>(۵)</sup>

DOI: 10.22067/ijfeci.2023.77217.1157

**چکیده** کیفیت جریان ترافیک یکی از مشخصات اصلی شبکه حمل و نقل است که کاربرد فراوانی در مسائل مرتبط با برنامه‌ریزی شهری، اولویت‌بندی مسیرها، کاهش تراکم ترافیک و زمان سفر دارد؛ بنابراین برآورد میزان حجم ترافیک و پیش‌بینی آن در آینده یکی از مسائل مهم برنامه‌ریزان حوزه حمل و نقل است. مسئله پیش‌بینی، مستلزم مدل‌سازی و تعیین متغیرهای تأثیرگذار روی تغییرات پدیده‌ای خاص است. در این پژوهش به پیش‌بینی تقاضای سفر با استفاده از روشهای سری زمانی پرداخته شده است. داده‌های موردنیاز این تحقیق، از سازمان راه‌داری و حمل و نقل جاده‌ای تهیه گردیده است. در این مطالعه به منظور ساخت مدل، از دو فرآیند اتورگرسیو و میانگین متحرک با کس-جنکینز استفاده شده است. با استفاده از روشهای فوق، میزان تقاضا در سالهای آتی تا افق ۱۴۰۴ در آزادراه قم-تهران پیش‌بینی شده است. نتایج مطالعه نشان داد، از بین مدل‌های خود همبسته و میانگین متحرک و تلفیق دو مدل یعنی میانگین متحرک-خود همبسته، مدل سوم دقت قابل‌قبولتری دارد. پارامترهای این مدل  $ARMA(4,5)$  به دست آمد. همچنین صحت‌سنجی مدل ساخته شده، بر اساس مقدار میانگین درصد خطای مطلق،  $0.047$ ، مقادیر  $R$  و  $R^2$  به ترتیب  $0.94$  و  $0.89$  محاسبه شد که نشان می‌دهد مدل از دقت قابل قبولی برخوردار است.

**واژه‌های کلیدی** تقاضای سفر، سری زمانی میانگین متحرک خود همبسته، روش باکس-جنکینز، مدل پیش‌بینی.

Forecasting Travel Demand using Self-Correlated Moving Average Time Series Methods  
(Case Study: Qom-Tehran Freeway)

Hassan Khaksar Seyed Ahmad Almasi Mohammad Mehdi Khabiri Amir Golroo, Hossein Bahmani

**Abstract** The quality of traffic flow is one of the main characteristics of the transportation network, which is widely used in issues related to urban planning, route prioritization, reducing traffic congestion and travel time; Therefore, estimating the volume of traffic and predicting it in the future is one of the important issues for transportation planners. The problem of prediction requires modeling and determining the variables affecting changes in a particular phenomenon. In this research, travel demand is predicted using time series methods. The data required for this research have been prepared from the Roads and Transportation Organization. In this study, in order to build a model, two autoregressive processes and moving average have been used. Using the above methods, the amount of demand in the coming years up to the horizon of 1404 on the Qom-Tehran freeway is predicted. The results of the study showed that among the self-correlated and moving average models and the combination of two models, namely the self-correlated moving average, the third model has a more acceptable accuracy. The parameters of this model (4,5) ARMA were obtained. Also, the validity of the constructed model, based on the average value of absolute error percentage, was 0.047, R and R2 values were calculated 0.94 and 0.89, respectively, which shows that the model has acceptable accuracy.

**Keyword** travel demand, time series, Box-Jenkins method, Prediction model.

\* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۱/۳/۲۹ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۱/۱۱/۲۳ می‌باشد.

Email: h.khaksar@iau-tnb.ac.ir

(۱) نویسنده مسئول: دکتری حمل‌ونقل، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

(۲) دانشجوی دکتری راه و ترابری، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین.

(۳) دانشیار، انشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد.

(۴) استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

(۵) دانشجوی دکتری راه و ترابری، دانشگاه یزد.

## مقدمه

حمل و نقل به عنوان یکی از مهمترین بخشهای زیربنایی هر کشور در تحرک و پویایی جامعه جهت دستیابی به اهداف برنامه‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از اصلترین عواملی که می‌تواند در امر سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزیهای کلان مدیران ارشد کشور به منظور تحقق اهداف فوق نقش هدایت‌کننده‌ای را ایفا کند، پیش‌بینی تقاضای سفر است. به منظور برنامه‌ریزیها و مدیریتهای کلان ملی در سالهای آتی، پیش‌بینی میزان حجم تقاضای سفر مورد نیاز است.

اگر میزان تقاضای سفر وضع موجود در دسترس باشد می‌توان برای سالهای آینده میزان تقاضای سفر را پیش‌بینی کرد. آزادراه تهران-قم کریدور اصلی محور شمال به جنوب است که سهم بسیار زیادی در انتقال کالا (سالانه حدود ۶۰۰ میلیون تن) و مسافر از شمال به جنوب کشور را دارا می‌باشد [1]. از این آزادراه به‌طور پیوسته و در تمام روزهای سال خصوصاً در مناسبتهای مذهبی حجم بالای وسایل نقلیه عبور می‌کند؛ بنابراین پیش‌بینی تقاضای سفر برای این محور امری ضروری به نظر می‌رسد. از این‌رو به منظور پیش‌بینی صحیح از میزان تقاضای سفر در مبادی و مقاصد مختلف، جهت حصول اطمینان از نیاز به احداث مسیرهای مختلف در سالهای آتی، لازم است تا از روشهای دقیقتری در فرایند پیش‌بینی، استفاده گردد. تقاضای سفر در شرایط فعلی به‌وسیله مطالعات ترافیکی و برآورد حجمی قابل برآورد است اما از آنجایی که عوامل مؤثری در کاهش یا افزایش میزان تقاضای سفر به‌صورت یکنواخت یا غیر یکنواخت وجود دارد نمی‌توان از میزان تقاضای سفر در شرایط فعلی به‌طور مستقیم برای برنامه‌ریزی در افقهای بلندمدت استفاده کرد. بدین‌منظور با استفاده از اطلاعات تقاضای سفر فعلی و نیز یافتن عوامل مؤثر و تأثیرگذار در میزان رشد این سفرها و همچنین استفاده از الگوها و مدل‌های تحلیلی برای پیش‌بینی تقاضای سفر در سال طرح، می‌توان میزان تقاضای سفر در افقهای بلندمدت را پیش‌بینی نمود در بین روشهای پارامتری روش سریهای زمانی؛ لیکن فرایندی بسیار عمومی و در عین حال پیچیده‌اند [2]. زیرا به دلیل وجود همبستگیهای شدید بین پارامترهایش می‌تواند برای پیش‌بینی پدیده‌ها در آینده بر اساس مقادیر اولیه رویکرد مناسبی ارائه دهد [3]. در این مطالعه از روش سری زمانی اتورگرسیو،

میانگین متحرک، میانگین متحرک خود همبسته به منظور پیش‌بینی تقاضای سفر استفاده گردیده است.

## پیشینه موضوعی

موضوع تقاضای سفر برای برنامه‌ریزی در شرایط فعلی و کوتاه‌مدت (برنامه‌ریزی برای همان سال) و افقهای بلندمدت از اهمیت زیادی برخوردار است. محققان زیادی در این زمینه تحقیقاتی انجام داده‌اند [1; 2, 4-9].

در مطالعات پیشین استفاده از مدل‌سازی سنتی تقاضای حمل و نقل بر اساس سفرهای مجزا، چالشهای فراوانی را ایجاد کرده و باعث تغییر و تحول در این‌گونه مدلها شده است. اکثر محققان مدل‌های پیش‌بینی را با مقادیر نمونه‌ای و بدون کالیبراسیون توسعه داده‌اند، لیکن پارامترهای ورودی این مدلها بر بسیاری از نتایج استخراج شده، به ویژه پیش‌بینی الگوی جریان ترافیک، می‌تواند تأثیرگذار باشد. در مطالعه‌ای به پیش‌بینی تقاضای سفر هوایی با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده در سفرهای برون‌ایالتی مربوط به فرودگاه‌های مختلف ایالات متحده پرداخته شده است در این مطالعه، پیش‌بینی تعداد کل مسافران با استفاده از متغیرهای کلان اقتصادی انجام شده است. نتایج مطالعه نشان داد که روشهای استفاده شده به‌طور مؤثر از همبستگی بین پارامترهای سفرهای هوایی، در فرودگاه‌های مختلف استفاده می‌کنند [4].

در پژوهش دیگر به‌منظور پیش‌بینی تقاضای سفر از مدل‌های خود همبسته و مدل خطی اتورگرسیو در سری زمانی استفاده شده است. در این مطالعه اطلاعات ماهیانه ترکیه و کشورهای اتحادیه اروپا طی بازه ۱۹۹۷ الی ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل غیر خطی نمی‌تواند پیش‌بینی مدل غیرخطی را بهبود بخشد [5]. در مطالعه دیگری، یک مدل چندمنظوره سری زمانی بر مبنای تئوری همگام‌سازی برای تحلیل ارتباط مسافر و پرواز در فرودگاه‌های آلمان بین سالهای ۲۰۱۶-۲۰۱۸ مورد استفاده قرار گرفته است. این مطالعه رویکردهای مدل سری زمانی و مدل چهار مرحله‌ای را توصیف می‌کند و مزایا و معایب هر دو رویکرد مدل کلاسیک و جدید را مورد بحث قرار داده و پیشنهادهایی در ارتباط با این موضوع ارائه کرده است [10]. وجود همبستگیهای شدید بین پارامترهای سری زمانی می‌تواند برای پیش‌بینی تقاضای آینده بر اساس

مطالعه فوق برای ارزیابی عملکرد مدلها از درصد میانگین خطای مطلق و میانگین ریشه مربعات خطا استفاده شده است [18]. مدل کلاسیک خود توزیع تجمعی میانگین متحرک (ARMA) جهت پیش‌بینی مقادیر آتی متغیرها با استفاده از مقادیر متغیر در دوره‌های گذشته به کار می‌رود. مطالعات انجام شده در این زمینه نیز در بیشتر موارد حاکی از برتری روشهای نوین می‌باشد، [19] [20]. در مطالعه‌ای از مدل‌های سری زمانی برای پیش‌بینی تقاضای سفر در محور خراسان به روش باکس-جنکینز استفاده شده است. در این مطالعه دلایل متعددی برای انتخاب این روش عنوان شده است که عمده‌ترین آنها وابسته یا همبسته بودن تقاضای سفر در فصلها و ماههای مختلف سال و همچنین تکرار رفتاری منظم در دوره‌های زمانی با طول ثابت می‌باشد. مدل برازش شده نهایی، از الگوی فصلی ARIMA یا به‌طور خلاصه (SARIMA) تبعیت کرده و حداقل ۹۵٪ دقت در پیش‌بینی را دارا می‌باشد [16, 21]. همان گونه که ملاحظه شد، پیش‌بینی تقاضای سفر به منظور برنامه‌ریزیهای استراتژی ملی بسیار حائز اهمیت است. بنابراین انتخاب روش مناسب برای پیش‌بینی نیز ضروری است. روشهایی که پیش از این برای مدل سازی و پیش‌بینی تقاضای سفر استفاده شده است عمدتاً بر مبنای روشهای چهار مرحله‌ای بوده‌اند. بنابراین پیش‌بینیها غالباً با روش رگرسیون و روش شبکه عصبی، بر اساس نتایج مطالعات مبدأ-مقصد انجام گرفته است و با استفاده از پارامترهایی چون جمعیت-درآمد-هزینه-سرانه مالکیت خودرو بین مبادی و مقاصد به پیش‌بینی سفر پرداخته شده است. باید توجه داشت که در مسیرهای برون‌شهری خصوصاً مسیر کریدورهای اصلی کشور، میزان تردد وسایل نقلیه وابسته به سفرهای عبوری بوده که مبدأ-مقصد آنها لزوماً شهرهای ابتدا و انتهای مسیر نیستند. بنابراین مدل‌های رگرسیون و شبکه عصبی ممکن است نتوانند برآورد عددی قابل قبولی برای آینده ارائه دهند. همچنین باید در نظر داشت مدل‌های سری زمانی از دقت بالاتر و وابستگی کمتری بین متغیرها برخوردار است. به همین منظور در این پژوهش از مدل‌های سری زمانی که وابسته به میزان تردد عبوری در مسیرها می‌باشد استفاده شده است. محور مورد مطالعه در این پژوهش قسمتی از آزادراه شماره ۷ راههای ملی کشور ایران در مسیر قم-تهران (آزادراه خلیج فارس) می‌باشد.

مقادیر اولیه رویکرد مناسبی ارائه دهد [11]. در مطالعه‌ای در ایالات متحده از روش پیش‌بینی جدیدی استفاده شده است که همبستگی ذاتی بین پارامترهای مؤثر در تقاضای اولیه و پایانی را بررسی کرده است. سپس اعتبار سنجی داده‌ها با استفاده از قسمتی از داده‌های اصلی و مقایسه آن با نتایج مدل‌های پیشنهادی انجام شده است. نتایج این مطالعه نشان داده است همبستگی بین پارامترهای سری زمانی می‌تواند به طور چشمگیری دقت پیش‌بینی دقیق تقاضای آینده را بهبود بخشد [3].

بنابراین از بین روشهای پیش‌بینی موجود، روشهای سری زمانی کاربرد زیادی در پیش‌بینیها دارد که داده‌های مسئله به صورت دنباله‌ای در دسترس است. این روش می‌تواند نتایج دقیقی را ارائه کند [11]. به‌عنوان مثال در پژوهشی به کاربرد شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی سریهای زمانی و مقایسه آن با مدل ARIMA پرداخته شده است. مقایسه مقادیر برآورد شده با مقادیر واقعی در این مطالعه نشان داده است مدل شبکه عصبی نسبت به مدل ARIMA دقت بالاتری دارد [12]. ارزیابی مقایسه‌ای دقت مدل‌های سری زمانی، اتورگرسیون (AR)، میانگین متحرک (MA)، میانگین متحرک خود هم بسته (ARMA) در پیش‌بینی با استفاده از داده‌های روزانه و ماهانه نشان داد که مدل ARIMA دارای بالاترین دقت در بین مدل‌های سری زمانی جهت داده‌های نا ایستا می‌باشد (13;14). بنابراین از آنجایی که اطلاعات تردد وسایل نقلیه از نوع سری زمانی نا ایستا می‌باشند بنابراین می‌توان با استفاده از ARIMA پیش‌بینی قابل قبولی ارائه نمود. در مطالعه دیگری به ارزیابی مدل‌های تک متغیره، چند متغیره و تلفیقی سری زمانی در پیش‌بینی و برآورد متوسط بار رسوب سالانه برای ۴۲ ماه متوالی پرداخته شده است. در این مطالعه از روشهای سری زمانی ARIMA، مدل چند متغیره ARMA و مدل تلفیقی از این دو پرداخته شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل چند متغیره تلفیقی از دقت بالاتری نسبت به سایر مدلها برخوردار است [15, 16]. از این مدلها در زمینه پیش‌بینی کوتاه مدت تعداد مسافر هم استفاده شده است و عملکرد آن در مقایسه با مدل کلاسیک خود توزیع تجمعی میانگین متحرک، مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقایسه پیش‌بینی مدل‌های مذکور، با استفاده از آزمون آماری و محاسبه دقت پیش‌بینی، نشانگر عملکرد بهتر روش برنامه‌ریزی چند جمله‌ای است [17]. در پژوهش دیگری تقاضای مسافر با استفاده از روش سری زمانی پیش‌بینی شده است. در

## داده‌ها و روش تحقیق

**مفاهیم.** در این بخش مفاهیم اصلی الگوهای سریهای زمانی اتورگرسیو- میانگین متحرک (ARMA) که در الگوسازی وضعیت‌های دنیای واقعی، از اهمیت زیادی برخوردار است مورد بحث قرار می‌گیرد.

- اتورگرسیو- میانگین متحرک (ARMA)

- فرایندهای اتورگرسیو: (AR)

یک سری زمانی مجموعه‌ای از مشاهدات  $x_t$  است که هر کدام در زمان خاص  $t$  جمع‌آوری شده‌اند. در فرایندهای اتورگرسیو همان‌طور که از اسم آنها مشخص است رگرسیون روی داده‌های زمانی قبلی انجام می‌شود. فرایند اتورگرسیو مرتبه  $p$  ام  $X_t$  در معادله زیر صدق می‌کند و آن را با نماد  $AR(p)$  نمایش می‌دهند.

$$X_t = \varphi_1 X_{t-1} - \varphi_2 X_{t-2} - L - \varphi_p X_{t-p} + a_t \quad (1)$$

$X_t$  را سری زمانی مشاهده شده فرض کرده و  $a_t$  را یک سری اغتشاش خالص یعنی دنباله متغیرهای تصادفی مستقل و هم توزیع با میانگین صفر در نظر می‌گیرند. یک فرایند خطی کلی را می‌توان به صورت ترکیب خطی وزن‌دار از جملات حال و گذشته فرایند اغتشاش خالص نشان داد.  $\emptyset$  هم به عنوان ضریب در نظر گرفته شده است.

$X_t$  را سری زمانی مشاهده شده فرض کرده و  $a_t$  یک سری اغتشاش خالص یعنی دنباله متغیرهای تصادفی مستقل و هم توزیع با میانگین صفر در نظر می‌گیرند. یک فرایند خطی کلی را می‌توان به صورت ترکیب خطی وزن‌دار از جملات حال و گذشته فرایند اغتشاش خالص نشان داد.  $\Phi$  هم به عنوان ضریب در نظر گرفته شده است.

- فرایند میانگین متحرک: (MA)

فرمول تابع خودهمبستگی فرایند  $MA(q)$  کلی به صورت رابطه (۲) خواهد بود:

$$\rho_k \begin{cases} \frac{-\theta k + \theta_1 \theta k + 1 + L + \theta q - k \theta q}{1 + \theta_1^2 + \theta_2^2 + L + \theta q} & k = 1, 2, \dots, q \\ 0 & k \geq q \end{cases} \quad (2)$$

اگر قسمتی از سری AR و بخشی MA فرض شود، در این صورت یک الگوی ARMA به دست می‌آید. گویم  $X_t$  یک فرایند مرکب اتورگرسیو- میانگین متحرک از مرتبه  $p$  است و با نماد  $ARMA(p, q)$  نمایش داده می‌شود هرگاه

$$X_t = \varphi_1 X_{t-1} - \varphi_2 X_{t-2} - L - \varphi_p X_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - L - \theta_q a_{t-q} \quad (3)$$

در این رابطه  $\theta$ ها ضرایب میانگین متحرک هستند. مدل‌های ARIMA از انعطاف‌پذیری بالایی در امر پیش‌بینی برخوردار بوده و در زمینه سریهای زمانی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک مدل ARIMA از سه فرایند تشکیل شده است: بخش خود همبسته (AR)، بخش تفاضل‌گیر برای حذف روند و تضمین ایستایی سری (I)، بخش میانگین متحرک (MA)، هر یک از این فرایندها خواص جداگانه مربوط به خود را در توزیعهای تصادفی دارند.

یک فرایند تصادفی زمانی پایا تلقی می‌شود که میانگین و واریانس آن در طول زمان ثابت بوده و مقدار کوواریانس بین دو دوره زمانی فقط به فاصله بین دو دوره بستگی داشته باشد، یک سری زمانی ناپایا است که هیچ یک از شرایط پایایی را نداشته باشد. مدل گام تصادفی را می‌توان مثال ساده از سری زمانی ناپایا دانست.

سری زمانی که میانگین آن تابعی از زمان باشد را پایا در میانگین گویند به عبارتی دیگر این سری زمانی باید شامل روند قطعی یا تصادفی یا هر دو روند باشد. به طور کلی اگر یک سری زمانی  $I(d)$  باشد پس از  $d$  بار تفاضل‌گیری سری  $I(0)$  به دست می‌آید؛ اما اگر یک سری زمانی پس از  $d$  بار تفاضل‌گیری پایا شود و با استفاده از فرایند ARMA مدل سازی شود، در این صورت سریهای زمانی به سری زمانی ARIMA(p, d, q) تبدیل می‌شود که  $p$  تعداد جملات خود رگرسیون،  $d$  نشانگر تعداد دفعات تفاضل‌گیری برای پایا شدن و  $q$  نیز تعداد جملات میانگین متحرک می‌باشد.

مدلهای ARIMA از انعطاف‌پذیری بالایی در امر پیش‌بینی برخوردار بوده و در زمینه سریهای زمانی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک مدل ARIMA از سه فرایند تشکیل شده است: بخش خود همبسته (AR)، بخش تفاضل‌گیر برای حذف روند و تضمین ایستایی سری (I)، بخش میانگین متحرک

$$\hat{X}_t(1) - \mu = \varphi [E(X_t | X_t, X_{t-1}, \dots, X_1) - \mu] + E(a_{t+1} | X_t, X_{t-1}, \dots, X_1) \quad (6)$$

**الگوی میانگین متحرک.** برای تشریح چگونگی حل مسائلی که در پیش‌بینی میانگین متحرک یا الگوهای مرکب پیش می‌آیند، حالت MA(1) با میانگین مخالف صفر را در نظر می‌گیریم:

$$X_t = \mu + a_t - \theta a_{t-1} \quad (7)$$

مجدداً اگر  $t$  را با  $t+1$  عوض کرده و امیدهای ریاضی دو طرف را در نظر بگیریم خواهیم داشت:

$$X_{t+1} = \mu - \theta E(a_t | X_t, X_{t-1}, \dots, X_1) \quad (8)$$

با وجود این برای یک الگوی وارون‌پذیر معادله (۹)، نشان می‌دهد که  $at$  تابعی از  $X_t, X_{t-1}, \dots$  است. بنابراین خواهیم داشت:

$$E(a_t | X_t, X_{t-1}, \dots, X_1) = a_t \quad (9)$$

اگر قسمتی از سری را AR و بخشی را MA فرض کنیم در این صورت یک الگوی ARMA به دست می‌آید  $\{X_t\}$ . یک فرایند مرکب اتورگرسیو- میانگین متحرک از مرتبه  $p \times q$  است و با نماد  $ARMA(p, q)$  نمایش داده می‌شود. بنابراین با استفاده از موارد گفته شده می‌توان با دقت قابل قبولی با روش ARMA مقدار تقاضای سفر برای سالهای آینده در مسیر قم-تهران را پیش‌بینی نمود. برای این کار داده‌های تردد شمار (پلاک خوان) ۱۰ سال محور مطالعاتی قم-تهران استخراج شده است و سپس برای سالهای آتی تا ۱۴۰۴ پیش‌بینی انجام شده است. به منظور صحت‌سنجی نتایج روشهای معرفی شده سه معیار مختلف ضریب همبستگی ( $r$ )، ضریب تعیین ( $2R$ ) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (Mean Absolute Percentage Error (MAPE) برای ارزیابی جوابهای حاصله به کار گرفته شدند. گام‌بندی انجام پژوهش به طور کلی در ادامه آمده است.

۱. داده‌های مورد نیاز از اطلاعات تردد شمار (پلاک خوان) به صورت ماهانه و روزانه سازمان راهداری کشور در مسیر قم-تهران استخراج گردیده است.

(MA)، هر یک از این فرایندها خواص جداگانه مربوط به خود را در توزیعهای تصادفی دارند.

یک فرایند تصادفی زمانی پایا تلقی می‌شود که میانگین و واریانس آن در طول زمان ثابت بوده و مقدار کوواریانس بین دو دوره زمانی فقط به فاصله بین دو دوره بستگی داشته باشد، یک سری زمانی ناپایا است که هیچ یک از شرایط پایایی را نداشته باشد. مدل گام تصادفی را می‌توان مثال ساده از سری زمانی ناپایا دانست.

### روش تحقیق

فرایند شناسایی بر اساس مدل‌های خطی از قبیل ARMA به روش باکس-جنکینز معروف بوده که شامل ۴ مرحله است. در پژوهش حاضر از اطلاعات تردد شمار (پلاک‌خوان) محور قم-تهران در یک بازه ۱۰ ساله استفاده گردیده است. جنس داده‌های موجود از جنس داده‌های سری زمانی است و با توجه به این وجه از ماهیت داده‌ها باید به مدل‌سازی آنها پرداخته شود. سری زمانی به مجموعه‌ای از مشاهدات کمی گفته می‌شود که در فواصل زمانی و به صورت متوالی اندازه‌گیری می‌شود. تکنیکهای مختلفی برای مدل‌سازی وجود دارد که از میان آنها روش پارامتری میانگین متحرک خود همبسته از جنس مدل‌های سری زمانی است؛ بنابراین در این پژوهش به منظور پیش‌بینی تقاضای سفر از روش اتورگرسیو (AR)، میانگین متحرک (MA)، میانگین متحرک خود همبسته (ARMA) مطابق روابط (۵) الی (۹) با استفاده از نرم‌افزار (ITSM) استفاده شده است.

**الگوی اتورگرسیو.** یک سری زمانی مجموعه‌ای از مشاهدات  $X_t$  است که هر کدام در زمان خاص  $t$  جمع‌آوری شده‌اند. در ابتدا فرایند  $AR(1)$  با میانگین مخالف صفر در نظر گرفته می‌شود:

$$X_t - \mu = \varphi (X_{t-1} - \mu) + a_t \quad (5)$$

مسئله پیش‌بینی را در یک واحد زمانی آینده در نظر می‌گیریم، با تعویض  $t$  با  $t+1$  در معادله (۵) و با داشتن  $X_1, \dots, X_{t-1}, X_t$ ، اگر امید ریاضی شرطی دو طرف معادله بالا را در نظر بگیریم رابطه (۶) به دست می‌آید:

ناچار این داده‌ها حذف و یا به روش درون‌یابی داده‌های مابین شناسایی شده است.

به منظور یکپارچه‌سازی نوع وسایل نقلیه از وسیله نقلیه معادل سواری استفاده گردیده است. تبدیل وسایل نقلیه سنگین به معادل سواری بر اساس نشریه ۴۱۵ وزارت راه و شهرسازی بر اساس شیب و نوع منطقه تعیین گردیده است. با استفاده از اطلاعات جدول (۲) حجم کامیونها و درصد شیب‌محور، ضریب همسنگ سواری برای وسایل نقلیه سنگین ۱/۵ در نظر گرفته شده است. جدول (۳) میزان وسایل نقلیه عبوری به صورت ماهانه در نظر گرفته شده از سازمان راهداری و تبدیل شده به معادل سواری را نشان می‌دهد. در شکل (۱) بازه تغییرات فصلی در مقایسه با فراوانی داده‌های تردد نشان داده شده است که نشان دهنده نمونه ای از نحوه حذف روند و مؤلفه‌های فصلی و به دست آوردن ثبات تقریبی در سطح و تغییرات زمان است. در جدول (۴) اطلاعات لازم برای مدل‌سازی به روش سری زمانی دسته‌بندی شده است. همان‌گونه که در روش تحقیق ذکر شد تغییرات روی داده‌ها به منظور ایستا کردن داده‌های سری زمانی به کار می‌روند. به‌ویژه آنها برای حذف روند و مؤلفه‌های فصلی و به دست آوردن ثبات تقریبی در سطح و تغییرات زمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل (۲) روند اصلاح شده داده‌ها به منظور مدل‌سازی را نشان می‌دهد. در شکل (۳) نمودار هیستوگرام باقی‌مانده‌ها ترسیم شده است و شکل (۴) آزمون نرمال کولموگروف-اسمیرنوف باقی‌مانده‌ها را نشان می‌دهد. جدول (۵) و شکل (۵) نتایج پیش‌بینی مدل ARMA (۴،۵) را برای مسیر رفت نشان می‌دهد. برای مسیر برگشت از تهران به قم با استفاده از مدل در نظر گرفته شده به همین شیوه قابل برآورد است.

علاوه بر موارد ذکر شده در ارتباط با دقت مدلها به منظور صحت‌سنجی تعداد ۲۰ درصد از داده‌ها را برای هر یک از مدلها به عنوان تست در نظر گرفته شده است و سپس با ارزیابی مقادیر خطا به معرفی بهترین مدل برای پیش‌بینی این محور پرداخته می‌شود...

۲. میزان همبستگی بین متغیرهای مستقل به منظور کاهش خطا اندازه‌گیری شده است.

۳. پس از مدل‌سازی و پیش‌بینی بر اساس میزان همبستگی و میزان دقت در برآورد متغیر وابسته در هر مدل به مقایسه مدلها پرداخته شده است.

### محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی، قسمتی از آزادراه شماره ۷ کشور است این آزادراه از بزرگراه آزادگان تهران آغاز می‌شود و در انتهای مسیر با آزادراه ذوب‌آهن اصفهان یکی می‌گردد. این آزادراه، تهران را به شهرهای قم، کاشان، نطنز، اصفهان، نجف‌آباد و فولادشهر متصل می‌کند. قسمت ابتدایی این آزادراه یعنی فاصله بین استان تهران تا استان قم را آزادراه خلیج فارس می‌نامند. قسمت بعدی این آزادراه قم-کاشان نام دارد، قسمت سوم، آزادراه اصفهان-کاشان نام دارد و در تقاطع با جاده ۶۵، با آزادراه کمربندی غرب اصفهان یکی می‌گردد. در انتها این آزادراه در تقاطع با آزادراه ذوب‌آهن اصفهان به پایان می‌رسد.

### مدل‌سازی و تحلیل نتایج

آمار و اطلاعات ارائه‌شده در این قسمت بر گرفته از آمار جمع‌آوری شده توسط سازمان راهداری کشور می‌باشد. نمونه داده‌ها در جدول (۱)، تعداد سفرهای عبوری از آزادراه خلیج فارس را نشان می‌دهد. به منظور یکسان‌سازی اطلاعات ۱۰ ساله در این محور، از اطلاعات دستگاه موجود در ایستگاه نعلبندان به عنوان اطلاعات پایه استفاده گردیده و با استفاده از سایر ایستگاهها فرایندهای پیش پردازش داده‌ها مانند حذف داده‌های پرت، شناسایی مقادیر خالی و گم شده بر روی آنها انجام شده است. لازم به ذکر است داده‌های پرت در دستگاههای پلاک خوان عموماً به دلیل خرابی دستگاه و عدم همخوانی با اطلاعات روزهای مشابه در هفته، ماه و سال بوده است. همچنین با بررسیهای به عمل آمده از اداره کل راهداری و حمل و نقل جاده‌ای مشخص گردید بعضی از دستگاهها در مدتی از سال خاموش یا خراب بوده است (داده‌های از دست‌رفته). ثبت اطلاعات بعد از ترمیم دستگاه یک فاصله عددی زیاد با اعداد قبلی ثبت شده ایجاد خواهد کرد بنابراین در بعضی از موارد به



جدول ۱. تعداد سفرهای عبوری از آزادراه خلیج فارس (هزار سفر) از ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶

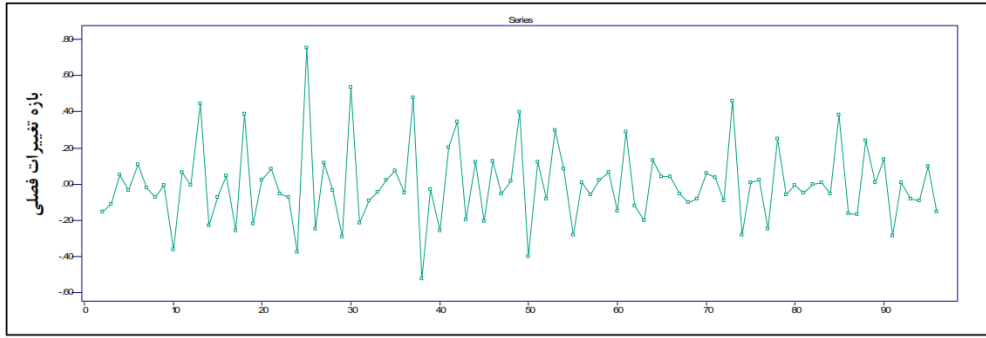
| مبدأ- مقصد | تهران  | شمال کشور | سایر محورها | کل محورها | درصد عبوری از آزادراه نسبت به سایر تردهای استان | درصد عبوری نسبت به کل تردهای آزادراه خلیج فارس |
|------------|--------|-----------|-------------|-----------|---|--|
| اصفهان     | ۲۱۶۲۴  | ۹۸۸       | ۱۴۹۸۷۲      | ۱۷۲۸۵۴    | ۱۱/۳۱   | ۲۱/۷۸  |
| ایلام      | ۴۵۰۹   | ۲۹۸       | ۲۰۰۳        | ۲۴۸۵۷     | ۱۹/۳۸   | ۴/۶۳   |
| بوشهر      | ۱۳۷۳   | ۵         | ۳۴۸۰        | ۳۶۱۷۹     | ۳/۸۱  | ۱/۳۳   |
| یاسوج      | ۱۴۵۶   | ۱۷        | ۶۳۳۸۸       | ۶۷۸۱۲     | ۲/۱۸  | ۱/۴۲   |
| بیرجند     | ۱۰۲۰   | ۴۶۲       | ۲۰۳۸۰       | ۲۱۸۵۲     | ۶/۷۴  | ۱/۴۲   |
| اهواز      | ۳۵۹۹   | ۱۹        | ۱۱۵۴۵۵      | ۱۱۹۰۷     | ۶/۰۴  | ۳/۴۸   |
| زاهدان     | ۲۳۵۱   | ۴         | ۷۰۳۳۶       | ۷۶۹۲۳     | ۳/۲۴  | ۲/۲۷   |
| شیراز      | ۶۱۳۳   | ۱۸۲       | ۱۴۹۱۴۵      | ۱۵۵۸۴۷    | ۴/۰۶  | ۶/۰۸   |
| کرمان      | ۱۶۸۰   | ۱۰        | ۶۲۱۸۴       | ۶۳۸۱۸     | ۲/۶۵  | ۱/۶۳   |
| کرمانشاه   | ۸۱۸۲   | ۲۵۶       | ۸۷۶۴۴       | ۹۶۰۸۲     | ۸/۷۸  | ۸/۱۳   |
| شهرکرد     | ۶۲۹    | ۱         | ۱۵۴۳۵       | ۱۶۰۶۴     | ۳/۹۲  | ۰۰/۶۱  |
| خرم آباد   | ۱۰۲۴۳  | ۱۴        | ۵۰۳۴۹       | ۶۰۶۰۶     | ۱۶/۹۲   | ۹/۹۸   |
| اراک       | ۱۴۵۷۷  | ۱۰۷       | ۲۷۸۹۲       | ۴۲۵۸۷     | ۳۴/۴۹   | ۱۴/۱۴  |
| بندرعباس   | ۷۷۴    | ۱         | ۱۵۵۷۶       | ۱۶۳۵۱     | ۴/۷۴  | ۰/۷۵   |
| همدان      | ۱۳۲۳۹  | ۸۸        | ۷۲۴۳۵       | ۸۵۷۴۲     | ۱۵/۵۵   | ۱۲/۸۴  |
| یزد        | ۱۶۴۳   | ۱۴        | ۱۵۳۹۶       | ۱۷۰۲۶     | ۰۹/۷۳   | ۱/۶۰   |
| قم         | ۸۰۶۹   | ۲۷۴       | ۱۷۵۲۵       | ۲۵۸۶۸     | ۳۲/۲۵   | ۸/۰۴   |
| جمع        | ۱۰۱۱۰۳ | ۲۷۳۰      | ۱۰۹۴۴۲۵۶    | ۹۹۰۶۵۷    | ۱۰۰   | ۱۰۰  |

جدول ۲. ضریب معادل سواری وسایل نقلیه سنگین

| ET                     |     |     |     | طول (کیلومتر) | شیب (%) |
|------------------------|-----|-----|-----|---------------|---------|
| درصد وسایل نقلیه سنگین |     |     |     |               |         |
| ۲۰                     | ۱۵  | ۱۰  | ۵   |               |         |
| ۱,۵                    | ۱,۵ | ۱,۵ | ۱,۵ | -             | <۴      |
| ۱,۵                    | ۱,۵ | ۱,۵ | ۱,۵ | <۶,۴          | ۴-۵     |
| ۱,۵                    | ۲   | ۲   | ۲   | >۶,۴          | ۴-۵     |
| ۱,۵                    | ۱,۵ | ۱,۵ | ۱,۵ | <۶,۴          | >۵-۶    |
| ۳                      | ۴   | ۴   | ۵,۵ | >۶,۴          | >۵-۶    |
| ۱,۵                    | ۱,۵ | ۱,۵ | ۱,۵ | <۶,۴          | >۶      |
| ۴,۵                    | ۵,۵ | ۶   | ۷,۵ | >۶,۴          | >۶      |

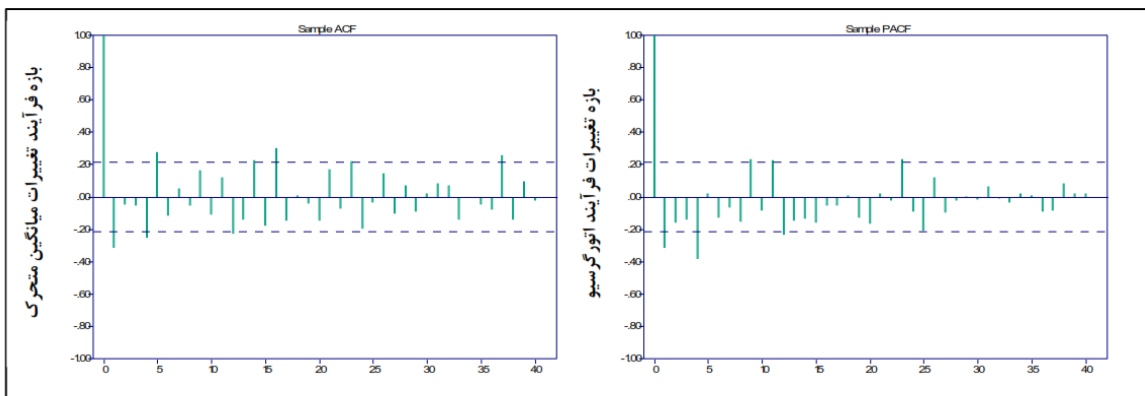
جدول ۳ اطلاعات به دست آمده تردد سفر در آزادراه، مسیر قم-تهران  
(هزار سفر - خروجی نرم افزارهای ثبت داده های سفر سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای)

|         |          |         |          |          |          |         |          |        |          |
|---------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|--------|----------|
|         | ۱۳۹۵     |         | ۱۳۹۳     |          | ۱۳۹۱     |         | ۱۳۸۹     |        | ۱۳۸۷     |
| ۱۱۹۲۱۳۰ | فروردین  | ۱۱۳۷۸۲۹ | فروردین  | ۹۲۷۹۰۶   | فروردین  | ۱۰۱۶۲۵۳ | فروردین  | ۲۶۴۵۳۵ | فروردین  |
| ۸۹۹۸۹۸  | اردیبهشت | ۷۶۲۷۵۲  | اردیبهشت | ۷۲۴۳۵۰   | اردیبهشت | ۸۷۲۲۲۵  | اردیبهشت | ۲۱۰۸۲۷ | اردیبهشت |
| ۹۰۷۲۱۸  | خرداد    | ۸۶۳۱۲۷  | خرداد    | ۸۱۲۶۷۲   | خرداد    | ۷۸۰۳۸۴  | خرداد    | ۲۳۱۵۷۴ | خرداد    |
| ۹۲۸۰۲۶  | تیر      | ۷۹۵۲۱۷  | تیر      | ۷۸۳۸۶۶   | تیر      | ۸۲۰۴۵۹  | تیر      | ۳۱۱۰۶۲ | تیر      |
| ۷۲۲۹۰۱  | مرداد    | ۱۰۷۰۱۰۲ | مرداد    | ۵۸۶۳۲۱   | مرداد    | ۷۹۱۹۲۰  | مرداد    | ۳۴۱۴۴۷ | مرداد    |
| ۹۲۹۴۹۲  | شهریور   | ۱۱۶۲۲۸۴ | شهریور   | ۹۹۹۶۴۰/۵ | شهریور   | ۸۸۳۶۸۱  | شهریور   | ۳۵۰۹۹۳ | شهریور   |
| ۸۷۶۳۷۰  | مهر      | ۸۷۶۷۸۵  | مهر      | ۸۰۸۲۷۱/۵ | مهر      | ۸۶۴۰۷۵  | مهر      | ۲۳۹۱۰۸ | مهر      |
| ۸۶۹۷۲۶  | آبان     | ۸۸۴۰۹۸  | آبان     | ۷۳۸۸۰۶/۵ | آبان     | ۸۰۴۷۲۴  | آبان     | ۳۴۷۶۲۹ | آبان     |
| ۸۲۷۲۱۶  | آذر      | ۸۳۵۶۳۴  | آذر      | ۷۰۸۶۶۲/۵ | آذر      | ۸۰۱۲۶۱  | آذر      | ۳۵۰۱۱۱ | آذر      |
| ۸۲۶۸۹۰  | دی       | ۸۵۴۸۰۲  | دی       | ۷۲۵۲۳۶/۵ | دی       | ۵۵۹۱۹۸  | دی       | ۵۲۶۳۵۰ | دی       |
| ۸۳۴۸۴۸  | بهمن     | ۹۱۴۳۹۹  | بهمن     | ۷۸۱۸۱۴   | بهمن     | ۵۹۵۶۷۵  | بهمن     | ۶۲۶۲۸۶ | بهمن     |
| ۹۷۹۱۵۵۴ | اسفند    | ۷۸۹۵۰۰  | اسفند    | ۷۴۴۳۴۱   | اسفند    | ۵۹۱۰۵۸  | اسفند    | ۸۵۲۶۳۹ | اسفند    |
|         | ۱۳۹۶     |         | ۱۳۹۴     |          | ۱۳۹۲     |         | ۱۳۹۰     |        | ۱۳۸۸     |
| ۱۱۶۳۳۲۷ | فروردین  | ۱۰۵۲۵۲۸ | فروردین  | ۱۲۰۰۲۹۱  | فروردین  | ۹۲۰۹۶۷  | فروردین  | ۸۲۲۷۵۹ | فروردین  |
| ۹۸۸۱۸۷  | اردیبهشت | ۹۳۵۱۳۲  | اردیبهشت | ۷۱۲۶۸۲   | اردیبهشت | ۷۳۲۲۱۶  | اردیبهشت | ۷۸۰۷۷۵ | اردیبهشت |
| ۸۳۷۶۸۲  | خرداد    | ۷۶۴۰۵۳  | خرداد    | ۶۹۰۶۹۶   | خرداد    | ۶۸۰۲۵۴  | خرداد    | ۶۹۴۵۸۶ | خرداد    |
| ۱۰۶۴۴۰۰ | تیر      | ۸۷۲۵۹۶  | تیر      | ۵۳۵۲۶۴   | تیر      | ۷۱۰۸۷۷  | تیر      | ۶۷۴۸۷۴ | تیر      |
| ۱۰۷۱۵۲۷ | مرداد    | ۹۰۸۹۰۲  | مرداد    | ۶۵۴۹۵۴   | مرداد    | ۵۴۸۸۷۵  | مرداد    | ۶۹۴۲۴۷ | مرداد    |
| ۱۲۲۹۵۷۴ | شهریور   | ۹۴۷۷۴۶  | شهریور   | ۹۲۶۱۳۲   | شهریور   | ۸۱۰۴۱۵  | شهریور   | ۷۹۴۵۷۲ | شهریور   |
| ۹۲۶۰۸۷  | مهر      | ۸۹۷۰۴۲  | مهر      | ۷۶۱۵۰۶   | مهر      | ۶۵۱۷۳۰  | مهر      | ۶۷۲۲۱۱ | مهر      |
| ۹۳۱۶۳۸  | آبان     | ۸۱۰۴۵۲  | آبان     | ۸۶۰۱۶۸   | آبان     | ۶۶۶۹۷۹  | آبان     | ۶۴۲۱۱۰ | آبان     |
| ۸۶۰۲۰۹  | آذر      | ۷۴۸۵۱۰  | آذر      | ۷۰۱۸۲۳   | آذر      | ۷۲۳۸۹۱  | آذر      | ۶۷۲۱۸۰ | آذر      |
| ۷۸۳۸۹۹  | دی       | ۷۹۷۰۳۹  | دی       | ۷۹۵۱۹۲   | دی       | ۶۸۵۵۴۴  | دی       | ۶۱۲۱۴۱ | دی       |
| ۸۶۶۷۶۶  | بهمن     | ۸۲۵۴۶۸  | بهمن     | ۷۵۳۰۲۵   | بهمن     | ۶۳۸۵۲۶  | بهمن     | ۶۷۲۷۸۰ | بهمن     |
| ۷۴۳۵۰۰  | اسفند    | ۷۵۱۹۷۵  | اسفند    | ۷۶۵۶۹۳   | اسفند    | ۴۳۷۷۳۴  | اسفند    | ۷۴۹۷۷۴ | اسفند    |



فراوانی داده‌های تردد

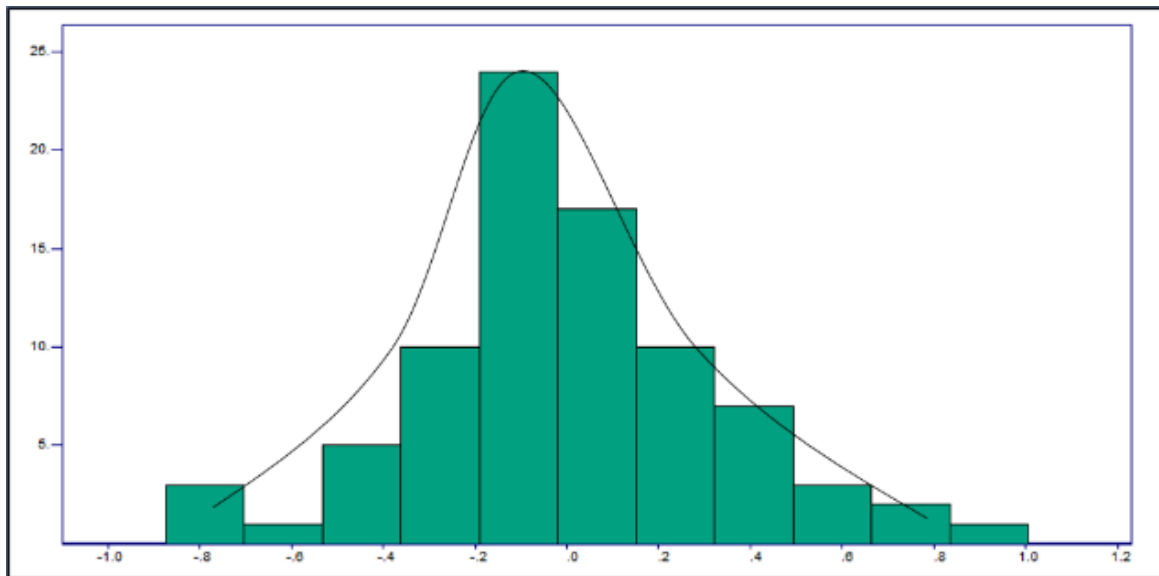
شکل ۱ حذف روند و مؤلفه‌های فصلی و به دست آوردن ثبات تقریبی در سطح و تغییرات زمان



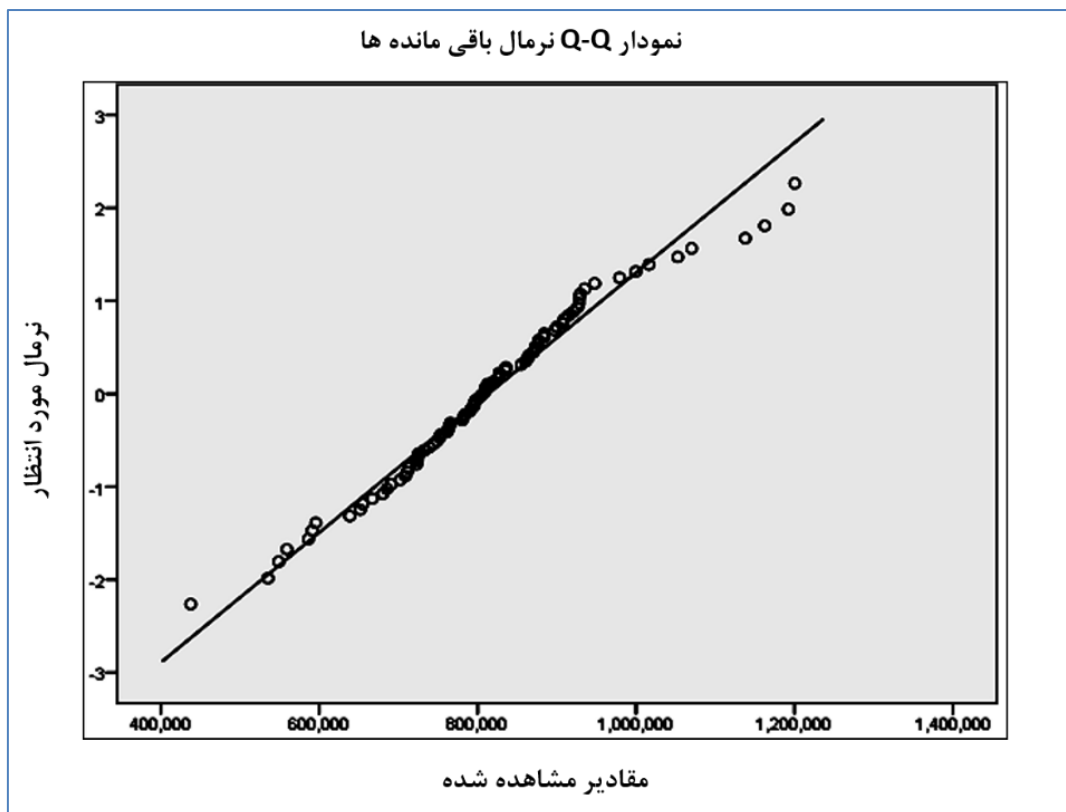
بازه تغییرات ACF

بازه تغییرات PACF

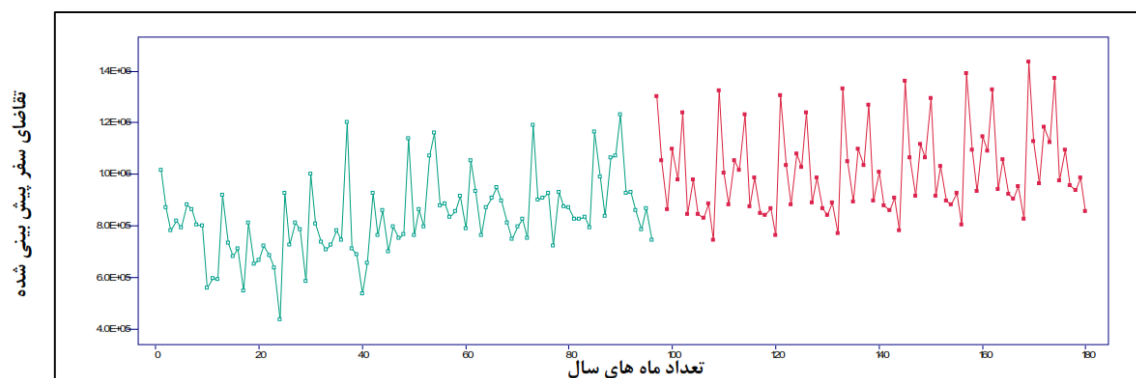
شکل ۲ نمودار توابع PACF و ACF



شکل ۳ نمودار هیستوگرام باقی مانده‌ها



شکل ۴ نمودار آزمون نرمال کولموگروف-اسمیرنوف باقی مانده ها



شکل ۵ نتایج پیش برای افق تا ۱۴۰۴ با استفاده از مدل سازی ARMA

جدول ۴ نتایج آزمون نرمال بودن باقی مانده مدل ساخته شده

| Model Results  | Model                 |
|--|-----------------------|
| = 26.117 Chi-Square = 20<br>p-value = 0.06                         | Ljung - Box statistic |
| = 24.079 Chi-Square = 30<br>p-value = 0.061                        | McLeod - Li statistic |
| = 57.000 ~AN(54,sd = 3.79)<br>p-value = 0.002                      | Turning points        |
| = 39.00 ~AN(41,sd = 2.64)<br>p-value = 0.04                        | Diff sign points      |
| =<br>0.16460E+04~AN(0.170E+04,sd<br>= 0.127E+03), p-value = 0.0045 | Rank test statistic   |

جدول ۵ نتایج پیش‌بینی مدل ARMA (خروجی نرم افزار پیش بینی از تعداد سفر)

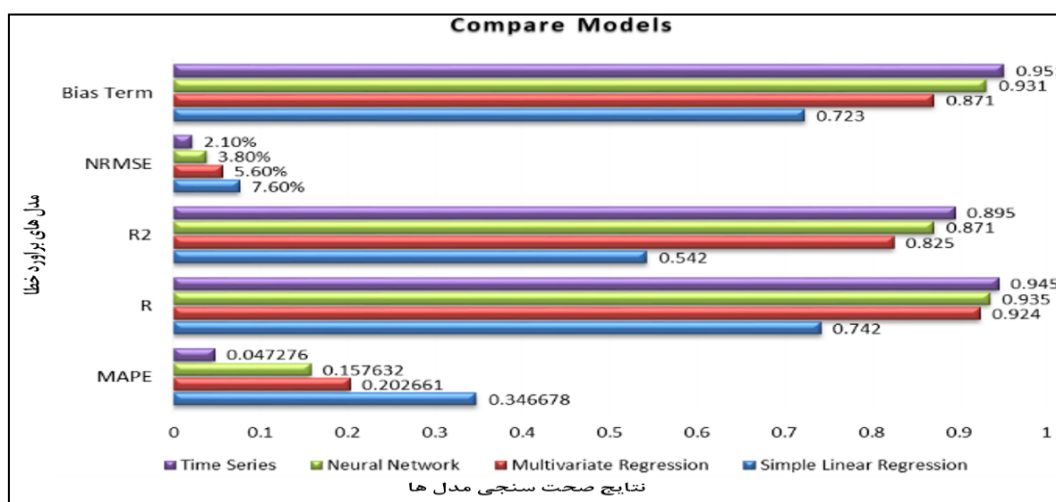
| ۱۳۹۷             | ۱۳۹۹             | ۱۴۰۱             | ۱۴۰۳             | ۱۳۹۸             | ۱۴۰۰             | ۱۴۰۲             | ۱۴۰۴             |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| فروردین ۱۲۸۸۴۰۰  | فروردین ۱۴۲۱۶۰۰  | فروردین ۱۵۰۵۶۰۰  | فروردین ۱۷۷۴۳۰۰  | فروردین ۱۳۷۹۹۰۰  | فروردین ۱۴۴۲۲۰۰  | فروردین ۱۶۲۸۱۰۰  | فروردین ۱۹۰۰۴۰۰  |
| اردیبهشت ۱۰۳۲۹۰۰ | اردیبهشت ۱۰۷۰۷۰۰ | اردیبهشت ۱۲۵۱۷۰۰ | اردیبهشت ۱۳۷۲۲۰۰ | اردیبهشت ۱۰۲۳۹۰۰ | اردیبهشت ۱۱۵۹۳۰۰ | اردیبهشت ۱۳۱۵۴۰۰ | اردیبهشت ۱۴۶۱۳۰۰ |
| خرداد ۸۸۳۴۴۰     | خرداد ۱۰۲۴۷۰۰    | خرداد ۱۰۸۳۴۰۰    | خرداد ۱۲۵۳۳۰۰    | خرداد ۹۶۵۸۸۰     | خرداد ۱۰۵۵۰۰۰    | خرداد ۱۱۵۰۰۰۰    | خرداد ۱۳۶۴۲۰۰    |
| تیر ۱۱۲۰۲۰۰      | تیر ۱۱۳۶۹۰۰      | تیر ۱۳۱۳۳۰۰      | تیر ۱۴۸۴۹۰۰      | تیر ۱۱۱۷۰۰۰      | تیر ۱۲۰۶۱۰۰      | تیر ۱۴۱۱۱۰۰      | تیر ۱۵۶۵۱۰۰      |
| مرداد ۱۰۷۰۸۰۰    | مرداد ۱۲۴۲۷۰۰    | مرداد ۱۳۵۳۸۰۰    | مرداد ۱۵۱۸۲۰۰    | مرداد ۱۱۴۵۰۰۰    | مرداد ۱۳۱۲۹۰۰    | مرداد ۱۴۱۱۲۰۰    | مرداد ۱۶۶۲۵۰۰    |
| شهریور ۱۳۰۸۷۰۰   | شهریور ۱۳۶۷۲۰۰   | شهریور ۱۵۲۳۱۰۰   | شهریور ۱۷۷۸۶۰۰   | شهریور ۱۳۵۶۹۰۰   | شهریور ۱۴۱۵۸۰۰   | شهریور ۱۶۵۹۸۰۰   | شهریور ۱۸۷۹۴۰۰   |
| مهر ۹۱۹۴۶۰       | مهر ۱۰۲۳۲۰۰      | مهر ۱۱۶۳۵۰۰      | مهر ۱۲۷۷۵۰۰      | مهر ۹۴۵۰۹۰       | مهر ۱۱۰۵۳۰۰      | مهر ۱۲۰۷۷۰۰      | مهر ۱۳۸۹۱۰۰      |
| آبان ۱۰۰۰۶۰۰     | آبان ۱۱۰۲۰۰۰     | آبان ۱۱۸۴۹۰۰     | آبان ۱۴۰۱۸۰۰     | آبان ۱۰۷۳۶۰۰     | آبان ۱۱۲۵۸۰۰     | آبان ۱۲۸۷۴۰۰     | آبان ۱۵۰۱۳۰۰     |
| آذر ۸۶۴۱۴۰       | آذر ۹۱۵۰۰۰       | آذر ۱۰۷۰۶۰۰      | آذر ۱۱۷۹۹۰۰      | آذر ۸۶۸۶۴۰       | آذر ۹۹۴۲۵۰       | آذر ۱۱۲۵۵۰۰      | آذر ۱۲۶۴۹۰۰      |
| دی ۸۳۹۳۷۰        | دی ۹۶۵۴۰۰        | دی ۱۰۲۷۷۰۰       | دی ۱۲۰۰۳۰۰       | دی ۹۰۹۵۲۰        | دی ۹۹۲۷۲۰        | دی ۱۰۹۸۲۰۰       | دی ۱۳۰۵۹۰۰       |
| بهمن ۸۹۴۲۵۰      | بهمن ۹۲۳۱۹۰      | بهمن ۱۰۷۶۱۰۰     | بهمن ۱۲۱۷۲۰۰     | بهمن ۹۰۲۲۸۰      | بهمن ۹۸۸۳۹۰      | بهمن ۱۱۵۴۹۰۰     | بهمن ۱۲۹۰۴۰۰     |
| اسفند ۷۶۳۹۲۰     | اسفند ۸۸۸۴۴۰     | اسفند ۹۶۸۰۱۰     | اسفند ۱۰۹۹۷۰۰    | اسفند ۸۱۸۶۷۰     | اسفند ۹۳۵۶۸۰     | اسفند ۱۰۱۶۳۰۰    | اسفند ۱۲۰۶۱۰۰    |

جدول (۶) مقادیر تست مدها و ارزیابی خطا را نشان می دهد. همچنین صحت سنجی مدل سری زمانی با استفاده از داده های سال ۱۳۹۶ انجام گرفته است. در جدول (۶) میزان همبستگی و خطای مطلق روش سری زمانی نمایش داده شده است که نشان می دهد روش سری زمانی از همبستگی و خطای قابل قبولی برای

پیش بینی برخوردار است. شکل (۷) مقایسه مدل سازی سری زمانی با سایر مدلها که در مطالعات گذشته انجام گرفته است نشان می دهد. نتایج مطالعات نشان می دهد مدل سری زمانی از دقت بیشتر و خطای کمتری نسبت به سایر مدلها برخوردار است.

جدول ۶ مقایسه مقادیر پیش بینی شده برحسب ماه (تعداد سفر)

| ۱۳۹۶           | مقادیر واقعی  |                           | خطای مطلق (×۱۰ <sup>۳</sup> ) |
|----------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|
|                | اطلاعات اولیه | مقادیر پیش بینی سری زمانی |                               |
| فروردین        | 1163327       | 1194758                   | -31.43                        |
| اردیبهشت       | 988187        | 987241                    | 0.94                          |
| خرداد          | 837682        | 841487                    | -3.805                        |
| تیر            | 1064400       | 1064157                   | 0.243                         |
| مرداد          | 1071527       | 1069471                   | 2.056                         |
| شهریور         | 1229574       | 1236457                   | -6.882                        |
| مهر            | 926087        | 927145                    | -1.058                        |
| آبان           | 931638        | 928471                    | 3.167                         |
| آذر            | 860209        | 860845                    | -0.636                        |
| دی             | 783899        | 782541                    | 1.358                         |
| بهمن           | 866766        | 859541                    | 7.225                         |
| اسفند          | 743500        | 758941                    | -15.440                       |
| MAPE           | 1             | 0.047276                  | -                             |
| R              | 1             | 0.998                     | -                             |
| R <sup>2</sup> | 1             | 0.995                     | -                             |
| NRMSE          | 1             | 2.1%                      | -                             |
| Bias Term      | 1             | 0.951                     | -                             |
| T-Test         | -1.225        | -                         | -                             |



شکل ۶ مقایسه پارامترهای صحت سنجی مدل سری زمانی با سایر مطالعات مشابه

## نتیجه گیری

مسئله، پیش‌بینی صحیح از میزان تقاضای سفر جهت حصول اطمینان از نیاز به احداث مسیرهای مختلف لازم است تا از روشهای دقیق برای فرایند پیش‌بینی استفاده شود. از بین مدل‌های اتورگرسیو (AR) و میانگین متحرک (MA) و تلفیق دو مدل یعنی اتورگرسیو-میانگین متحرک (ARMA)، مدل سوم دقت قابل قبولتری دارد. پارامترهای این مدل ARMA(4,5) به دست آمده و صحت‌سنجی مدل بر اساس مقدار خطای مطلق، همبستگی، توانایی مدل در پیش‌بینی انجام گرفت. مقادیر صحت‌سنجی بر اساس معیارهای  $R^2$ ,  $R$ ,  $MAPE$ ,  $NRMSE$ , Bias Term به ترتیب ۰/۰۴۷ و ۰/۹۴۵ و ۰/۸۹۵ و ۲/۱ و ۰/۹۵۱ می‌باشد که نشان می‌دهد مدل از دقت قابل قبولی برخوردار است.

## سپاسگزاری

داده‌هایی که از برداشتهای میدانی و مطالعات ترافیکی به دست می‌آیند نمی‌توانند به تنهایی بیانگر وضعیت آینده باشند اما در صورتی که اطلاعات ترافیکی در شرایط فعلی در دسترس باشد می‌توان با مدل‌سازی میزان حجم تقاضای سفر در آینده را تخمین زد. آزادراه خلیج فارس یکی از پرترددترین و حیاتیترین محورهای مواصلاتی کشور است که سالانه حجم بسیاری زیادی از کالا و مسافر را انتقال می‌دهد. داده‌های استفاده شده در این پژوهش در واقع میزان تردد وسایل نقلیه به صورت ماهانه گرفته شده از سازمان راهداری کشور است با توجه به اینکه ماهیت داده‌ها ماهیت سری زمانی می‌باشد با استفاده از مدل زمانی میانگین متحرک خود همبسته بر اساس داده‌های شرایط فعلی، مدلی توسعه یافت که بر اساس آن مقادیر تقاضای سفر برای سالهای آتی تا افق ۱۴۰۴ تخمین زده شد. با توجه به اهمیت

## مراجع

- [1] Sh. Afandizadeh, A. Momenpour, "Analysis of demand for travel analysis with approach to neural network model and regression method, case study (Khalkhal-Ardabil)", *14th International Conference on Transport and Traffic Engineering*, 14 p. (in Persian), 2014.
- [2] S. E. Kimes, "Transportation revenue management: could it work", *Journal of Revenue and Pricing Management*, Vol. 4, No. 1, pp. 95-97, 2005.
- [3] L. Misuk, "Modeling and forecasting hotel room demand based on advance booking information", *Tourism Management*, Volume 66, pp. 62-71, 2017.
- [4] M. Tiago, F. Dantas, C. Luiz, H. Oliveira, V. R. Miguel, "Air transportation demand forecast through Bagging Holt Winters methods", *Journal of Air Transport Management*, Vol. 59, pp. 116-123, 2017.
- [5] M. Usman, T. Umer, S. Güven, "Forecasting performance of smooth transition autoregressive (STAR) model on travel and leisure stock index", *The Journal of Finance and Data Science*, Vol. 4, Issue 2, pp. 90-100, 2018.
- [6] G. Guo, T. Zhang, "A residual spatio-temporal architecture for travel demand forecasting", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 115: 102639, 2020.
- [7] T. F. Rossi, "Travel Demand Forecasting: Where are we and What are the Emerging Issues", 2021.
- [8] J. Liang, et al, "On region-level travel demand forecasting using multi-task adaptive graph attention network", *Information Sciences*, 2022.
- [9] K. Hamad, L. Obaid, "Tour-based travel demand forecasting model for a university campus", *Transport Policy*, 117, pp. 118-137, 2022.
- [10] C. Marc, P. B. Gelhausen, W. Dieter, "A new direct demand model of long-term forecasting air passengers and air transport movements at German airports", *Journal of Air Transport Management*, Available online 12 April, p. 16 2018.

- [11] F. Chyon, et al, "Time series analysis and predicting COVID-19 affected patients by ARIMA model using machine learning.", *Journal of Virological Methods*, 301: 114433, 2022.
- [12] A. Ghasemi, "Application of Neural Networks in Time Series Forecasting and Comparison with ARIMA Model", *Commercial Journal*, pp. 88 to 110 (in Persian), 2001.
- [13] A. Sarlak, "Comparative evaluation of AR, MA, ARMA, ARIMA time series models in predicting the stock index of Tehran Stock Exchange", *New research in management and accounting*, second year, No. 3, pp. 130-145 (in Persian), 2017.
- [14] A. Gupta, A. Kumar, "Two-step daily reservoir inflow prediction using ARIMA-machine learning and ensemble models", *Journal of Hydro-environment Research* 45: 39-52, 2022.
- [15] M. Nazeri Tohridi, "Evaluation of univariate, multivariate and time series compilations in predicting and estimating the average annual sediment load (Case study: Sistan River)", *Environmental Erosion Research*, pp. 52-70 (in Persian), 2016.
- [16] D. Chakraborty, S. K. Sanyal, "Time-series data optimized AR/ARMA model for frugal spectrum estimation in Cognitive Radio.", *Physical Communication*, 44: 101252, 2021.
- [17] M. R. Sahbald, "Performance Comparison Genetic Planning and Time Series Pattern In the short-term forecast of passenger demand for Iranian Railways", the Railway Research and Training Center No. 287, 6 p (in Persian), 2015.
- [18] Sh. Afandizadeh, "Formulation of a Methodology for Assessing Parameters Effective on the Demand of Air Travel in Iran", *International Journal of Engineering Sciences of Iran University of Science and Technology*, Vol. 19, p. 89-97 (in Persian), 2008.
- [19] M. Pourkazemi, M. Asadi, "Dynamic prediction of crude oil prices using artificial neural networks and with the use", Master's thesis, faculty, Petroleum Systems of the Economic and Political Sciences of the Shahid Beheshti University, p. 73 (in Persian), 2009.
- [20] J. P. Karmy and S. Maldonado, "Hierarchical time series forecasting via support vector regression in the European travel retail industry", *Expert Systems with Applications* 137: 59-73, 2019.
- [21] A. Taymouri, "Designing the Mathematical Model for predicting demand for travel by train using time series of case studies: Khorasan axis", *Eighth Railway Transportation Conference*, 15 p, 2006. (in Persian)