

## ارزیابی کارایی روش‌های مختلف ایستاسازی داده‌ها با استفاده از مدل‌های خانواده ARIMA

رضا قضاوی<sup>۱\*</sup>، رسول ایمانی<sup>۲</sup>، اباذر اسمعیلی عوری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۰۴

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۲۶

- ۱- دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان
  - ۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان
  - ۳- دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
- \* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ghazavi@kashanu.ac.ir

### چکیده

پیش‌بینی عمق بارندگی در مدیریت منابع آب هر منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. مدل‌های سری‌های زمانی خانواده ARIMA کاربرد گسترده‌ای در این زمینه دارند. هدف اصلی این مطالعه پیش‌بینی بارندگی ماهانه با استفاده از بهترین روش ایستاسازی سری زمانی و مناسب‌ترین مدل خانواده ARIMA است. در این مطالعه، از داده‌های ایستگاه همدید اردبیل استفاده شد. در گام اول، بخش‌های روند و تغییرات فصلی داده‌های بارندگی ماهانه از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ با استفاده از روش‌های مختلف حذف شد و در گام دوم، کارایی مدل‌های مختلف خانواده ARIMA در پیش‌بینی بارندگی ماهانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش ایستاسازی با استفاده از میانگین متحرک مرکزی مرتبه ۱۲ و میانگین فصلی به‌ترتیب، برای حذف روند و تغییرات فصلی (به دلیل ایجاد بالاترین مقدار ضریب همبستگی  $(r=0/8)$ ) بهترین روش ایستاسازی بوده و مدل  $SARIMA(1,0,1)(0,0,1)_{12}$  با بیشترین ضریب همبستگی  $(r=0/8)$  و کمترین معیار آکائیک ( $AIC=191/74$ ) مناسب‌ترین مدل پیش‌بینی بارندگی ماهانه در ایستگاه مورد مطالعه است. در نهایت، بارندگی ماهانه ۳ سال آینده (۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹) با استفاده از روش ایستاسازی و مدل منتخب پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد که روند بارندگی ایستگاه همدید اردبیل در سه سال آینده به‌صورت کاهشی خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: اردبیل، پیش‌بینی بارندگی، سری‌های زمانی، معیار آکائیک

## Evaluation of Different Data Stationary Methods Efficiency Using ARIMA Family Models

R Ghazavi<sup>\*1</sup>, R Imani<sup>2</sup>, A Esmali Ouri<sup>3</sup>

Received: September 26, 2017 Accepted: Mars 17, 2019

<sup>1</sup> Assoc Prof., Dept. of Watershed management, Faculty of Natural Resources and Geoscience, University of Kashan, Iran

<sup>2</sup> Ph.D. Student of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Geoscience, University of Kashan, Iran

<sup>3</sup> Assoc Prof., Dept. of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardebil, Iran

\* Corresponding Author, Email: ghazavi@kashanu.ac.ir

### Abstract

Forecasting rainfall depth is very important in water resources management. ARIMA family time series models have a widespread application in this context. The main objective of this study was to predict monthly rainfall using the best time series stationary method and the most suitable ARIMA family model. In this study, Ardabil synoptic station's data was used. In the first step, the trend and seasonality terms of monthly rainfall data from 1990 to 2016 were removed using different methods and in the second step the efficiency of different ARIMA models for predicting monthly rainfall was investigated. Results showed that the stationary method using 12 period centered moving average and seasonal average in order to remove trend and seasonal variation, respectively, is the best stationary method with the highest correlation coefficient ( $r=0.8$ ). Also, the SARIMA (1,0,1) (0,0,1)<sub>12</sub> model with the highest correlation coefficient ( $r=0.8$ ) and the lowest Akaike criterion ( $AIC=191.74$ ) is the best prediction model for monthly rainfall at the studied station. Finally, the monthly rainfall of the next 3 years (2017-2019) forecasted using the optimized stationary method and the selected model. Results showed that the rainfall trends of Ardabil synoptic station will be decreased in the next three years.

**Keywords:** Akaike Information Criterion, Ardabil, Rainfall Prediction, Time Series

### مقدمه

بررداری بهینه و پایدار از منابع آبی موجود خواهد نمود (ترنجیان و معروفی ۱۳۹۶، باقیراف و همکاران ۲۰۱۷).

مدل‌های مختلف پیش‌بینی بارندگی را می‌توان به دو دسته اصلی تقسیم نمود. مدل‌های فیزیکی که مبتنی بر مدل‌سازی فرآیندهای فیزیکی مؤثر در بارندگی بوده و مدل‌های مبتنی بر داده که با استفاده از داده‌های مشاهده شده تاریخی، مقدار بارندگی را در آینده پیش‌بینی می‌کنند. این مدل‌ها اصطلاحاً مدل‌های تحلیل سری‌های زمانی نامیده می‌شوند (آبوت و ماروهاسی ۲۰۱۲ و ۲۰۱۴). از جمله مدل‌های تحلیل سری‌های زمانی که به‌منظور پیش‌بینی بارندگی مورد استفاده

در میان پارامترهای مختلف اقلیمی، بارندگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ زیرا اصلی‌ترین منبع تأمین آب در دسترس بشر بوده و وجود آن منشأ اصلی فعالیت‌های مختلف از جمله کشاورزی و امنیت غذایی، صنعتی و اقتصادی بوده و بلاهای طبیعی از جمله سیل و خشکسالی از آن ناشی می‌شود (رحمان و همکاران ۲۰۱۷، ناراسیمها مورتی و همکاران ۲۰۱۸). از این رو، پیش‌بینی مقدار بارندگی آینده و به عبارت دیگر مقدار آب در دسترس آینده یک گام بسیار مفید در راستای سیاست‌گذاری‌های آگاهانه، برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بوده و کمک زیادی در بهره

آبخیز رودخانه ماهانادی در کشور هندوستان را با استفاده از مدل‌های SARIMA مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و نتیجه گرفتند که مدل  $SARIMA(1,0,0)(0,1,1)_2$  بهترین الگو در پیش‌بینی بارندگی منطقه مورد مطالعه است. رحمان و همکاران (۲۰۱۷) کارایی مدل‌های مختلف SARIMA را به‌منظور پیش‌بینی بارندگی ماهانه کشور بنگلادش ارزیابی کردند. ایشان گزارش دادند که مدل  $SARIMA(1,0,0)(0,1,1)_2$  بهترین الگوی پیش‌بینی بارندگی کشور است. ناراسیمها مورتی و همکاران (۲۰۱۸) کارایی مدل‌های مختلف SARIMA را در پیش‌بینی بارندگی موسمی شمال شرق کشور هندوستان، مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل  $SARIMA(0,1,1)(1,0,1)_2$  مناسب‌ترین مدل در پیش‌بینی بارندگی منطقه است.

بارندگی یکی از سری‌های زمانی هیدرولوژیکی است که از مجموع مشاهدات بارندگی که برحسب زمان و در فواصل مساوی از آن مرتب شده است تشکیل می‌گردد (باکس و همکاران ۱۹۹۴، باورمن و کونل ۱۹۷۹). سری‌های زمانی هیدرولوژیکی به‌طور عمده پویا و یا نایستا بوده و از سه بخش اصلی تشکیل می‌شوند که عبارتند از: ۱) بخش روند (تغییرات افزایشی و یا کاهش‌ی خطی و یا (اغلب) غیرخطی)، ۲) بخش فصلی (تغییرات افزایشی و کاهش‌ی که با فواصل زمانی منظم تکرار می‌شوند) و ۳) بخش تصادفی (داده باقیمانده پس از حذف روند و تغییرات فصلی). دو بخش اول ترم قطعی داده‌ها و یا عوامل نایستایی و بخش سوم ترم تصادفی و یا بخش ایستای داده‌ها است (کارآموز و عراقی‌نژاد ۱۳۹۳).

مفهوم اصلی ایستاسازی عبارت است از حذف مقادیر مربوط به جمله قطعی (روند و تغییرات فصلی) و بدست آوردن بخش تصادفی داده‌ها است (خلیلی و ناظری تهرودی ۱۳۹۳). اولین گام در مدل‌سازی و پیش‌بینی داده‌ها با استفاده از مدل‌های خانواده

قرار می‌گیرند می‌توان به شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)<sup>۱</sup>، K نزدیک‌ترین همسایگی (K-NN)<sup>۲</sup>، رگرسیون خطی چندگانه (MLR)<sup>۳</sup>، ماشین‌های بردار پشتیبان رگرسیونی (SVM<sub>Reg</sub>)<sup>۴</sup> و مدل‌های خانواده اتورگرسیو میانگین متحرک یکپارچه (ARIMA)<sup>۵</sup> اشاره کرد. در این میان، مدل‌های خانواده ARIMA پرکاربردترین مدل‌های تحلیل سری‌های زمانی در پیش‌بینی بارندگی است که در داخل و خارج از کشور مورد استفاده قرار گرفته است.

ویسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) کارایی مدل‌های AR، MA، ARMA، ARIMA و SARIMA را در پیش‌بینی بارندگی و دمای روزانه، ماهانه و سالانه ایستگاه همدید کرمانشاه مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل  $SARIMA(0,0,1)(0,1,1)_2$  بهترین الگو در پیش‌بینی بارندگی و دمای منطقه است. حسینعلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) کارایی مدل‌های SARIMA را به‌منظور پیش‌بینی بارندگی ماهانه ایستگاه باران‌سنجی ارازکوسه در استان گلستان، مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل  $SARIMA(0,0,1)(0,1,1)_2$  مناسب‌ترین الگوی پیش‌بینی بارندگی است. عبدالله‌نژاد (۱۳۹۴) کارایی مدل‌های غیرفصلی AR، MA و ARIMA و مدل‌های فصلی SARIMA را به‌منظور پیش‌بینی بارندگی ماهانه ایستگاه هاشم‌آباد در استان گلستان، مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل  $SARIMA(2,1,2)(0,1,2)_2$  با کمترین خطا برآورد می‌کند. خلیلی و ناظری تهرودی (۱۳۹۵) عملکرد مدل‌های تک‌متغیره ARIMA و چندمتغیره CARIMA را در مدل‌سازی بارندگی سالانه ایستگاه همدید ارومیه مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های چندمتغیره دقت بالاتری نسبت به مدل‌های تک‌متغیره دارند. مهر و ژها (۲۰۱۳) بارندگی ماهانه حوضه

<sup>1</sup> Artificial Neural Networks

<sup>2</sup> K-Nearest neighbors

<sup>3</sup> Multiple Linear Regression

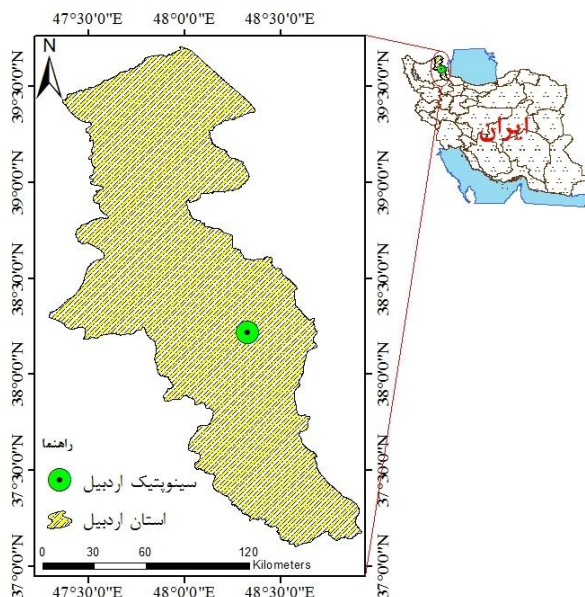
<sup>4</sup> Support Vector Machines for Regression

<sup>5</sup> Auto Regressive Integrated Moving Average

مورد استفاده قرار گرفت. موقعیت کشوری و استانی ایستگاه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

### تشریح مدل‌های خانواده ARIMA

مدل‌های خانواده ARIMA به دودسته مدل‌های غیرفصلی یا ARIMA و مدل‌های فصلی یا SARIMA تقسیم می‌شوند.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه همدید اردبیل در استان اردبیل و ایران.

### مدل‌های غیرفصلی

مدل‌های غیرفصلی یا  $ARIMA(p,q,d)$  با مرتبه-های  $p$ ،  $q$  و  $d$  مشخص می‌شوند و شامل مدل‌های زیر می‌باشد:

#### الف: مدل اتورگرسیو (AR)

این مدل به صورت  $AR(p)$  بیان می‌شود که در آن  $p$  مرتبه اتورگرسیو بوده و ساختار آن مطابق رابطه زیر است.

[۱]

$$Y_t = C + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + e_t$$

#### ب: مدل میانگین متحرک (MA)

این مدل به صورت  $MA(q)$  بیان می‌شود که در آن  $q$  مرتبه میانگین متحرک بوده و ساختار آن مطابق رابطه زیر است.

ARIMA، ایستاسازی سری زمانی است (خلیلی و همکاران ۱۳۹۶) که در تحقیقات مختلف روش‌های منفرد متفاوتی به این منظور استفاده شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های تفاضل‌گیری، حداقل مربعات، تبدیل باکس-کاکس و میانگین متحرک در حذف بخش روند و روش‌های تفاضل‌گیری فصلی و میانگین فصلی در حذف تغییرات فصلی اشاره نمود (خلیلی و همکاران ۱۳۹۰، حسینعلی‌زاده و همکاران ۱۳۹۳، عبداله‌نژاد ۱۳۹۴، میرزاوند و قضاوی ۲۰۱۵، دستورانی و همکاران ۲۰۱۶) که هر یک به روش خاصی عوامل نایستایی را حذف می‌کنند. اما در این مطالعه، برای اولین بار، کارایی روش‌های مختلف ایستاسازی به منظور حذف روند و تغییرات فصلی داده‌های بارندگی ماهانه، به طور همزمان مورد ارزیابی قرار گرفت.

بنابراین، اهداف اصلی این مطالعه، ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف ایستاسازی داده‌ها و مدل‌های مختلف خانواده ARIMA در پیش‌بینی بارندگی ماهانه است که به صورت موردی در ایستگاه همدید اردبیل انجام گردید.

### مواد و روش‌ها

#### ایستگاه مورد مطالعه و داده‌های مورد مطالعه

این مطالعه به صورت موردی در ایستگاه همدید اردبیل انجام گردید. این ایستگاه در شمال غربی کشور ایران، بخش مرکزی استان اردبیل و در شهرستان اردبیل واقع بوده و مختصات جغرافیایی آن به صورت  $38^{\circ} 15'$  عرض شمالی و  $48^{\circ} 17'$  طول شرقی است. ارتفاع آن از سطح دریا معادل ۱۳۳۲ متر، بارندگی متوسط سالانه حدود ۲۹۰ میلی‌متر و دمای متوسط روزانه آن حدود ۱۰ درجه سلسیوس است (نویسندگان). براساس روش آمبرژه، اقلیم این ایستگاه از نوع خشک سرد است. در این مطالعه داده‌های بارندگی ماهانه ایستگاه مذکور از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶

(سوموانشی و همکاران ۲۰۰۶، ناراسیمها مورتی و همکاران ۲۰۱۸).

$$\varphi_p(B) = 1 - \varphi_1 B^1 - \varphi_2 B^2 - \dots - \varphi_p B^p \quad [5]$$

$$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B^1 - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \quad [6]$$

#### مدل فصلی

این مدل اتورگرسیو میانگین متحرک یکپارچه فصلی نامیده شده و به صورت  $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$  بیان می‌شود که در آن  $p, d$  و  $q$  به ترتیب، مرتبه‌های اتورگرسیو، تفاضل‌گیری و میانگین متحرک در بخش غیرفصلی،  $P, D, Q$  به ترتیب مرتبه‌های اتورگرسیو، تفاضل‌گیری و میانگین متحرک در بخش فصلی و  $s$  طول فصل بوده و ساختار آن به صورت زیر است.

$$[7]$$

که در آن،  $Y_t, \mu, e_t, \nabla, B, \varphi, \theta, \Phi, \Theta, \varphi_p(B), \theta_q(B)$  به ترتیب، پارامترهای مدل‌های  $AR$  و  $MA$  فصلی،  $P, D, Q$  به ترتیب، مرتبه‌های اتورگرسیو، تفاضل‌گیری و میانگین متحرک در بخش فصلی و  $s$  طول فصل است. مقادیر  $\varphi_p(B)$  و  $\theta_q(B)$  به ترتیب، مطابق روابط ۵ و ۶ و مقادیر  $\Phi_p(B^s)$  و  $\Theta_q(B^s)$  نیز به ترتیب، با استفاده از روابط ۸ و ۹ تعیین می‌شوند (ناراسیمها مورتی و همکاران ۲۰۱۸).

$$[8]$$

$$\Phi_p(B^s) = 1 - \Phi_1 B^{1s} - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_p B^{Ps}$$

$$[9]$$

$$\Theta_q(B^s) = 1 - \theta_1 B^{1s} - \theta_2 B^{2s} - \dots - \theta_q B^{Qs}$$

#### روش مطالعه

پیش‌بینی بارندگی ماهانه ایستگاه همدید اردبیل با استفاده از روش‌های مختلف ایستاسازی و مدل‌های مختلف خانواده  $ARIMA$  طی مراحل زیر انجام گردید:

$$Y_t = C + \theta_1 Y_{t-1} + \theta_2 Y_{t-2} + \dots + \theta_q Y_{t-q} + e_t \quad [2]$$

ج: مدل اتورگرسیو میانگین متحرک (ARMA)

این مدل به صورت  $ARMA(p,q)$  بیان می‌شود که در آن  $p$  و  $q$  به ترتیب، مرتبه اتورگرسیو و میانگین متحرک بوده و ساختار آن مطابق رابطه زیر است.

$$Y_t = \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + e_t - \theta_1 Y_{t-1} - \theta_2 Y_{t-2} - \dots - \theta_q Y_{t-q} \quad [3]$$

در روابط ۱ تا ۳،  $Y_t$  متغیر پیش‌بینی شده در زمان  $t$  ام،  $\varphi_1, \varphi_2$  و  $\varphi_p$  پارامترهای مدل  $AR$ ،  $\theta_1, \theta_2$  و  $\theta_q$  پارامترهای مدل  $MA$ ،  $C$  مقدار ثابت مدل،  $p$  و  $q$  به ترتیب مرتبه اتورگرسیو و میانگین متحرک،  $t$  زمان و  $e_t$  مقدار باقیمانده تصادفی در زمان  $t$  ام (مستقل از زمان که از توزیع نرمال با میانگین صفر تبعیت می‌کند) (حسینعلی-زاده و همکاران ۱۳۹۳، جعفرزاده و همکاران ۱۳۹۶، ونگ و همکاران ۲۰۱۴، پاپالاسکاریس و همکاران ۲۰۱۶).

د: مدل اتورگرسیو میانگین متحرک یکپارچه (ARIMA)

این مدل به صورت  $ARIMA(p,d,q)$  بیان می‌شود که در آن  $p$  و  $d$  و  $q$  به ترتیب مرتبه اتورگرسیو، تفاضل‌گیری غیرفصلی و میانگین متحرک بوده و ساختار آن به شرح زیر است.

$$\varphi_p(B) \nabla^d Y_t = \mu + \theta_q(B) e_t \quad [4]$$

که در آن،  $Y_t$  متغیر پیش‌بینی شده در زمان  $t$  ام،  $\mu$  میانگین داده‌ها،  $\varphi$  و  $\theta$  به ترتیب، پارامتر مدل‌های  $AR$  و  $MA$  غیرفصلی،  $p$  و  $d$  و  $q$  به ترتیب، مرتبه اتورگرسیو، تفاضل‌گیری غیرفصلی و میانگین متحرک،  $e_t$  مقدار باقیمانده تصادفی در زمان  $t$  ام،  $\nabla$  عملگر تفاضل (عملگر تفریقی که در آن هر داده از داده‌های قبلی معین کم می‌شود و به صورت  $\nabla X_t = X_t - X_{t-1}$  بیان می‌شود) و  $B$  عملگر پسرو است. مقادیر  $\varphi_p(B)$  و  $\theta_q(B)$  نیز به ترتیب، با استفاده از روابط ۵ و ۶ تعیین می‌شوند

**الف) آماده‌سازی داده‌ها**

در این مرحله عوامل نایستایی (روند و تغییرات فصلی) از سری زمانی مورد استفاده حذف و سری زمانی ایستا ایجاد شد. به این منظور، ترکیبی از روش‌های مختلف مطابق جدول ۱ جهت ایستاسازی داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

**جدول ۱- روش‌های حذف روند و تغییرات فصلی به-منظور ایستاسازی داده‌ها.**

روش ایستاسازی	حذف روند	حذف تغییرات فصلی
۱	تبدیل باکس-کاکس	تفاضل مرتبه ۱۲
۲	تفاضل مرتبه ۱	تفاضل مرتبه ۱۲
۳	حداقل مربعات	تفاضل مرتبه ۱۲
۴	حداقل مربعات	میانگین فصلی
۵	میانگین متحرک	میانگین فصلی

**تبدیل باکس-کاکس**

تبدیل باکس-کاکس یکی از روش‌های ایستاسازی داده‌های مثبت و غیرصفر است که مطابق رابطه زیر است.

$$Z_t = \begin{cases} \frac{(X_t^\lambda - 1)}{\lambda} & \lambda \neq 0 \\ \log X_t & \lambda = 0 \end{cases} \quad [10]$$

که در آن،  $Z_t$  داده تبدیل شده (بخش فصلی و تصادفی) در زمان  $t$  ام،  $X_t$  داده مشاهده شده در زمان  $t$  ام و  $\lambda$  پارامتر مدل است (ناظری تهرودی و همکاران ۱۳۹۳). در این تبدیل مقدار  $\lambda$  به صورتی تعیین می‌شود که میانگین داده‌ها (به دلیل مثبت و غیر صفر بودن داده‌ها) برابر با صفر گردد. ضمناً ضریب چولگی داده‌های تبدیل شده صفر و ضریب کشیدگی برابر با سه گردد. در این مطالعه تبدیل باکس-کاکس داده‌ها با استفاده از ابزار Transform در محیط نرم‌افزار آماری SPSS.23 انجام شد.

**تفاضل‌گیری**

تفاضل‌گیری یکی از روش‌های حذف عوامل نایستایی از سری‌ها زمانی است. در این روش سری جدید به شرح زیر تعریف شد.

$$Z_t = \nabla(n)X_t = X_t - X_{t-n} \quad [11]$$

که در آن،  $Z_t$  داده فاقد عامل نایستایی در زمان  $t$  ام،  $X_t$  داده مشاهده شده در زمان  $t$  ام،  $\nabla$  عملگر تفاضل و  $n$  مرتبه تفاضل است (کارآموز و عراقی نژاد ۱۳۹۳). با توجه به روابط شماره ۴ و ۷، لازم به ذکر است که در تفاضل‌گیری غیرفصلی،  $\nabla(n)$  به صورت  $\nabla^d$  بیان می‌شود که  $d$  نشان‌دهنده مرتبه تفاضل غیرفصلی است و در تفاضل‌گیری فصلی،  $\nabla(n)$  به صورت  $\nabla_s^D$  بیان می‌شود که  $D$  نشان‌دهنده مرتبه تفاضل فصلی و  $s$  نشان‌دهنده طول فصل (طول تکرار داده‌ها) است. برای مثال، در تفاضل غیرفصلی مرتبه ۱،  $\nabla(1)$  به صورت  $\nabla^1$  و در تفاضل‌گیری فصلی مرتبه ۱ که داده‌ها دارای دوره تکرار ۱۲ ماهه هستند،  $\nabla(12)$  به صورت  $\nabla_{12}^1$  نشان داده می‌شود. در این مطالعه از عملگرهای تفاضلی  $\nabla^1$  و  $\nabla_{12}^1$  به ترتیب، برای حذف روند و تغییرات فصلی داده‌ها استفاده گردید.

**حداقل مربعات**

روش حداقل مربعات یک روش به‌منظور حذف روند خطی موجود داده‌های سری زمانی است که در آن داده‌ها به شرح زیر تبدیل می‌شوند.

$$Z_t = at + \beta \quad [12]$$

که در آن،  $Z_t$  بخش روند داده در زمان  $t$  ام،  $\alpha$  شیب خط روند و  $\beta$  عرض از مبدأ است که مقدار آن‌ها به ترتیب، از روابط زیر تعیین می‌شود.

$$\alpha = \frac{10 \sum_{t=1}^n tX_t - \sum_{t=1}^n t \sum_{t=1}^n X_t}{10 \sum_{t=1}^n t^2 - (\sum_{t=1}^n t)^2} \quad [13]$$

$$\beta = \bar{X} - \alpha \bar{t} \quad [14]$$

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n} \quad [17]$$

که در آن  $Z_j$  تغییرات فصلی در ماه  $j$  ام،  $X$  داده فاقد روند و  $n$  تعداد سال‌های مورد بررسی است.

در این مطالعه از دستور "Decompose" در محیط نرم-افزار آماری R.3.3.1 که به‌طور پیش‌فرض براساس میانگین فصلی، بخش فصلی داده‌ها را جدا سازی می-کند، استفاده گردید. در نهایت، پس از ایستاسازی سری زمانی بارندگی ماهانه براساس هر یک از ۵ روش مورد استفاده در جدول ۱، از معادله خطی سری زمانی ایستا شده (بخش تصادفی) به‌منظور تعیین میزان شیب خط برازش و بررسی چگونگی حذف روند داده‌ها و از نمودارهای خود همبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) داده‌های ایستا به‌منظور بررسی عدم وجود همبستگی در تأخیرهای مختلف (عدم وجود تغییرات فصلی) استفاده گردید. همچنین از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در سطح اطمینان ۹۵ درصد در محیط SPSS.23 به‌منظور ارزیابی نرمال بودن توزیع آماری داده‌های ایستا شده استفاده گردید. در نهایت، سری‌های ایستای غیر نرمال با استفاده از مناسب‌ترین نوع تبدیل (تبدیل‌های لگاریتمی، جذری، نمایی، معکوس، توانی و سینوسی) (ناظری تهرودی و همکاران ۱۳۹۳)، نرمال شدند.

#### ب) مدل‌سازی

پس از آماده‌سازی داده‌ها، مشاهدات سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ جهت مدل‌سازی و مطابق اغلب مطالعات مرتبط بخشی از داده‌های انتهایی (سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶) جهت آزمون مدل‌ها انتخاب شدند. بنابراین، داده‌های ایستا و نرمال ماهانه دوره مدل‌سازی حاصل از هریک از روش‌های ایستاسازی، به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف خانواده ARIMA وارد محیط نرم افزار آماری R3.3.1 شدند. در گام اول مدل‌های غیرفصلی مورد ارزیابی قرار گرفته و مدل‌های مختلف به‌صورت آزمون و خطا براساس مرتبه‌های متغیر از بین صفر، ۱ و ۲، اجرا شدند. بنابراین، تعداد ۲۶ نوع

که در آن‌ها،  $X_t$  داده مشاهده شده در زمان  $t$  ام،  $n$  تعداد مشاهدات سری زمانی،  $\bar{X}$  میانگین مشاهدات و  $\bar{t}$  میانگین شماره مشاهدات سری زمانی است (کارآموز و عراقی نژاد ۱۳۹۳). در این مطالعه، معادله روند خطی داده‌ها در محیط اکسل محاسبه و مقدار سری فاقد روند با تفریق مقدار روند از مقادیر مشاهده شده محاسبه گردید.

#### میانگین متحرک

یکی از روش‌های تعیین روند تغییرات سری‌های زمانی، استفاده از میانگین متحرک است (مهدوی ۱۳۸۶، نیرومند و بزرگ‌نیا ۱۳۹۰) که با استفاده از رابطه ۱۵ محاسبه شده و روند غیرخطی موجود در داده‌ها را مشخص می‌کند.

$$Z_{tm} = \frac{\sum_{i=t-k}^{t+k} X_i}{m} \quad [15]$$

که در آن  $Z_{tm}$  میانگین متحرک (بخش روند) مرتبه  $m$  (اعداد فرد) در زمان  $t$  ام،  $m$  مرتبه و یا دوره میانگین متحرک  $(m = 2k + 1)$  و  $X_i$  مقدار مشاهده شده در زمان  $i$  ام است. در این مطالعه، به‌دلیل استفاده از داده-های ماهانه، بخش روند داده‌ها براساس میانگین متحرک مرکزی مرتبه ۱۲ تعیین گردید. بدین منظور، از دستور "Decompose" در محیط نرم‌افزار آماری R.3.3.1 استفاده گردید که به‌طور پیش‌فرض براساس میانگین متحرک مرکزی مرتبه ۱۲، بخش روند داده‌ها را جدا سازی می‌کند.

#### میانگین فصلی

در این روش، ماتریس داده‌های فاقد روند تشکیل می‌شود. سال‌های مورد بررسی ردیف‌ها و ماه‌های سال ستون‌های این ماتریس را تشکیل می‌دهد. در نهایت تغییرات فصلی هر ماه با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود. تغییرات فصلی بدست آمده برای هر ماه، در تمامی سال‌های مورد بررسی تکرار می‌شود.

باقیمانده حاصل از برازش مدل به سری مشاهده شده از نظر عدم وجود همبستگی با استفاده از نمودارهای خود همبستگی و خود همبستگی جزئی در تأخیرهای مختلف و همچنین از نظر نرمال بودن توزیع آماری آن با استفاده از آزمون کلمورگروف-اسمیرنف مورد ارزیابی قرار گرفت (عبداله‌نژاد ۱۳۹۴).

#### د) پیش‌بینی بارندگی ماهانه

مقادیر بارندگی ماهانه ۳ سال آینده (۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹) با استفاده از بهترین روش ایستاسازی و بهترین مدل پیش‌بینی کننده مربوط به آن، پیش‌بینی گردید.

### نتایج و بحث

#### ایستاسازی داده‌ها

نتایج مربوط به معادله خطی (که در آن‌ها  $x$  شماره زمان سری و  $y$  مقدار سری ایستا شده است)، سطح معنی داری آزمون نرمال بودن (آزمون کلمورگروف-اسمیرنف) قبل و بعد از تبدیل نرمال ساز و مناسب‌ترین تبدیل نرمال ساز برای سری زمانی ایستای ایجاد شده در هر یک از ۵ روش ایستاسازی مطابق جدول ۲ است. همچنین نمودار ACF و PACF مربوط به سری زمانی مشاهده شده و سری ایستا و نرمال حاصل از هر یک از ۵ روش ایستاسازی به-ترتیب، مطابق شکل‌های ۲ تا ۷ است.

با توجه به معادله خطی سری ایستای حاصل از روش-های ایستاسازی (جدول ۲)، کمترین شیب خط به‌ترتیب مربوط به روش‌های شماره ۱، ۵، ۳، ۴ و ۲ است. بنابراین، در روش‌های ایستاسازی شماره ۱، ۵ و ۳ به-دلیل ایجاد کمترین شیب در معادله خطی (به‌ترتیب برابر با  $-۰/۰۰۰۲$ ،  $-۰/۰۰۳۱$  و  $-۰/۰۰۴۷$ ) روند موجود در داده‌های سری زمانی بهتر از سایر روش‌ها حذف شده است. مطابق شکل ۲، داده‌های بارندگی ماهانه ایستگاه مورد مطالعه دارای خود همبستگی معنی‌داری در تأخیرهای ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ماهه می‌باشد که نشان از تکرار تغییرات فصلی در فاصله‌های ۱۲ ماهه می‌باشد

مدل در این گام مورد بررسی قرار گرفت که شامل ۲ مدل  $AR(p=۱,۲)$ ، ۲ مدل  $MA(q=۱,۲)$ ، ۴ مدل  $q=۱,۲$  و  $d=۱,۲$  و  $ARMA(p=۱,۲)$  و ۱۸ مدل  $q=۰,۱,۲$  و  $d=۱,۲$  و  $ARIMA(p=۰,۱,۲)$  بودند. در گام دوم نیز مدل‌های فصلی مورد ارزیابی قرار گرفته و مدل‌های مختلف به-صورت آزمون و خطا براساس مرتبه‌های متغیر از بین صفر و ۱، اجرا شدند. بنابراین، تعداد ۶۴ نوع مدل  $(Q=۰,۱,۲)$  و  $(D=۰,۱)$  و  $(P=۰,۱)$  و  $(q=۰,۱)$  و  $d=۰,۱$  و  $SRIMA(p=۰,۱)$  الگو سازی و اجرا شدند. پس از اجرای مدل‌های مذکور (در مجموع ۹۰ نوع مدل) برای هر یک از ۵ روش ایستاسازی، پارامترهای مدل‌ها  $(\theta, \varphi, \Phi)$ ،  $(D, d)$ ، معیار آکائیک (AIC) و همچنین مقادیر تصادفی پیش‌بینی شده برای ۳ سال آزمون (۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶) یادداشت گردید.

#### ج) انتخاب بهترین روش ایستاسازی و بهترین مدل

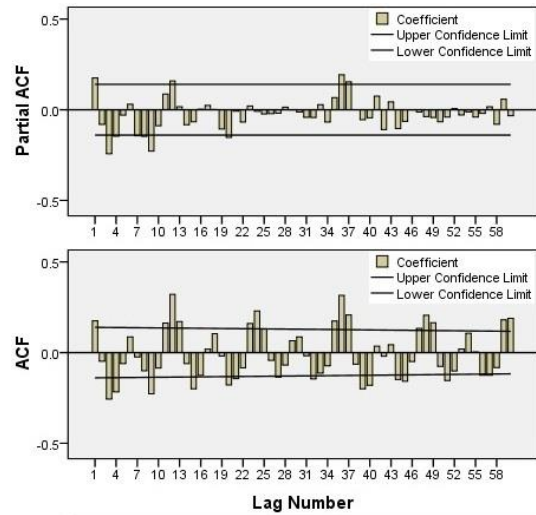
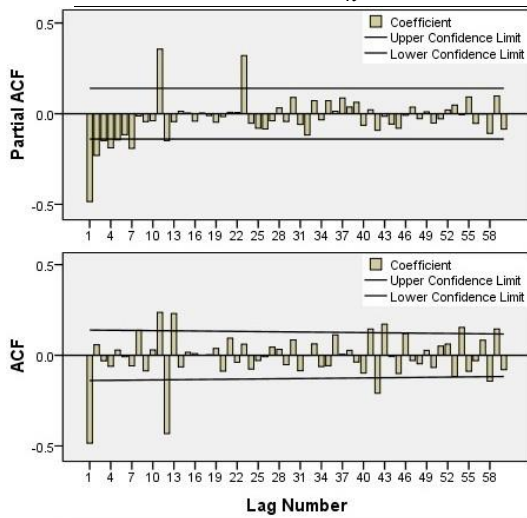
در این مرحله، سری‌های تصادفی پیش‌بینی شده هر مدل (پس از اعمال عکس تبدیل نرمال‌سازی در صورت لزوم)، با بخش‌های روند و فصلی مربوط به روش ایستاسازی خود جمع و مقادیر بارندگی ماهانه برای ۳ سال آزمون پیش‌بینی گردید. با مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده در دوره آزمون، مقدار ضریب همبستگی ( $r$ ) بین آن‌ها محاسبه گردید. بهترین مدل پیش‌بینی کننده در هر یک از روش‌های ایستاسازی براساس مقادیر پارامترهای مدل، معیار آکائیک و ضریب همبستگی تعیین شد؛ طوری‌که بهترین مدل در هر روش ایستاسازی دارای پارامترهای برابر و یا کمتر از قدرمطلق یک، کمترین معیار آکائیک و بیشترین ضریب همبستگی است. در نهایت روش ایستاسازی و مدلی که در آن بیشترین ضریب همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده در دوره آزمون وجود داشت به‌عنوان بهترین روش ایستاسازی و بهترین مدل پیش‌بینی کننده انتخاب گردید. همچنین به‌منظور اطمینان از مناسب بودن بهترین مدل انتخاب شده، مقادیر

<sup>1</sup> Akaike Information Criterion



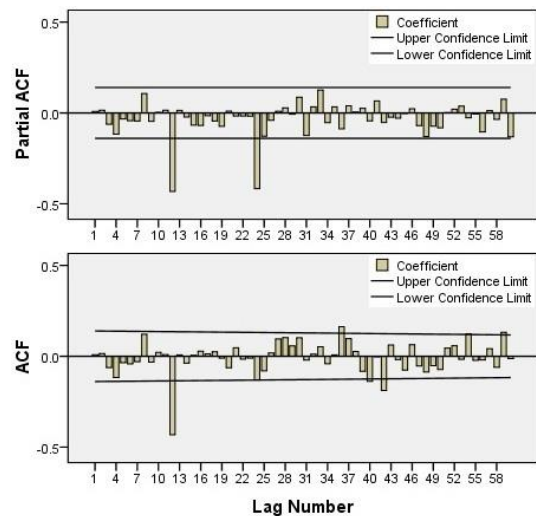
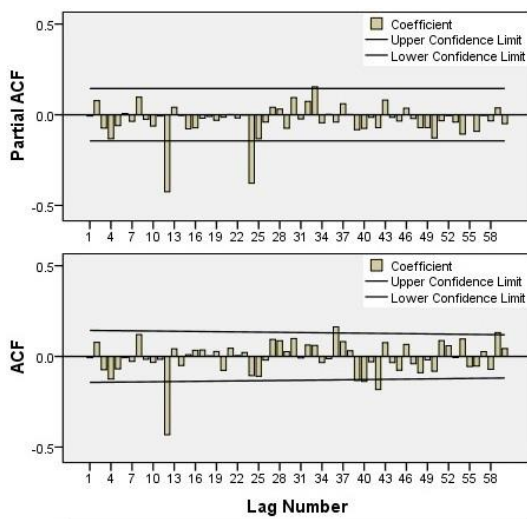
جدول ۲- معادله خط، سطح معنی‌داری آزمون نرمال بودن قبل و بعد از تبدیل و مناسب‌ترین تبدیل نرمال ساز سری تصادفی حاصل از روش‌های ایستاسازی مورد استفاده.

سطح معنی‌داری		سطح معنی‌داری		معادله خط	روش ایستاسازی
آزمون نرمال‌یته بعد از تبدیل	مناسب‌ترین تبدیل	آزمون نرمال‌یته قبل از تبدیل	تبدیل		
-	-	۰/۳۴	۰/۱۶۷	$y = -0.002x + 0.167$	۱
-	-	۰/۷۷	۰/۱۱۷۵	$y = -0.0153x + 1.1175$	۲
-	-	۰/۱۹	۰/۷۱۱۹	$y = -0.0047x - 0.7119$	۳
۰/۲۱	$x_n = \sqrt{x + 40}$	۰/۰۴	۰/۷۵۵۶	$y = -0.0135x + 0.7556$	۴
۰/۱۸	$x_n = \sqrt[3]{x + 40}$	۰/۰۰	۰/۳۹۰۱	$y = -0.0031x + 0.3901$	۵



شکل ۴- نمودارهای ACF و PACF سری ایستا در روش ایستاسازی ۲.

شکل ۲- نمودارهای ACF و PACF سری مشاهده‌ای بارندگی ماهانه.



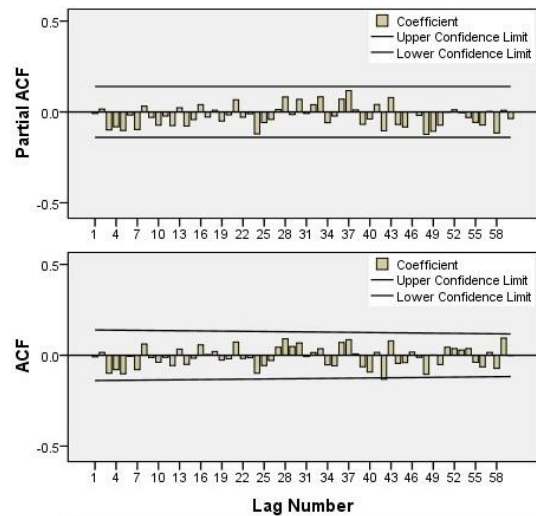
شکل ۵- نمودارهای ACF و PACF سری ایستا در روش ایستاسازی ۳.

شکل ۳- نمودارهای ACF و PACF سری ایستا در روش ایستاسازی ۱.

همچنین نتایج ارائه شده در شکل‌های ۳ تا ۷ نشان می‌دهد که تغییرات فصلی موجود در سری مشاهداتی در هر یک از ۵ روش ایستاسازی تا حد قابل ملاحظه‌ای حذف شده است. اما در میان آن‌ها روش‌های شماره ۴ و ۵ تغییرات فصلی موجود در داده‌ها را تقریباً به‌طور کامل حذف نموده است. بنابراین، با توجه به جدول ۱، روش میانگین فصلی بهترین روش جهت حذف تغییرات فصلی و ایستاسازی داده‌های بارندگی ماهانه مورد مطالعه است. بنابراین، با توجه به نتایج ارائه شده در این بخش می‌توان اظهار داشت که روش ایستاسازی شماره ۵ در مقایسه با دیگر روش‌های مورد استفاده روند و تغییرات فصلی موجود در داده‌ها را بهتر حذف نموده است.

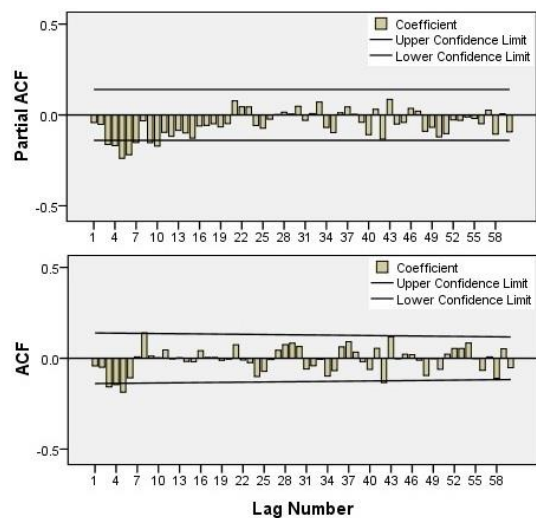
#### مدل‌های بهینه

مدل‌های بهینه در هر روش ایستاسازی با توجه به مقدار پارامترها، معیار آکائیک و ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و بیش‌بینی شده در دوره آزمون انتخاب گردید. بنابراین، نتایج مربوط به مدل بهینه انتخاب شده و اطلاعات مربوط به آن در هر یک از روش‌های ایستاسازی مطابق جدول ۳ است.



شکل ۶- نمودارهای ACF و PACF سری ایستا در روش

#### ایستاسازی ۴.



شکل ۷- نمودارهای ACF و PACF سری ایستا در روش

#### ایستاسازی ۵.

جدول ۳- مدل بهینه انتخاب شده در هر یک از روش‌های ایستاسازی مورد استفاده.

روش ایستاسازی	مدل بهینه	پارامترهای مدل						ضریب همبستگی
		$D$	$d$	$\Theta$	$\theta$	$\Phi$	$\phi$	
۱	$SARIMA(1,0,1)(0,0,1)_{12}$	-	-	-0.9291	-1/0.000	-	0.8917	۱/۰۰
۲	$SARIMA(1,0,1)(0,0,1)_{12}$	-	-	-0.9238	-1/0.000	-	-0.1994	0.41
۳	$SARIMA(1,0,1)(0,0,1)_{12}$	-	-	-0.9294	-1/0.000	-	0.8918	0.65
۴	$SARIMA(0,0,0)(1,0,1)_{12}$	-	-	-0.7067	-	0.7088	-	0.77
۵	$SARIMA(1,0,1)(0,0,1)_{12}$	-	-	-0.9353	-1/0.000	-	0.7216	0.80

ژها (۲۰۱۳)، رحمان و همکاران (۲۰۱۷) و پاپالاسکاریس و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد.

### بهترین مدل و روش ایستاسازی

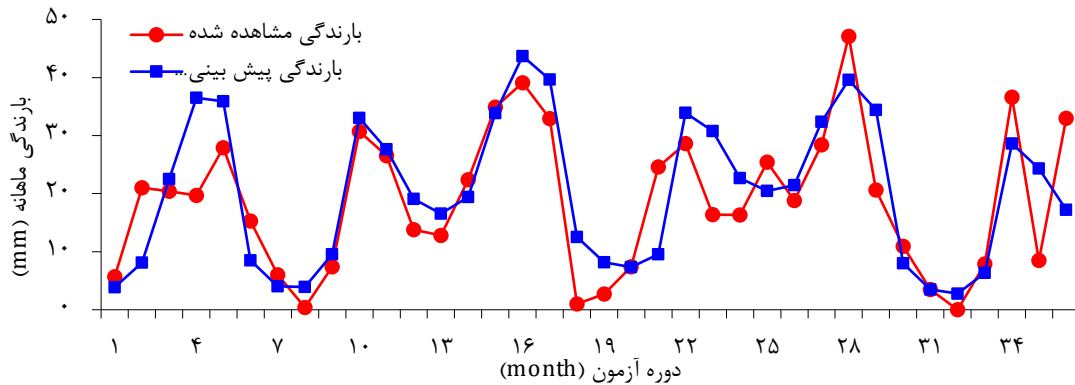
با توجه به نتایج ارائه شده در بخش ایستاسازی داده‌ها، روش ایستاسازی شماره ۵ (حذف روند با استفاده از میانگین متحرک مرتبه ۱۲ و حذف تغییرات فصلی با استفاده از میانگین فصلی) به‌عنوان بهترین روش ایستاسازی داده‌های بارندگی مورد مطالعه انتخاب گردید. همچنین مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۳، بیشترین ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده در دوره آزمون مربوط به روش ایستاسازی شماره ۵ است. از این رو، روش میانگین متحرک ۱۲ ساله و میانگین فصلی به‌ترتیب به‌عنوان بهترین روش حذف روند و تغییرات فصلی موجود در سری زمانی بارندگی مورد مطالعه انتخاب گردید. همچنین مدل  $SARIMA(1,0,1)(0,0,1)_2$  مربوط به این روش ایستاسازی، به‌دلیل دارا بودن مقادیر پارامترهای کمتر و یا برابر با قدر مطلق یک، کمترین معیار آکائیک و بیشترین ضریب همبستگی، به‌عنوان بهترین مدل پیش‌کننده بارندگی ماهانه در ایستگاه همدید اردبیل تعیین گردید. نمودار مربوط به مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل مذکور در دوره ۳۶ ماهه آزمون (سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶) مطابق شکل ۸ و نمودار پراکنش آن‌ها مطابق شکل ۹ است. همچنین نمودار خود همبستگی و خود همبستگی جزئی مربوط به مقادیر باقیمانده بهترین مدل انتخابی مطابق شکل ۱۰ است.

با توجه به شکل ۱۰، مقادیر باقیمانده بهترین مدل انتخابی از بهترین روش ایستاسازی فاقد خود همبستگی در تأخیرهای متفاوت بوده و بنابراین، باقیمانده‌ها به‌صورت تصادفی است.

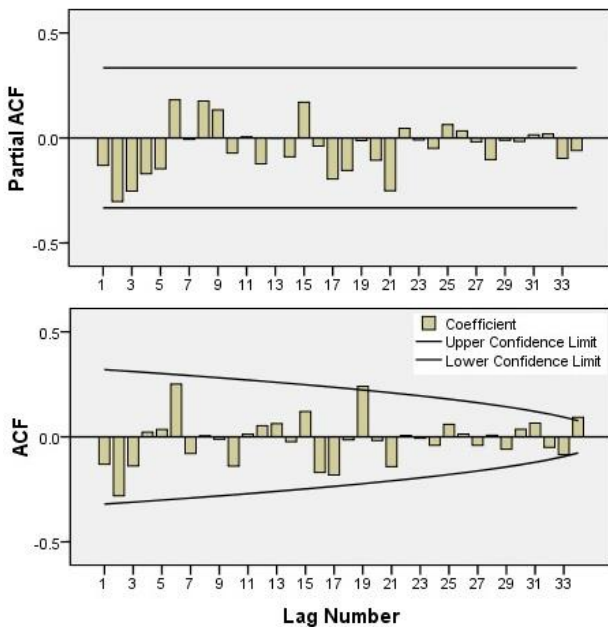
در روش ایستاسازی شمار ۱، تبدیل باکس-کاکس بخش عمده مقادیر بارندگی مشاهده شده را به-عنوان بخش روند داده‌ها جدا سازی کرد، به گونه‌ای که ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و بخش روند جدا سازی شده حدود ۰/۹۹ محاسبه گردید. بنابراین، در این روش مقادیر بسیار کم (نزدیک به صفر) به-عنوان بخش تصادفی داده‌ها جدا سازی شد و از این رو در تمامی مدل‌های بررسی شده از خانواده ARIMA (تعداد ۹۰ مدل)، ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده در دوره آزمون برابر با ۱ محاسبه شد. بنابراین، برخلاف تحقیقات حسینعلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) و ویسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) روش تبدیل باکس-کاکس روش مناسبی برای حذف روند از سری زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه مورد مطالعه تشخیص داده نشد. از این رو، روش ایستاسازی شماره ۱ از روند مقایسه حذف گردید.

نکته قابل توجه این‌که، معیار آکائیک صرفاً برای انتخاب مدل بهینه از میان انواع مدل‌های اجرا شده در یک نوع روش ایستاسازی بوده و از این رو، معیار مناسبی برای مقایسه مدل‌های بهینه انتخاب شده در روش‌های مختلف ایستاسازی نیست. چرا که دامنه تغییرات معیار آکائیک وابسته به دامنه تغییرات سری ایستا است که در روش‌های مختلف ایستاسازی متفاوت می‌باشد. از این رو علی‌رغم نزدیکی ضریب همبستگی در برخی روش‌های ایستاسازی، معیارهای آکائیک تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارند.

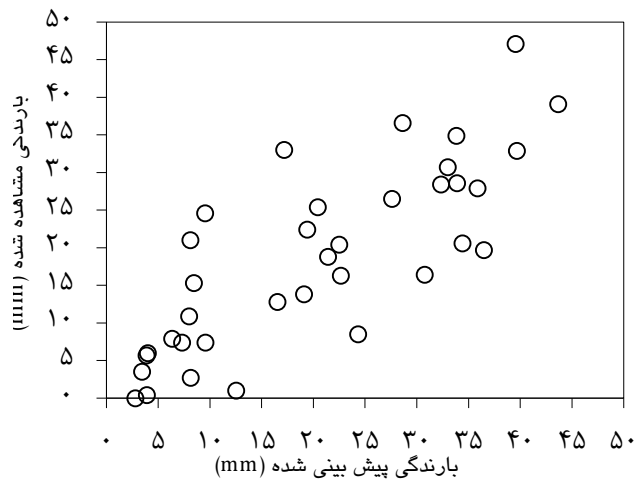
همچنین مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۳، در تمامی روش‌های ایستاسازی مورد مطالعه، از میان مدل‌های بررسی شده از خانواده ARIMA (AR, MA, ARMA, ARIMA و SARIMA) مدل SARIMA به‌عنوان مناسب‌ترین مدل پیش‌بینی‌کننده بارندگی ماهانه در ایستگاه مورد مطالعه شناخته شد که با نتایج تحقیقات ویسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹)، عبدالله‌نژاد (۱۳۹۴)، مهر و



شکل ۸- نمودار بارندگی مشاهده شده و پیش‌بینی شده با بهترین روش ایستاسازی (روش شماره ۵) و بهترین مدل (SARIMA(1,0,1)(0,0,1)12) در دوره آزمون (۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶) در ایستگاه همدید اردبیل.



شکل ۱۰- نمودارهای ACF و PACF مقادیر باقیمانده بهترین مدل انتخابی (SARIMA(1,0,1)(0,0,1)12).



شکل ۹- پراکنش بارندگی مشاهده شده و پیش‌بینی شده با بهترین روش ایستاسازی (روش شماره ۵) و بهترین مدل (SARIMA(1,0,1)(0,0,1)12) در دوره آزمون (۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶) در ایستگاه همدید اردبیل.

### پیش‌بینی بارندگی

بارندگی ماهانه پیش‌بینی شده در سه سال آینده (۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹) با استفاده از سری زمانی بارندگی ماهانه از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۶، بهترین روش ایستاسازی انتخاب شده (روش شماره ۵ از جدول ۱) و بهترین مدل پیش‌بینی کننده از خانواده ARIMA (SARIMA(1,0,1)(0,0,1)12) در ایستگاه همدید اردبیل مطابق جدول ۴ است.

همچنین سطح معنی‌داری آزمون نرمال بودن (کلموگروف-اسمیرنف) و مقدار چولگی باقیمانده‌های مدل انتخابی به ترتیب معادل ۰/۹۴ و ۰/۲ محاسبه گردید که نشان‌دهنده نرمال بودن توزیع آن است.

بنابر این، مدل انتخابی، به‌منظور پیش‌بینی بارندگی ماهانه در ۳۶ ماه آینده در ایستگاه مورد مطالعه مناسب تشخیص داده شد.

جدول ۴- بارندگی ماهانه پیش‌بینی شده ایستگاه همدید اردبیل در سه سال آینده (۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹) برحسب میلی‌متر.

سال / ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	جمع
۲۰۱۷	۸/۳	۱۰/۴	۲۴/۴	۳۵/۸	۳۴/۱	۵/۱	۰	۱	۳/۸	۲۱/۲	۲۶/۳	۱۵/۵	۱۸۴
۲۰۱۸	۱۳/۳	۱۴/۵	۲۹/۱	۴۰/۲	۳۵/۷	۸/۶	۴/۲	۳	۷	۲۳/۷	۲۵/۲	۱۷/۱	۲۲۱/۷
۲۰۱۹	۱۴/۸	۱۵/۷	۲۸/۳	۳۸/۵	۳۴/۶	۸/۱	۳/۶	۱/۹	۶/۵	۲۳/۱	۲۵/۳	۱۸/۱	۲۱۸/۶
میانگین ۱۵ ساله (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵)	۱۶/۳	۲۰/۵	۲۹/۴	۴۳/۹	۴۱/۵	۱۳/۴	۷/۳	۷/۱	۱۰/۴	۲۹/۱	۲۶/۹	۲۱/۴	۲۵۸/۶

مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۴، مقدار بارندگی سالانه در سه سال آینده (۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ میلادی) نسبت به میانگین بارندگی ۱۵ سال گذشته (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵) به ترتیب ۲۹، ۱۴ و ۱۵ درصد کاهش خواهد یافت که بیشترین کاهش مربوط به سال ۲۰۱۷ میلادی است. این روند کاهشی پیش‌بینی شده در بارندگی سالانه مطابق نتایج مطالعات عبدالله‌نژاد (۱۳۹۴) در گرگان، ویسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) در کرمانشاه است. بارندگی‌های ماهانه نیز در تمامی ماه‌ها نسبت به متوسط بارندگی ماهانه در ۱۵ سال گذشته کاهش خواهد یافت. بیشترین نرخ کاهشی در بارندگی ماهانه مربوط به ماه اوت است که در سه سال آینده به ترتیب برابر با ۸۶، ۵۸ و ۷۳ درصد خواهد بود. کمترین نرخ کاهشی در بارندگی ماهانه نیز مربوط به ماه نوامبر است که در سه سال آینده به ترتیب، برابر با ۶، ۲ و ۶ درصد خواهد بود. همچنین مقایسه مقادیر بارندگی فصلی در سه سال آینده با مقادیر ۱۵ سال گذشته نشان می‌دهد که بیشترین نرخ کاهشی مربوط به تابستان (۵۸ درصد معادل ۱۵ میلی‌متر) و کمترین نرخ کاهشی مربوط به پاییز (۱۲ درصد معادل ۱۰ میلی‌متر) است.

#### نتیجه‌گیری کلی

اصلی‌ترین گام در مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی با استفاده از مدل‌های خانواده ARIMA، ایستاسازی داده‌ها است. بنابراین، روش‌های مختلف ایستاسازی که هر یک با تکنیک‌های خاص بخش‌های قطعی داده‌ها را جداسازی می‌کنند، در دقت پیش‌بینی‌ها

بی‌تأثیر نخواهند بود. این در حالی است که در مطالعات مرتبط انجام شده، صرف نظر از این تأثیر، صرفاً از یک نوع روش ایستاسازی داده‌ها استفاده نموده و براساس مناسب‌ترین مدل پیش‌بینی کننده در آن روش ایستاسازی، پیش‌بینی انجام شده است. اگرچه ممکن است روش‌های ایستاسازی منفرد استفاده شده دقت قابل قبولی در پیش‌بینی ارائه دهند، اما بررسی سایر روش‌های ایستاسازی و تعیین دقیق‌ترین روش نیز خالی از لطف نخواهد بود. همچنین ماهیت و گام زمانی داده‌ها نیز در کارایی روش‌های ایستاسازی بسیار مؤثر است و روش ایستاسازی که دقت قابل قبولی برای داده‌های بارندگی ماهانه دارد، ممکن است دقت کافی در ایستاسازی داده‌های بارندگی سالانه و یا سایر داده‌های هیدرولوژیکی مانند دبی جریان و یا تبخیر نداشته باشد. از این رو، در این مطالعه برای اولین بار کارایی روش‌های مختلف ایستاسازی (جدول ۱) به منظور ایستاسازی داده‌های بارندگی ماهانه به صورت موردی در ایستگاه همدید اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ترکیب روش میانگین متحرک مرکزی مرتبه ۱۲ به منظور حذف روند موجود در سری زمانی با روش میانگین فصلی به منظور حذف تغییرات فصلی موجود در سری زمانی (روش پیش‌فرض دستور "Decompose" در محیط نرم‌افزار آماری R) که در این مطالعه تحت عنوان روش ایستاسازی شماره ۵ مورد بررسی قرار گرفت، مناسب‌ترین روش ایستاسازی سری بارندگی ماهانه مورد مطالعه است. دلایل انتخاب این روش به شرح زیر است: شیب معادله خطی سری

ایستای حاصل از آن  $(y = -0.0031x + 0.3901)$  بسیار کم و نزدیک به صفر بوده و نشان‌دهنده حذف مناسب روند از سری زمانی است، در نمودار خود همبستگی و خودهمبستگی جزئی سری ایستای حاصل از آن، هیچ ارتباط معنی داری در تأخیرهای مختلف وجود نداشته و نشان‌دهنده حذف کامل تغییرات فصلی از سری زمانی است و همچنین بیشترین ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده در دوره آزمون مدل‌ها  $(r = 0.80)$  مربوط به مدلی است که داده‌های آن با استفاده از این روش ایستا شده است. از این رو، روش ایستاسازی مذکور می‌تواند به‌عنوان یک روش مرجع در الگوسازی و پیش‌بینی بارندگی ماهانه کل استان اردبیل مورد استفاده قرار گیرد. این در حالی است که روش‌های ایستاسازی شماره ۳ و ۴ نیز به‌ترتیب، با ضرایب همبستگی ۰/۶۵ و ۰/۷۷ دقت خوبی در پیش‌بینی دارند، اما روش شماره ۵ به‌عنوان دقیق‌ترین روش شناخته شده است. نکته دیگر در مورد داده‌های ماهانه بارندگی این‌که در برخی مطالعات صرفاً داده‌های بارندگی ماهانه در فصول بارندگی (مثلاً زمستان و بهار) به‌عنوان سری زمانی انتخاب می‌شوند و قطعاً روش ایستاسازی در این حالت، دقت متفاوتی نسبت به حالت استفاده از تمامی ماه‌ها خواهد داشت. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در پیش‌بینی سری‌های زمانی با استفاده از مدل‌های خانواده ARIMA، بهترین روش ایستاسازی با توجه به ماهیت و گام زمانی داده‌ها انتخاب و مورد استفاده قرار گیرد.

بررسی مرتبه‌های مدل‌های بهینه انتخاب شده نیز نشان داد که مدل SARIMA با مرتبه‌های  $(0,0,1)(1,0,1)_2$  در ۴ مورد از ۵ روش ایستاسازی

بررسی شده به‌عنوان بهترین الگوساز بارندگی ماهانه بوده و از این رو، بهترین مدل برای الگوسازی و پیش‌بینی بارندگی ماهانه در ایستگاه مورد مطالعه است. بنابراین، به‌عنوان نتیجه کلی می‌توان اظهار داشت که روش ایستاسازی شماره ۵ و مدل  $(0,0,1)(1,0,1)_2$  SARIMA به‌عنوان روش و مدل مرجع برای پیش‌بینی بارندگی ماهانه ایستگاه همدید اردبیل است که می‌تواند جهت پیش‌بینی بارندگی ماهانه ایستگاه مذکور در هر دوره زمانی مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج مربوط به مقادیر بارندگی ماهانه پیش‌بینی شده (تخمین زده شده با احتمال وقوع بالا) در جدول ۳ نیز نشان داد که در تمامی ماه‌های مورد بررسی، بارندگی پیش‌بینی شده نسبت به بارندگی متوسط همان ماه‌ها در ۱۵ سال اخیر، کاهش خواهد یافت. همچنین مقدار بارندگی سالانه در ۳ سال پیش‌بینی شده (۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹)، نسبت به میانگین بارندگی سالانه در ۱۵ سال اخیر به‌ترتیب ۲۹، ۱۴ و ۱۵ درصد کاهش خواهد داشت. بنابراین، نتایج نهایی نشان‌دهنده احتمال بالای کاهش بارندگی در ۳ سال آینده در منطقه مورد مطالعه است که به‌عنوان زنگ خطری در جهت اقدام هرچه سریع‌تر به راهکارهای مدیریتی مصارف آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعتی و خانگی است. از جمله این راهکارها می‌توان به استفاده از روش‌های نوین آبیاری و تغییر الگوی کشت در بخش کشاورزی، ایجاد سیستم‌های تصفیه و استفاده مجدد از پساب در واحدهای صنعتی و استفاده از آب خاکستری و جمع‌آوری و استفاده از رواناب پشت‌بام‌ها و خیابان‌ها در مصارف غیرشرب در بخش خانگی و شهری اشاره کرد.

#### منابع مورد استفاده

- Abbot J and Marohasy J, 2014. Input selection and optimization for monthly rainfall forecasting in Queensland, Australia, using artificial neural networks. Atmospheric Research 138: 166-178.
- Abbot J and Marohasy J, 2012. Application of artificial neural networks to rainfall forecasting in Queensland, Australia. Advances in Atmospheric Sciences 29(4): 717-730.

- Abdollah Nejhada K, 2015. Stochastic time series models in monthly precipitation prediction. *Geographical Planning of Space* 5(17): 15- 25. (In Persian)
- Bagirov AM, Mahmood A and Barton A, 2017. Prediction of monthly rainfall in Victoria, Australia: Clusterwise linear regression approach. *Atmospheric Research* 188: 20-29.
- Bowerman BL and Connel RT, 1979. *Time Series and Forecasting*. PWS Publisher, Boston.
- Box GPE, Jenkins GM and Reinsel GC, 1994. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Bozorg Niya SA and Niroomand H, 2011. *Time Series*, Payamnoor University press, Tehran. (In Persian)
- Dastorani M, Mirzavand M, Dastorani MT and Sadatinejad SJ, 2016. Comparative study among different time series models applied to monthly rainfall forecasting in semi-arid climate condition. *Natural Hazards* 81(3): 1811-1827.
- Hosseinalizadeh M, Hassanalizadeh N, Babanezhad M and Rezanezhad M, 2014. Monthly precipitation forecast by time series packages in R environment (Case study: Arazkooseh station of Golestan province). *Conservation and Utilization of Natural Resources* 2(2): 1-12. (In Persian)
- Jafarzadeh J, Rostamzadeh H and Asadi E, 2017. Modeling temporal of groundwater level using basic techniques of time series analysis (Case Study: Ardabil Plain). *Water and Soil Science- University of Tabriz* 27(4): 185-196. (In Persian)
- Karamooz M and Araghi Nejad Sh, 2014. *Advanced Hydrology*. Amirkabir University of Technology Press, Tehran. (In Persian)
- Khalili K, Fakheri-Fard A, Dinpajooch Y and Ghorbani MA, 2011. Nonlinearity testing of stream-flow processes by BDS test (case study: Shaharchi River in Urmia). *Water and Soil Science- University of Tabriz* 21(2): 25-37. (In Persian)
- Khalili K, Nazeri Tahrudi M and Abbaszadeh Afshar M, 2017. Performance evaluation of combined multivariate time series, MPAR and MPAR-ARCH models for modeling river flow series considering the effectiveness meteorological components (Case study: Nazloochoi river). *Water and Soil Science- University of Tabriz* 27(3): 121-133. (In Persian)
- Khalili K and Nazeri Tahrudi M, 2016. Performance evaluation of ARMA and CARMA models in modeling annual precipitation of Urmia synoptic station. *Water and Soil Science- University of Tabriz* 26(2-1): 13-28. (In Persian)
- Khalili K and Nazeri Tahrudi M, 2014. Modeling of annual water level changes of Urmia Lake with linear time series models. *Water Management in Arid Lands* 1(1): 25-35. (In Persian)
- Mahdavi M, 2007. *Applied Hydrology*, Tehran University Press. Tehran. (In Persian)
- Meher J and Jha R, 2013. Time-series analysis of monthly rainfall data for the Mahanadi river basin, India. *Sciences in Cold and Arid Regions* 5(1): 73-84.
- Mirzavand M and Ghazavi R, 2015. A stochastic modelling technique for groundwater level forecasting in an arid environment using time series methods. *Water Resource Management* 29:1315-1328.
- Narasimha Murthy KV, Saravanan R and Vijaya Kumar K, 2018. Modeling and forecasting rainfall patterns of southwest monsoons in North-East India as a SARIMA process. *Meteorology and Atmospheric Physics* 130(1): 99-106.
- Nazeri Tahrudi M, Khalili K, Abbaszade Afshar M and Nazeri Tahrudi Z, 2014. Compared to the normal mechanism becomes the normal monthly rainfall data from different regions of Iran. *Journal of Water and Soil* 28(2): 365-372. (In Persian)
- Papalaskaris T, Panagiotidis T and Pantrakis A, 2016. Stochastic monthly rainfall time series analysis, modeling and forecasting in Kavala city, Greece, north-eastern mediterranean basin. *Procedia Engineering* 162: 254-263.
- Rahman AM, Yunsheng Y and Sultana N, 2017. Analysis and prediction of rainfall trends over Bangladesh using Mann-Kendall, Spearman's rho tests and ARIMA model. *Meteorology and Atmospheric Physics* 129(4): 409-424.
- Somvanshi VK, Pandey OP, Agrawal PK, Kalanker NV, Prakash MR and Chand R, 2006. Modelling and prediction of rainfall using artificial neural network and ARIMA techniques. *Journal of Indian Geophysical Union* 10(2): 141-151.
- Toranjian A and Marofi S, 2017. Evaluation of deterministic and geostatistical methods for regionalization of seasonal precipitation in Hamadan province. *Water and Soil Science- University of Tabriz* 27(3): 211-224. (In Persian)

- Veysipoor H, Masumpoor Samakoosh J, Sahneh B and Yousefi Y, 2010. Analysis of prediction of rainfall and temperature trends using time series models (ARIMA) (Case study: Kermanshah township). *Geography* 4(12): 63 – 77. (In Persian)
- Wang HR, Wang C, Lin X and Kang J, 2014. An improved ARIMA model for precipitation simulations. *Nonlinear Processes in Geophysics* 21: 1159-1168.