

## Research Article

# Investigation of Trend and Prediction of Maximum Mean Temperature in Northwest Iran using Time Series Models

V Ahmadifar<sup>1</sup>, R Delirhasannia<sup>2\*</sup>, S Samadianfard<sup>2</sup>, T Mohammadzadeh<sup>3</sup>

Received: March 27, 2022

Accepted: September 7, 2022

Revised: August 27, 2022

Published online: March 20, 2024

<sup>1</sup>PhD Graduate, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

<sup>2</sup>Assoc. Prof., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

<sup>3</sup>Building Art Learner, Ahar Education Management.

\*Corresponding Author, Email: delearhasannia@yahoo.com

## Abstract

### Background and Objectives

Climate change and its consequent impacts on the different phenomena of the earth are serious mankind concerns during recent years. Climate change and global warming have very significant negative impacts on different resources including water and ice resources, forests, pastures, agricultural fields, industry, and finally human life. Air temperature and precipitation variations are the primary effects of climate change on atmospheric elements. Hence, the assessment of the atmospheric element for an instance temperature has critical importance. Temperature rise caused by climate change has serious negative impacts on agricultural activities through increasing the evaporation and the possibility of droughts. Because climatological elements have nonlinear behavior and they are not a function of a certain statistic distribution therefore a tendency for using non-parametric approaches, especially Mann-Kendall is growing. The complicated nature of physical processes and lack of adequate knowledge in the climate models have caused the creation of statistical models and their development for defining these processes. The application of these models for the reconstruction of past values and predicting future values has been called time series. The aim of the current research is to analyze the variation trend of mean maximum monthly temperature using the Mann-Kendall test, mean maximum monthly temperature with time series method, determine the proper pattern and prediction of temperature variations in the Northwest of Iran.

### Methodology

In this research, the trend of mean maximum temperature variations in 12 selected stations in Northwest Iran over a 24-year (1997-2020) period was investigated. At first, the trend of variation data series was tested using the Mann-Kendall approach. Then, the mean maximum monthly temperature was predicted using the time series model. Minitab 17 software was applied in order for time series model development and prediction purposes. The total number of data for each set was 285 where 80% of them were considered for calibration and 20% for model validation. The performance of models was investigated based on Model Efficiency Coefficient (CE) and Correlation Coefficient (R) indices. The CE varies between  $-\infty$  to 1 and the closer values to 1 indicate more accurate model performance. Finally, temperature predictions were done for the following 8 years (2021-28) based on developed models.



## **Findings**

The obtained results of the application of the Mann-Kendall test for determining the mean maximum temperature trend in 12 studied stations in Northwest Iran clarified an increasing behavior for all stations. Increasing trends in Ahar and Sarab stations were significant at the level of 95% and in the Tabriz, Maragh, Miyaneh, Khalkhal, Urmia, Khoy, and Mahabad stations the significance level was 99%. Regarding the basic assumptions in time series modeling, before starting model creation, the normal and static situation of the data series was tested. The obtained results of these tests also showed a linear increasing trend in the investigated stations. Consequently, seasonal and non-seasonal differential process on initial series in the studied stations was conducted to model recognition through ACF and PACF differential series graphs. The temperature variations along different seasons of the year in all stations proved more increase for all stations in the winter in comparison with other seasons. Considering the 12th differential level due to seasonal characteristics of data, ACF and PACF graphs of differential series were plotted and a correlation was observed between data in the first lag. To create a series model, the seasonal model of SARIMA(p,d,q)(P, D, Q) $\omega$  was applied. After calibration and validation of the final models for studied stations, these models were applied for predicting 8 following years (2018-2026) and were compared with the basic period (1994-2017). According to the predictions, the mean maximum temperature in all stations shows an increase in comparison to the basic period. The highest increasing amount is for Jolfa station with 4.39°C and the lowest value was determined for Parsabad station with 0.69 °C. The variations in temperature were assessed on a seasonal scale for 8 upcoming years. The comparisons of temperature variation for all stations in the different seasons showed increasing behaviors in all stations in winter in comparison with other seasons.

## **Conclusion**

The mean maximum temperature in 12 studied stations was modeled by time series. High values for R and CE in these stations proved the high accuracy of this method for predicting air temperature. After model development and selection of the most proper model for studied stations, the prediction of temperature was performed for 8 following years for each station. The temperature variations in this duration were investigated seasonally and the results showed that the maximum temperature increase for all stations will occur in the winter. Temperature increasing in winter months may cause negative impacts like change in precipitation pattern from snow to rain, early melting of region snow reservoirs, incomplete vernalization of seeds, and early start of the growing season with a risk of frost hazard for crops.

**Keywords:** Climate changes, Nonparametric test, Temperature increasing, Time series.

## مقاله پژوهشی

### بررسی روند و پیش‌بینی میانگین حداکثر دمای شمال غرب ایران با استفاده از مدل‌های سری زمانی

وحدت احمدی فر<sup>۱</sup>، رضا دلیر حسن‌نیا<sup>۲\*</sup>، سعید صمدیان فرد<sup>۲</sup>، تیما محمدزاده<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۶

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۵ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۳- هنرآموز ساختمان، مدیریت آموزش و پرورش اهر.

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: delearhasannia@yahoo.com

#### چکیده

در این تحقیق روند تغییرات میانگین حداکثر دما در ۱۲ ایستگاه منتخب شمال غرب کشور با دوره آماری ۲۴ ساله (۱۳۷۶-۱۳۹۹) بررسی گردید. ابتدا روند معنی‌دار برای سری‌های زمانی سالانه با بکارگیری آزمون ناپارامتری من-کندال در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد روند تغییرات زمانی میانگین حداکثر دمای هوا در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایشی بوده و بیشترین موارد معنی‌داری در ایستگاه‌های مراغه، و ارومیه مشاهده گردید. سپس میانگین حداکثر دمای ماهانه در این ایستگاه‌ها با استفاده از مدل سری‌های زمانی پیش‌بینی شد. بدین منظور، از سری مدل فصلی  $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_\omega$  استفاده شد. به منظور معرفی بهترین مدل از شاخص‌های ضریب همبستگی (R) و ضریب کارایی (CE) استفاده گردید. در نهایت بر اساس مدل‌های برازش یافته پیش‌بینی برای ۸ سال آتی انجام شد. پیش‌بینی‌ها مشخص کرد که در منطقه مورد مطالعه در ۸ سال آینده (۱۴۰۰-۱۴۰۷) میانگین حداکثر دمای هوا در محدوده ۰/۶۹ تا ۴/۳۹ درجه سانتی‌گراد به ویژه در ماه‌های زمستان افزایش خواهد یافت. افزایش دما در زمستان می‌تواند اثرات منفی شدیدی بر منابع آب، رژیم بارش‌ها و فعالیت‌های کشاورزی منطقه مورد مطالعه داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: آزمون ناپارامتری، افزایش دما، تغییرات اقلیمی، سری زمانی.

## مقدمه

امروزه سؤالات متعددی از رفتارهای آتی پدیده‌های پیرامون ما مطرح می‌شود، که پاسخ به آنها بستگی به دانایی و آگاهی کافی از سازوکار رویداد آن پدیده‌ها دارد. در یک نگاه متفاوت، چنانچه هریک از رخ-داده‌ها به صورت یک دنباله در قالب اعداد و کمیت، مورد بررسی قرار گیرد، می‌تواند راهکاری برای پیش-بینی مقادیر آتی آن باشد. این دنباله‌ها، صرف‌نظر از اینکه مربوط به چه پدیده و برخاسته از چه سازوکار و متأثر از چه عواملی باشند، به نام «سری زمانی» تحلیل و آنالیز می‌شوند. با تحلیل سری زمانی می‌توان به توصیف، مدل‌سازی، پیش‌بینی و ساخت اطلاعات یک پدیده پرداخت. بسیاری از پژوهشگران جهت توصیف رفتار یک سری زمانی روند، تغییرات دوره‌ای، تغییرات فصلی و تغییرات نامنظم را در نظر گرفته‌اند. هدف از تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی کشف و شناسایی مدل احتمالی مولد داده‌ها و پیش‌بینی مقادیر آینده سری است (خرمی و بزرگنیا ۲۰۰۷). مجموعه‌ای از مشاهدات که بر حسب زمان مرتب شده‌اند و چنانچه این مشاهدات به طور منظم و در فاصله‌های زمانی مساوی ثبت و یا اندازه‌گیری شوند، یک سری زمانی گسسته ایجاد می‌شود به عنوان نمونه متغیرهای هواشناسی مانند دمای هوا که در فواصل زمانی مشخص در ایستگاه‌های هواشناسی ثبت می‌گردد، از نوع سری زمانی گسسته با بازه‌های زمانی مساوی می‌باشد (کیتاگاوا ۲۰۱۰). تغییرات اقلیمی و اثرات حاصل از آن بر روی پدیده‌های مختلف در کره زمین از مهمترین دغدغه‌های بشر در قرن اخیر محسوب می‌گردد. از اولین تاثیرات اقلیمی روی عناصر اتمسفری می‌توان به درجه حرارت و بارش اشاره نمود، با توجه به ارتباط بین عناصر اتمسفری و اکوسیستم‌های زمینی، منابع آب، پوشش گیاهی، خاک و همچنین زندگی انسان تحت تأثیر این پدیده قرار خواهد گرفت. بنابراین بررسی روند متغیرهای اتمسفری مانند

دما از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (آبکار و همکاران ۲۰۱۴). دما را می‌توان به عنوان یکی از اساسی‌ترین عنصرهای اقلیمی نام برد که بدلیل اهمیت آن از دیرباز مورد توجه اقلیم‌شناسان بوده است (عساکره ۲۰۰۹). بررسی‌ها نشان می‌دهد دمای سطح زمین از اواسط قرن ۱۹ تاکنون روند افزایشی داشته و در این دوره، سه دهه اخیر را می‌توان به عنوان گرمترین سال‌ها نام برد. اطلاعات ثبت شده نشانگر آن است که از سال ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۲ متوسط دمای سالانه سطح زمین و اقیانوس‌ها به-طور میانگین ۰/۸۹ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (استاکر و همکاران ۲۰۱۳). افزایشی بودن دما در اغلب مطالعات برای پیش‌بینی‌های آتی نیز در نقاط مختلف جهان گزارش شده است (کریستینسن ۲۰۱۱؛ ذوالفقاری و همکاران ۲۰۱۸؛ احمدی فر و همکاران ۲۰۲۰) بخاطر پیچیدگی و عدم دانش کافی در مورد فرایندهای فیزیکی در مدل‌های اقلیمی مانند دما، ساخت مدل‌های آماری و گسترش آنها برای بیان این فرایندها مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته‌است (ویسی‌پور و همکاران ۲۰۱۰؛ زو ۲۰۱۳؛ گودرزی و روزبهانی ۲۰۱۷). کاربرد این مدل‌ها در بازسازی مقادیر گذشته و باز آفرینی مقادیر آینده داده‌ها به تحلیل سری زمانی موسوم است (عساکره ۲۰۰۷). مطالعات متعددی جهت مدل‌سازی متغیرهای اقلیمی از جمله دمای هوا با استفاده از سری زمانی انجام گرفته است که به چند مورد از آنها به صورت خلاصه اشاره می‌گردد. سن (۱۹۹۸) در تحقیق خود اشاره کرده که به دلیل وجود خودهمبستگی در داده‌های اقلیمی نظیر دما، روش مدل‌سازی آریمای معتبرترین روش‌های بررسی تغییرات اقلیمی است. ویسی‌پور و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از مدل‌های سری زمانی آریمای به تحلیل پیش‌بینی روند بارش و دما در شهر کرمانشاه پرداختند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که دمای حداکثر در سال‌های آینده در حال

حرارت هوا بین ۰/۵۱ تا ۲/۷۷ درجه سانتی گراد افزایش یافته است. عساکره (۲۰۰۷) با استفاده از روش‌های خطی روند دمای سالانه تبریز را بررسی کرد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که دمای شهر تبریز طی نیم قرن اخیر از روند افزایشی معنی‌دار برخوردار بوده است. انصاری و همکاران (۲۰۱۶) روند تغییرات سالانه میانگین دما را در حوزه آبخیز رودخانه کاجو استان سیستان و بلوچستان برای دوره آماری ۲۰ ساله با روش ناپارامتری من-کندال بررسی و آن را صعودی گزارش کردند. معروف‌نژاد و قاسمی (۲۰۱۷) با استفاده از آزمون من-کندال برای ایستگاه‌های سینوپتیک استان چهار محال بختیاری روند افزایشی میانگین دمای حداکثر و حداقل ماهانه را در اغلب ایستگاه‌ها گزارش نمودند. با توجه به اینکه بررسی‌ها نشانگر افزایش دما در مناطق مختلف کره زمین می‌باشد، مدل‌سازی متغیرهای حدی دمای هوا در مدیریت منابع آب و کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است (عساکره ۲۰۰۷). در این میان، نقش دمای حداکثر در افزایش تبخیر و تعرق، کاهش آب-های زیرزمینی و سطحی، گسترش انواع بیماری‌ها، آتش‌سوزی جنگل‌ها، ذوب یخچال‌ها، و بروز خشکسالی و کم‌آبی بر کسی پوشیده نیست (صلاحی و همکاران، ۲۰۱۰). احمدی‌فر و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی ۱۸ لایسیمتر مختلف در تبریز نشان دادند، تاثیر حداکثر دمای روزانه بر تبخیر و تعرق بیشتر از سایر پارامترهای هواشناسی می‌باشد. مروری بر تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد: الف) مدل‌های سری زمانی قابلیت بالایی در مدل‌سازی، پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی از جمله دما دارد. ب) تغییرات دما در اغلب مطالعاتی که در مناطق مختلف انجام شده است روند افزایشی داشته است. پ) با توجه به ماهیت داده‌های اقلیمی در بررسی آنها استفاده از روش ناپارامتری من-کندال می‌تواند مفید واقع شود. ت) بررسی و مدل‌سازی متغیرهای حدی دما بخصوص دمای حداکثر اهمیت بالایی در مدیریت منابع آب، کشاورزی و محیط زیست دارد.

افزایش می‌باشد. گاندالیا و هوالکیا (۲۰۱۲) با استفاده از روش هالتوینترز، میانگین حداکثر و حداقل دمای ماهانه را در منطقه جوناگاد ایالت گجرات کشور هند پیش‌بینی کردند و کاربرد مناسب این مدل را گزارش کردند. زارعی و مقیمی (۲۰۱۶) با استفاده مدل‌های سری زمانی آر آر اقدام به مدل‌سازی و پیش‌بینی داده‌های میانگین دمای ماهانه ایستگاه فسا نمودند. در این مطالعه افزایش دما برای سال‌های آتی مشاهده نشد. گودرزی و روزبهرانی (۲۰۱۷) در ایستگاه لتیان جهت پیش‌بینی دمای متوسط ماهانه از مدل‌های سری زمانی مختلف خودهمبسته با میانگین متحرک و همچنین مدل‌سری زمانی هالتوینترز استفاده کردند. نتایج بدست آمده نشان داد مدل‌های سری زمانی آریمای فصلی قابلیت بالایی در پیش‌بینی دمای ماهانه دارند. بسیاری از مدل‌های احتمالی سری-های زمانی بر مبنای ایستایی سری استوار می‌باشند. مفهوم ایستایی این است که قوانین حاکم بر فرآیند با زمان تغییر نمی‌کند. یعنی فرآیند در تعادل آماری است (نیرومند ۲۰۱۰). در بررسی روند استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری بسیار مورد توجه بوده است، ولی از آنجایی که عناصر اقلیمی رفتار غیرخطی داشته و تابع توزیع آماری خاصی نمی‌باشند، استقبال از روش-های ناپارامتری و بخصوص من-کندال بیشتر بوده است (قدوسی و همکاران ۲۰۱۳). موآگری و نانی (۱۹۹۸) در بررسی تغییرات دمای ایتالیا با بهره‌گیری از آزمون من-کندال، روند افزایشی دمای سالانه و فصلی ایتالیا را در طی ۲۰ سال گذشته گزارش کردند. گریزر و همکاران (۲۰۰۲) دمای صد ساله اروپا را بررسی و بیان نمودند که در غرب اروپا چرخه دمای سالانه در طول سال به عقب و در شرق اروپا جلو افتاده است، به طوری که در شرق اروپا نوسان میانگین دمای سالانه افزایش معناداری نشان می‌دهد و در سراسر منطقه روند افزایشی داشته است. همچنین در ژاپن یو و هاشینو (۲۰۰۳) در بررسی میانگین دمای سالانه ۴۶ ایستگاه در طول ۹۷ سال، با کمک همین آزمون نشان دادند که درجه

میانگین سالانه حداکثر دما به کمک آزمون ناپارامتری من-کندال (۲) مدل‌سازی میانگین حداکثر دمای ماهانه با روش سری زمانی (۳) تعیین الگوی مناسب و پیش‌بینی تغییرات دما در سال‌های آینده در ۱۲ ایستگاه سینوپتیک شمال‌غرب کشور (۴) تعیین بهترین مدل برای هریک از ایستگاه‌ها بر اساس ارزیابی عملکرد مدل‌ها.

با توجه به نتایج بدست آمده از مطالعات انجام شده و اهمیت مدل‌سازی و بررسی روند میانگین دمای حداکثر بخصوص با روش‌های سری زمانی، در تحقیق حاضر بررسی روند، مدل‌سازی میانگین حداکثر دما در سطح وسیع (۱۲ ایستگاه در شمال‌غرب کشور) انجام شد. بطور خلاصه اهدافی که در طی انجام این تحقیق پیگیری می‌شوند عبارتند از: (۱) تحلیل روند تغییرات

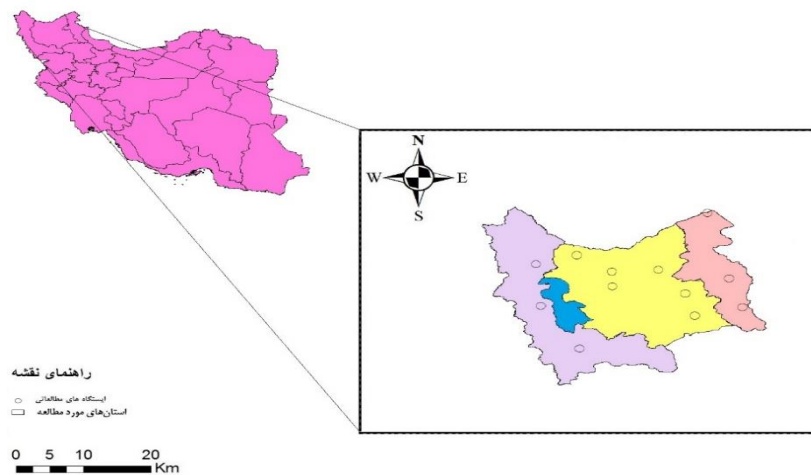
### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

است. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

برای انجام این تحقیق از داده‌های حداکثر دما با مقیاس میانگین ماهانه و سالانه در ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی شمال‌غرب کشور (جدول ۱) استفاده شد. داده‌های مربوطه از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد و در سال‌های مورد بررسی (۱۳۷۶-۱۳۹۹) داده گم شده برای هیچ یک از ایستگاه‌ها وجود نداشت.

این مطالعه بر روی تغییرات دمای حداکثر ۱۲ ایستگاه سینوپتیک شمال‌غرب کشور ایران انجام گرفته است (شکل ۱). جهت بررسی روند و مدل‌سازی از داده‌های میانگین حداکثر دما در ایستگاه‌های مورد مطالعه با دوره آماری ۲۴ ساله (۱۳۷۶-۱۳۹۹) استفاده شده



شکل ۱- نقشه مناطق مورد مطالعه در شمال‌غرب ایران.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه.

نام ایستگاه	طول (Degree-) (minutes)	عرض (Degree-) (minutes)	ارتفاع از سطح آزاد دریاها (m)	متوسط دمای سالانه (°C)	متوسط دمای گرمترین ماه سال (°C)	متوسط دمای سردترین ماه سال (°C)	بارش سالانه (mm)
اهر	۳۸° ۲۶'	۴۷° ۰۴'	۱۳۹۰/۵	۱۰/۹۸	۲۱/۸۶	-۰/۸۸	۲۸۶
تبریز	۳۸° ۰۵'	۴۶° ۱۷'	۱۳۶۱	۱۲/۵۵	۲۶/۱۲	-۱/۰۸	۲۷۵
جلفا	۳۸° ۴۵'	۴۵° ۴۰'	۷۳۶/۲	۱۴/۹۸	۲۹/۰۲	-۱/۰۰	۱۷۸

۲۷۱	-۴/۸۰	۲۰/۰۴	۸/۷۵	۱۶۸۲	۴۷° ۳۲'	۳۷° ۵۶'	سراب
۲۳۹	-۰/۲۰	۲۶/۴۷	۱۳/۲۰	۱۴۷۷/۷	۴۶° ۱۶'	۳۷° ۲۴'	مراغه
۲۵۸	-۱/۳۹	۲۷/۲۰	۱۳/۹۷	۱۱۱۰	۴۷° ۴۲'	۳۷° ۲۷'	میانه
۲۸۸	-۰/۹۱	۱۹/۲۸	۹/۸۲	۱۳۳۲	۴۸° ۱۷'	۳۸° ۱۵'	اردبیل
۲۵۶	۳/۳۶	۲۷/۲	۱۵/۰۰	۳۱۰۹	۴۷° ۵۵'	۳۹° ۳۹'	پارس آباد
۳۲۰	-۳/۶۲	۲۰/۰۳	۸/۷۱	۱۷۹۶	۴۸° ۳۱'	۳۷° ۲۸'	خلخال
۳۱۵	-۱/۴۹	۲۳/۶۲	۱۱/۱۹	۱۳۲۸	۴۵° ۰۳'	۳۷° ۴۰'	ارومیه
۲۵۳	-۱/۸۲	۲۴/۸۳	۱۲/۰۵	۱۱۰۳	۴۴° ۵۸'	۳۸° ۳۳'	خوی
۳۶۸	-۰/۱۳	۲۵/۱۳	۱۳/۰۳	۱۳۵۱/۸	۴۵° ۴۳'	۳۶° ۴۵'	مهاباد

### آزمون من-کندال

آزمون من-کندال آزمونی غیر پارامتری رتبه‌ای است که توسط من (۱۹۴۵) و کندال (۱۹۷۵) ارائه و به وسیله سازمان جهانی هواشناسی (WMO) در سال ۱۹۸۸ پیشنهاد شد. در بررسی معنی‌داری روند سری-های اقلیمی به کرات و در موارد مختلف از این آزمون استفاده شده‌است (لی و همکاران ۲۰۰۸). همانند سایر آزمون‌های آماری، این آزمون بر مبنای مقایسه فرض صفر و یک بوده و در نهایت در مورد پذیرش یا رد فرض صفر تصمیم‌گیری می‌گردد. فرض صفر به معنی فاقد روند بودن سری زمانی و فرض مقابل آن داشتن روند در سری زمانی است (سالاس ۱۹۹۲).

مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

الف - اختلاف محاسبه بین تک تک جملات سری با همدیگر و اعمال تابع  $sgn$  و استخراج پارامتر  $S$

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i) \quad [۱]$$

که در آن  $n$  تعداد جملات،  $x_j$  تابع زام سری و  $x_i$  داده نام سری داده  $sgn$  که به شرح زیر معرفی می‌گردد:

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad [۲]$$

بنابراین تمامی مقادیر بدست آمده از تابع علامت ( $sgn$ )، صفر، ۱ یا -۱ است.

ب- محاسبه واریانس با استفاده از رابطه زیر:

$$VAR(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad [۳]$$

$n$  تعداد داده‌ها،  $q$  تعداد سری که حداقل دارای یک داده تکراری است و  $t_p$  فراوانی داده‌ها با ارزش یکسان را نشان می‌دهد و در نهایت استخراج آماره آزمون ( $Z_M$ ) به کمک یکی از روابط زیر:

$$Z_M = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad [۴]$$

مقدار منفی  $Z_M$  بیانگر روند کاهشی و مقدار مثبت آن نشانگر وجود روند افزایشی در سری است.

قدر مطلق  $Z_M$  بدست آمده بررسی می‌گردد تا مشخص گردد رابطه ۵ برقرار است یا خیر؟ در صورت برقرار بودن این رابطه فرض صفر پذیرفته می‌شود، این به آن معنی است که روندی وجود ندارد و داده‌ها تصادفی هستند. در صورت برقرار نبودن رابطه ۵ فرض یک پذیرفته شده که نشان‌دهنده وجود روند است.

$$|Z_M| \leq \frac{z\alpha}{2} \quad [۵]$$

$\alpha$  همان سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود.  $z\alpha$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معناداری  $\alpha$  می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از  $\alpha/2$  استفاده می‌شود. معمولاً این آزمون برای سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد به انجام می‌رسد. مقدار  $\alpha$  برای سطح ۹۵ درصد، برابر با ۰/۰۵ و برای سطح ۹۹

زمانی از زنجیره مارکوف تبعیت می‌کند، اگر هر داده ثبت شده در زمان  $t$  با داده زمان قبل و یا زمان بعد از خود مرتبط باشد. شکل کلی مدل AR با مرتبه  $p$  به صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$Z_t = \sum_{i=1}^p \phi_i Z_{t-i} + \varepsilon_t \quad [۶]$$

که در آن ضریب مدل AR و  $\varepsilon_t$  نیز سری تصادفی نرمال و استاندارد می‌باشند (سراج رضائی و دلیر حسن‌نیا ۲۰۱۴).

علاوه بر مدل‌های خود همبسته (AR)، مدل‌های میانگین متحرک ( $MA^2$ )، خود همبسته-میانگین متحرک ( $ARMA^3$ ) و خود همبسته-میانگین متحرک تلفیق شده ( $ARIMA^4$ ) که هر کدام با مرتبه‌های مختلف می‌توانند بر داده‌ها برازش داده شوند، قابل انتخاب می‌باشند. دلیل استفاده گسترده از این مدل‌ها را می‌توان مربوط به توانایی آن‌ها در ایجاد همبستگی بین مقادیر زمان حال با زمان‌های پیشین و همچنین سادگی ساختار این مدل‌ها دانست. این مدل به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$u_t = \sum_{i=1}^p \phi_i u_{t-i} + \varepsilon_t - \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} \quad [۷]$$

که در این رابطه  $\varepsilon_t$  ترم تصادفی مستقل،  $\phi_i$  و  $\theta_j$  پارامترهای مدل،  $p$  و  $q$  مرتبه مدل‌های خود همبسته و میانگین متحرک و  $u$  سری حاصل از تفاضل  $d$  ام سری اصلی می‌باشد. بنابراین مدل ARIMA با سه پارامتر ( $p, d, q$ ) که می‌تواند صفر یا مثبت باشد، مشخص می‌شود.

در حالت کلی مدل‌های غیرفصلی را به صورت زیر می‌توان نشان داد:

$$\phi(B)(1-B)^d Z_t = \theta(B) \varepsilon_t \quad [۸]$$

که در آن  $\phi(B)$  و  $\theta(B)$  چندجمله‌ای‌هایی از درجه  $p$  و  $q$  به ترتیب هستند:

درصد برابر با  $0.1$  است. در صورتی که  $|Z_M| > 1.96$  و  $|Z_M| > 2.33$  باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی در سطح  $95$  و  $99$  درصد معنی‌دار بوده و دارای روند معنی‌دار ارزیابی می‌شود. وجود خودهمبستگی بین داده‌ها بر نتایج بدست آمده از این روش تاثیرگذار است، جهت حذف تأثیر خودهمبستگی در بررسی روند آزمون من-کندال از روش من-کندال اصلاح شده می‌توان استفاده نمود؛ این درحالی است که در اغلب مطالعات انجام گرفته در این زمینه، گزارش شده در صورت پایین بودن خودهمبستگی سری داده‌ها، نتایج حاصل از روش ناپارامتری من-کندال درست و قابل اطمینان است (یو و وانگ ۲۰۰۴؛ برن و هاگ النور ۲۰۰۵).

### مدل‌سازی سری زمانی

به منظور مدل‌سازی به کمک سری‌های زمانی در درجه اول باید شرایط لازم و کافی را جهت مدل‌سازی بر روی داده‌ها فراهم آورد. سری‌های زمانی ایستا و یا غیر ایستا هستند. مفهوم ایستایی نسبت به متغیرهای آماری سری بیان می‌گردند. یک سری زمانی یا فرآیند تصادفی در میانگین در صورتی ایستا است که مقادیر مورد انتظار میانگین در طول زمان ثابت باشد (سالاس و همکاران ۱۹۸۰). بررسی ایستایی داده‌های سری زمانی از مهمترین اقدامات در این زمینه می‌باشد که در صورت عدم ایستا بودن سری داده‌ها باید به ایستا کردن و آماده نمودن آنها جهت مدل‌سازی اقدام گردد. بطور کلی برای انجام این کار می‌توان از روش‌های تفاضلی کردن، حذف روند و نرمال سازی داده‌ها استفاده نمود (نیرومند ۲۰۱۰). ساده‌ترین شکل مدل‌های سری زمانی که مشابه مدل رگرسیون خطی می‌باشد، مدل خود همبسته یا به اختصار  $AR^1$  نامیده می‌شود. توماس و فیرینگ (۱۹۶۲) در دهه ۶۰ و یوجویچ (۱۹۷۲) این مدل‌ها را برای اولین بار به کار گرفتند. اساس این مدل بر پایه زنجیره مارکوف بنا شده است. یک سری

<sup>3</sup> - Autoregressive Moving Average  
<sup>4</sup> - Autoregressive Integrated Moving Average

<sup>1</sup> - Autoregressive  
<sup>2</sup> - Moving Average



همبستگی (ACF) و خود همبستگی جزئی (PACF) سری می‌باشد. تجاوز یا عدم تجاوز ضرایب خود همبستگی در تاخیر های زمانی باید در محدوده اطمینان (احتمال وقوع ۹۵٪) بررسی گردد. قرار گرفتن مقادیر خودهمبستگی جزئی در خارج از این باند دال بر وجود همبستگی بین داده‌ها با تاخیر زمانی مربوطه می‌باشد که این تاخیر مرتبه مدل را مشخص می‌کند.

- برآورد پارامترهای مدل: پس از آن که مدل مناسب و مرتبه آن برای برازش به سری زمانی تشخیص داده شد، پارامترهای مدل تعیین می‌گردد. از جمله روش‌های عمومی تخمین پارامترها، روش گشتاورها، حداقل مربعات و حداکثر درست‌نمایی می‌باشد. در این مطالعه مدل SARIMA (رابطه ۱۱) بخاطر ترکیب مدل‌های فصلی و غیر فصلی و عملکرد مناسب در مطالعات مشابه (سراج رضائی و دلیر حسن‌نیا ۲۰۱۴؛ گودرزی و روزبهانی ۲۰۱۷) برای سری داده‌های هر یک از ایستگاه‌ها اجرا شد.
- بررسی درستی مدل انتخابی: پس از شناسایی و برآورد الگوی مناسب سری زمانی، به منظور اطمینان از صحت انتخاب خود، بایستی به سنجش و ارزیابی مدل برازش داده شده به داده‌ها پرداخت. مهم‌ترین روش در این زمینه تجزیه و تحلیل باقیمانده‌های حاصل از برازش مدل می‌باشد. برای انجام این کار ابتدا آزمون خط احتمال نرمال برای تمامی ایستگاه‌ها رسم شد، نزدیک بودن نقاط به خط نشان دهنده تبعیت باقی‌مانده‌ها از توزیع نرمال می‌باشد. در مرحله بعدی آزمون پایداری واریانس با رسم نمودارهای پراکندی باقیمانده‌ها در برابر مقادیر برازش شده داده‌ها توسط مدل رسم شد، پخش یک نواخت، بدون ساختار و افقی باقیمانده‌ها ثابت بودن واریانس باقیمانده‌ها را نشان می‌دهد. در مرحله آخر برای آزمون استقلال باقیمانده‌ها

$$\phi(B)Z_t = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 \dots - \phi_p B^p) Z_t \quad [9]$$

$$\theta(B)Z_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 \dots - \theta_p B^p) \varepsilon_t \quad [10]$$

باکس و جنکینز (۱۹۷۶) با ترکیب مدل‌های فصلی و غیر فصلی، مدل‌های موسوم به آریمای فصلی مکرر (SARIMA<sup>1</sup>) را ارائه نمودند. این مدل در کل به صورت  $(P,D,Q)_\omega$  ARIMA (p,d,q) (P,D,Q) عبارت (p,d,q) بخش غیر فصلی مدل و عبارت (P,D,Q) بخش فصلی مدل است و به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\phi(B^\omega)\phi(B)(1 - B^\omega)^D(1 - B)^d Z_t = \theta(B^\omega)\theta(B) \varepsilon_t \quad [11]$$

که در آن  $\varepsilon_t$  متغیر تصادفی، B عملگر تفاضل به صورت  $D: (1 - B^\omega)^D$ ،  $B(Z_t) = Z_{t-1}$  امین تفاضل فصلی به اندازه  $\omega$ ،  $d: (1 - B)^d$  امین تفاضل غیرفصلی، p مرتبه مدل خود همبسته غیرفصلی، q مرتبه مدل میانگین متحرک غیرفصلی، P مرتبه مدل خود همبسته فصلی، Q مرتبه مدل میانگین متحرک فصلی،  $\phi$  پارامتر مدل خود همبسته و  $\theta$  پارامتر مدل میانگین متحرک می‌باشد (باکس و جنکینز ۱۹۷۶).

در مدل‌سازی سری‌های زمانی به طور کلی چهار مرحله اساسی زیر دنبال می‌گردد (سراج رضائی و دلیر حسن‌نیا ۲۰۱۴):

- آماده‌سازی اطلاعات: در درجه اول بایستی شرایط لازم از جمله ایستایی و نرمال بودن سری داده‌ها را برای انجام مدل‌سازی سری زمانی فراهم نمود. یکی از مهم‌ترین توابع تبدیل در سری‌های زمانی جهت آماده‌سازی داده‌ها تابع تبدیل باکس-کاکس می‌باشد. این تابع به شکل زیر تعریف می‌شود:
- $$T(X_t) = X_t^{(\lambda)} = \frac{X_t^{(\lambda)} - 1}{\lambda} \quad [12]$$
- در این رابطه  $T(X_t)$  تبدیل باکس-کاکس،  $X_t$  سری داده‌های اولیه و  $\lambda$  پارامتر تبدیل می‌باشد.
- شناسایی مدل: اساسی‌ترین راه برای شناسایی نوع و مرتبه مدل، ارزیابی نمودارهای توابع خود

<sup>1</sup> - Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average

**نتایج و بحث  
تحلیل روند**

برای بررسی روند داده‌های میانگین حداکثر دما در هر یک از ایستگاه‌ها از آزمون ناپارامتری من-کندال استفاده شد. نتایج بدست آمده از بکارگیری آزمون من-کندال برای تعیین روند میانگین حداکثر دما ۱۲ ایستگاه مورد مطالعه شمال غرب کشور به صورت سالانه در جدول ۲ ارائه گردید. نتایج حاصل از تحلیل روند نشانگر وجود روند افزایشی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در این تحقیق می‌باشد. روند افزایشی مشاهده شده در ایستگاه‌های اهر و سراب در سطح اطمینان ۹۵٪ و در ایستگاه‌های تبریز، مراغه، میانه، خلخال، ارومیه، خوی و مهاباد در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار مشاهده گردید. نمودار روند میانگین حداکثر دمای سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. برای اطمینان از نتایج ارائه شده خودهمبستگی داده‌های سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه بررسی شد. با توجه به پایین بودن خودهمبستگی بین داده‌های سالانه نتایج حاصل از روش من-کندال قابل اطمینان هستند، همچنین نمودارهای ارائه شده در شکل ۲ با نتایج حاصل از آزمون من-کندال مطابقت دارد و وجود روند صعودی در ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

نمودارهای PACF و ACF رسم شد، برای داشتن باقیمانده‌های مستقل نیاز است که در نمودارهای ACF قله‌های بلند مشاهده نگردد.

در این تحقیق ابتدا روند سری داده‌های میانگین حداکثر دما با آزمون ناپارامتریک من-کندال بررسی شد. جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی میانگین حداکثر دمای ماهانه از نرم‌افزار آماری مینی‌تب نسخه ۱۷ استفاده شد. تعداد کل داده‌ها برای هر یک از سری داده‌ها ۲۸۵ بوده که ۸۰٪ آن برای واسنجی و ۲۰٪ آن برای صحت‌سنجی در نظر گرفته شد (سراج رضائی و دلیر حسن‌نیا ۲۰۱۴). عملکرد مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق بر پایه محاسبه ضریب کارایی مدل نش-ساتکیف (CE) و ضریب همبستگی (R) مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقدار عددی CE از  $-\infty$  تا یک متغیر است و هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده دقیق‌تر بودن مدل است (سراج رضائی و دلیر حسن‌نیا ۲۰۱۴). فرمول‌های محاسبه دو آماره فوق در روابط ۱۳ و ۱۴ آمده است.

$$R = \left( \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 * \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}} \right) \quad [13]$$

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad [14]$$

که در این روابط  $X_i$  مقدار مشاهده شده در گام زمانی  $i$ ام،  $Y_i$  مقدار محاسبه شده در گام زمانی  $i$ ام،  $N$  تعداد گام‌های زمانی و  $\bar{X}$  مقادیر میانگین مشاهداتی می‌باشد.

**جدول ۲- بررسی روند میانگین حداکثر دمای سالانه (۱۳۷۶-۱۳۹۹) با مقادیر آماره من-کندال ( $Z_M$ ).**

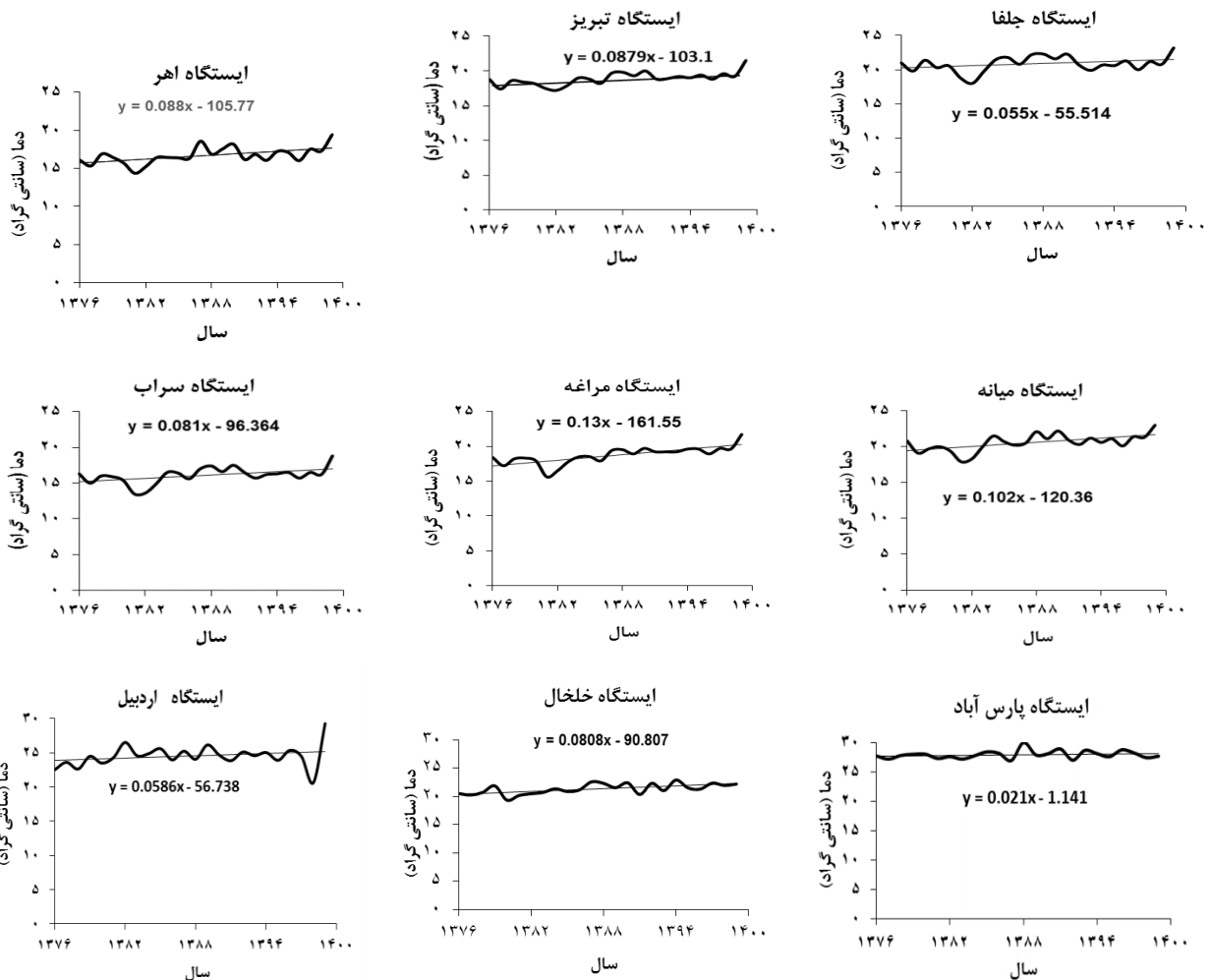
ایستگاه	اهر	تبریز	جلفا	سراب	مراغه	میانه	اردبیل	پارس آباد	خلخال	ارومیه	خوی	مهاباد
$Z_M$	۲/۳۰۸*	۳/۱۸۶**	۱/۳۴۲	۲/۰۹۱*	۴/۲۰۷**	۳/۱۰۲**	۱/۵۳۸	۱/۰۹۲	۳/۰۳**	۳/۰۵۷**	۲/۷۳۳**	۲/۹۶۲**

(\*: معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪ و \*\*: معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹٪)

**مدل‌سازی سری‌های زمانی**

شکل‌های ۳، ۴ و ۶ آمده است. در مورد سایر ایستگاه-ها فقط نتایج نهایی مدل‌سازی ارائه شد. با توجه به ماهیت داده‌های مورد مطالعه در نمودارهای سری زمانی تمامی ایستگاه‌ها خصلت فصلی مشاهده گردید. با استفاده از آزمون روند (من-کندال) مشخص شد که در همه ایستگاه‌ها میانگین حداکثر دمای ماهانه در طول سال‌های متمادی دارای یک روند خطی رو به افزایش است. شکل ۳ نمودار سری زمانی میانگین حداکثر دمای ماهانه ایستگاه اهر را نشان می‌دهد

با توجه به فرضیات اساسی در مدل‌سازی سری‌های زمانی قبل از اینکه مدل‌سازی انجام شود، نرمال بودن و ایستا بودن سری داده‌ها بررسی شد. نمودار سری زمانی حداکثر دمای ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در نرم افزار مینی‌تب رسم گردید. با توجه به زیاد بودن تعداد ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه تمامی نمودارهای مدل‌سازی سری زمانی میسر نبوده و تنها نمودارهای سری زمانی ایستگاه اهر بعنوان نمونه در

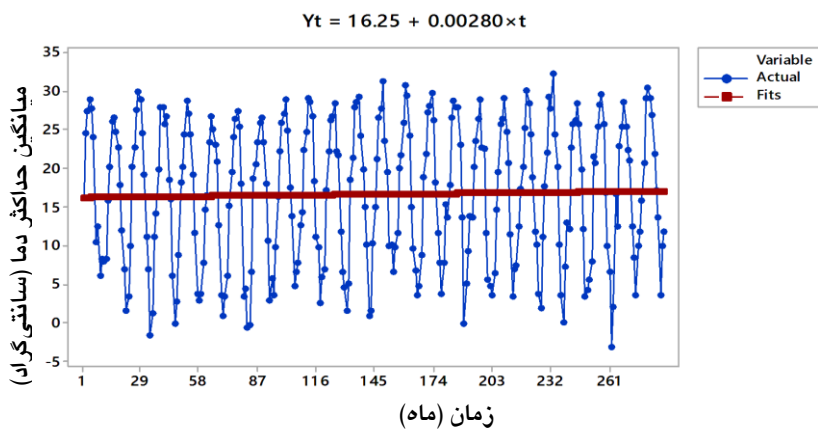




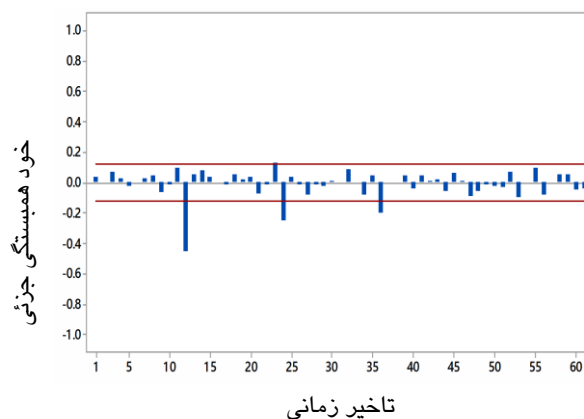
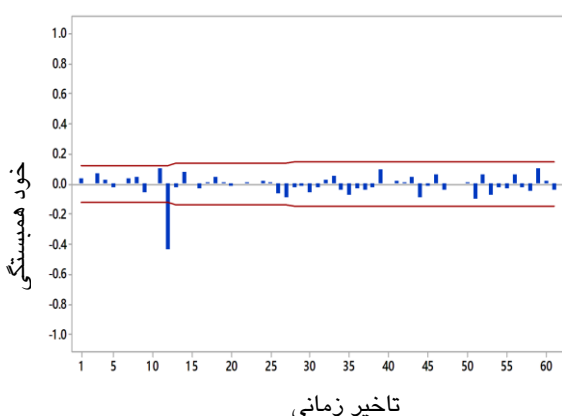
شکل ۲- نمودار روند تغییرات میانگین حداکثر دمای ۱۲ ایستگاه شمال غرب کشور در دوره آماری مورد مطالعه (۱۳۷۶-۱۳۹۹).

روی داده‌ها انجام شد (سراج رضائی و دلیر حسن‌نیا ۲۰۱۴). پس از اعمال مراتب تفاضل‌گیری فصلی و غیر فصلی بر سری‌های اولیه در ایستگاه‌های مورد مطالعه به منظور تشخیص مدل از نمودارهای ACF و PACF سری‌های تفاضلی شده استفاده شد. با در نظر گرفتن مرتبه تفاضلی ۱۲ به دلیل خاصیت فصلی داده‌ها، نمودارهای ACF و PACF سری تفاضلی شده رسم گردید و مشاهده شد که در تأخیر زمانی اول بین داده‌ها همبستگی وجود دارد (شکل ۴)

بعد از رسم نمودار و مشاهده رفتار سری‌ها، ایستایی سری‌های زمانی مذکور مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور تبدیل باکس-کاکس برای بررسی پایداری واریانس داده‌ها به کار گرفته شد و مشاهده گردید که مقدار تبدیل  $\lambda$  برابر با ۱ به- دست آمد که نشان دهنده نرمال بودن سری‌های مورد نظر می‌باشد. با انجام تحلیل روند بر روی سری داده‌ها (شکل ۳) و کسر مقادیر حاصل از معادله روند از داده‌ها که یکی از روش‌های پایدار کردن میانگین است، تبدیل ایستایی میانگین بر



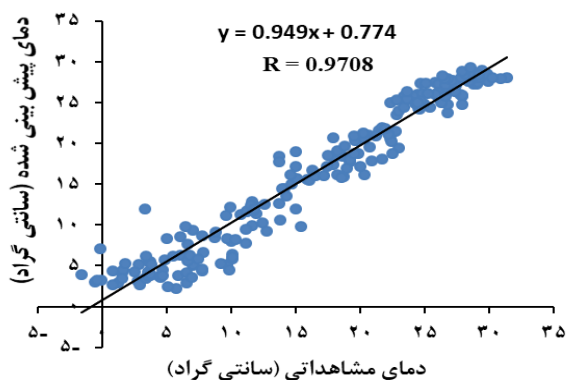
شکل ۳- نمودار سری زمانی میانگین حداکثر دمای ماهانه ایستگاه اهر.



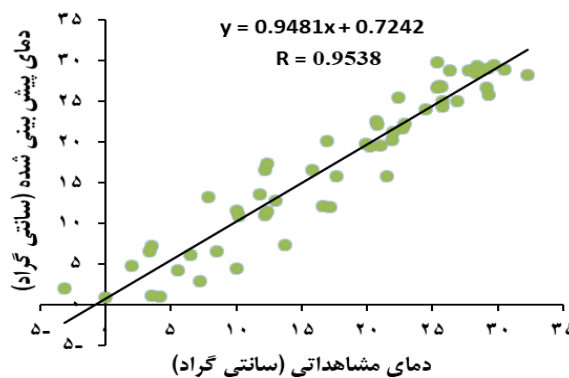
شکل ۴- نمودارهای ACF و PACF سری تفاضلی شده میانگین دمای حداکثر ماهانه برای ایستگاه اهر.

باقیمانده‌ها رسم گردید. مدل نهایی هر یک از ایستگاه‌ها از بین مدل‌هایی که درستی آنها از بین نمودارهای ذکر شده مورد تأیید است انتخاب شد. نتایج حاصل از مدل سری زمانی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه جدول ۳ نشان داده شده است. به منظور درک بهتر تطابق مدل با داده‌های مشاهداتی شکل ۵ رسم شد. این شکل نمودار همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی شده بوسیله سری زمانی را برای داده‌های واسنجی و صحت-سنجی نشان می‌دهد. همچنین شکل ۶ استقلال باقیمانده‌ها بر اساس نمودارهای ACF، PACF و نمودار طرح احتمال نرمال باقیمانده‌ها برای ایستگاه اهر را نشان می‌دهد.

برای مدل‌سازی سری از مدل فصلی  $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)\omega$  استفاده گردید. پس از برازش چندین مدل سری زمانی برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه، مدلی که دارای p-value کمتر از ۰/۰۵ (احمدی‌فر و همکاران ۲۰۲۲)، ضریب همبستگی (R) و کارایی (CE) بالا بود به عنوان مدل مناسب انتخاب شد. به منظور تأیید مدل انتخابی هر یک از ایستگاه‌ها از بررسی باقیمانده‌های مدل استفاده گردید. بدین ترتیب نمودارهای ACF و PACF برای بررسی استقلال باقیمانده‌ها و همچنین نمودار طرح احتمال نرمال



(الف)

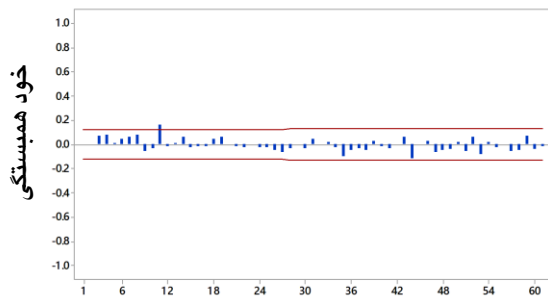


(ب)

شکل ۵- نمودارهای همبستگی بین داده‌های ماهانه میانگین دمای حداکثر مشاهده شده و نتایج مدل سری زمانی ایستگاه اهر (الف) دوره واسنجی (ب) دوره صحت سنجی.

جدول ۳- نتایج حاصل از مدل‌سازی سری زمانی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه.

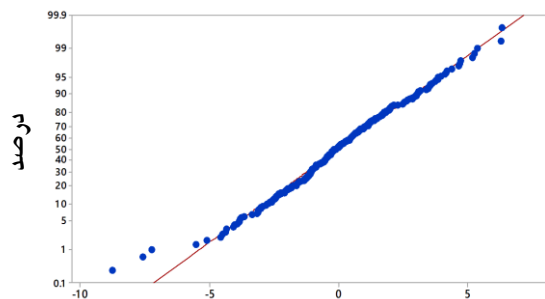
صحت سنجی		واسنجی		مدل	ایستگاه
CE	R	CE	R		
-۰/۹۰۷۸	-۰/۹۵۳۸	-۰/۹۴۲۵	-۰/۹۷۰۸	SARIMA(0,0,2)(0,1,1)12	اهر
-۰/۹۵۸۴	-۰/۹۷۰۰	-۰/۹۷۹۰	-۰/۹۸۵۰	SARIMA(1,0,0)(0,1,1)12	تبریز
-۰/۹۶۳۸	-۰/۹۸۲۹	-۰/۹۵۹۲	-۰/۹۷۹۴	SARIMA(1,1,1)(1,1,1)12	جلفا
-۰/۹۳۴۴	-۰/۹۵۶۵	-۰/۹۴۲۵	-۰/۹۷۸۰	SARIMA(1,0,0)(0,1,1)12	سراب
-۰/۹۵۲۸	-۰/۹۷۶۶	-۰/۹۷۰۰	-۰/۹۸۴۹	SARIMA(1,0,0)(0,1,1)12	مراغه
-۰/۹۵۹۲	-۰/۹۷۹۳	-۰/۹۵۸۹	-۰/۹۷۹۲	SARIMA(1,0,0)(1,1,1)12	میانه
-۰/۹۰۴۰	-۰/۹۴۵۶	-۰/۹۱۵۳	-۰/۹۵۶۹	SARIMA(0,0,2)(0,1,1)12	اردبیل
-۰/۹۵۶۹	-۰/۹۶۰۱	-۰/۹۵۷۸	-۰/۹۷۹۹	SARIMA(1,0,0)(1,1,1)12	پارس آباد
-۰/۹۴۳۲	-۰/۹۷۱۲	-۰/۹۵۷۸	-۰/۹۷۸۹	SARIMA(1,0,0)(0,1,1)12	خلخال
-۰/۹۶۱۴	-۰/۹۸۰۵	-۰/۹۶۹۴	-۰/۹۸۴۷	SARIMA(1,0,0)(1,1,1)12	ارومیه
-۰/۹۴۱۲	-۰/۹۷۰۵	-۰/۹۵۹۰	-۰/۹۷۹۴	SARIMA(1,0,0)(0,1,1)12	خوی
-۰/۹۶۲۲	-۰/۹۸۰۹	-۰/۹۶۶۵	-۰/۹۸۳۲	SARIMA(1,0,0)(1,1,1)12	مهاباد



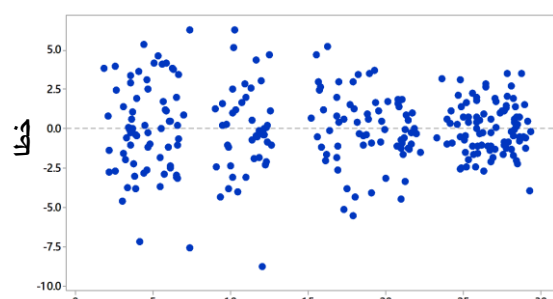
تاخیر زمانی  
(الف)



تاخیر زمانی  
(ب)



خطا  
(د)



مقدار برازش  
(ج)

شکل ۶- نمودار: (الف) ACF باقی مانده‌ها (ب) PACF باقی مانده‌ها (ج) احتمال نرمال باقیمانده‌ها (د) باقیمانده‌ها در برابر مقدار برازش ایستگاه اهر.

### بررسی روند تغییرات

پس از واسنجی و ارزیابی مدل‌های نهایی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از مدل‌های مربوطه برای ۸ سال آتی (۱۴۰۰-۱۴۰۷) پیش‌بینی و با دوره پایه (۱۳۷۶-۱۳۹۹) مقایسه شد. شکل ۷ تغییرات دمای حداکثر از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۹ را نسبت به دوره ۸ ساله آتی از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۷ در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به پیش‌بینی‌های انجام گرفته برای ۸ سال آتی، میانگین دمای حداکثر در تمام ایستگاه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش نشان می‌دهد. بیشترین افزایش دما مربوط به ایستگاه جلفا به میزان  $4/39$  درجه سانتی‌گراد و کمترین افزایش مربوط به ایستگاه پارس‌آباد به اندازه  $0/69$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برای درک بهتر میزان تغییرات دما در ۸ سال آتی نسبت به دوره پایه میزان افزایش دما به صورت فصلی بررسی گردید و نتایج آن طبق جدول ۴ نشان داده شد. نکته قابل توجه در بررسی تغییرات فصلی دما بالا بودن میزان افزایش دما در فصل

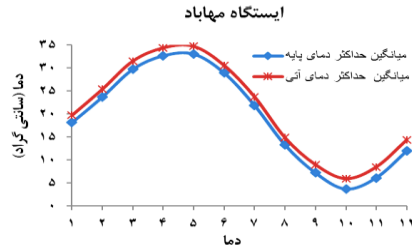
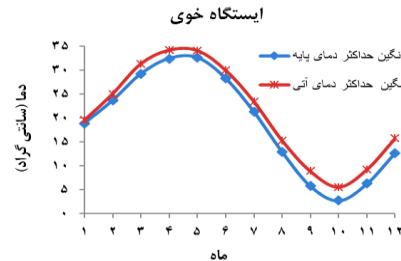
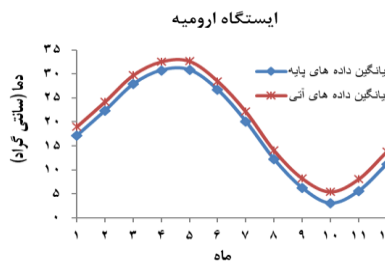
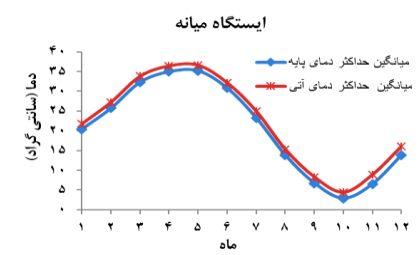
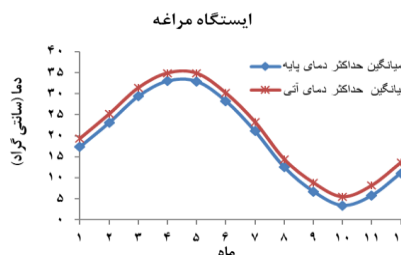
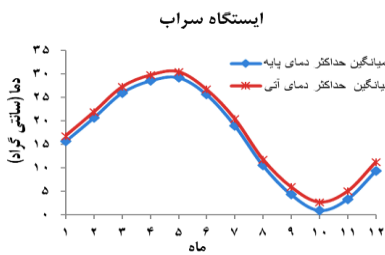
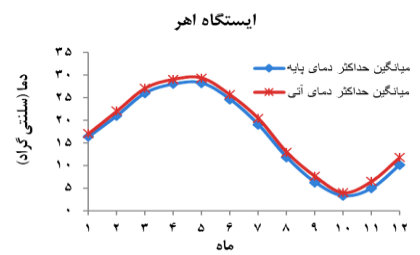
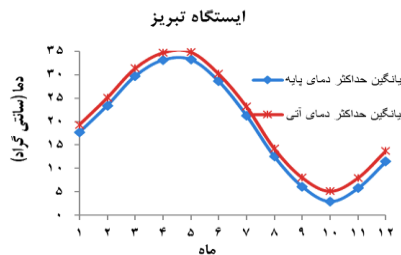
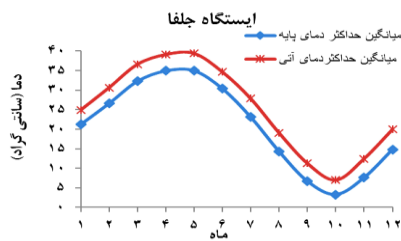
زمستان نسبت به سایر فصل‌ها در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی است. افزایش دما در زمستان می‌تواند اثرات منفی شدیدی بر منابع آب و کشاورزی مناطق مورد مطالعه داشته باشد. احمدی فر و همکاران (۲۰۲۰) در ایستگاه سراب و همچنین نوالفقاری و همکاران (۲۰۱۸) در ایستگاه‌های تبریز و ارومیه روند افزایشی دما را با مدل‌های اقلیمی پیش‌بینی کرده بودند که با نتایج این تحقیق همخوانی دارند. برای بررسی جهش ناگهانی در میانگین حداکثر دمای ماهانه ایستگاه‌های مطالعه شده از آزمون همگنی پتی (پتی ۱۹۷۹) و آزمون همگنی نرمال استاندارد (SNHT) (آریکان و کهیا ۲۰۱۷) استفاده شد. نتایج به دست آمده در هر دو آزمون نشان داد، در هیچ‌یک از سری داده‌های میانگین حداکثر دمای ماهانه، جهش ناگهانی مشاهده نشد و در تمامی ایستگاه‌ها سری داده‌ها دارای یک میانگین بودند. مقادیر p-value حاصل از این آزمون‌ها که نشان‌دهنده عدم معنی‌داری جهش ناگهانی است، در جدول ۵ نشان داده شد.

جدول ۴ - مقدار افزایش میانگین حداکثر دما در هر فصل بر اساس مناسب‌ترین مدل معرفی شده برای هر ایستگاه.

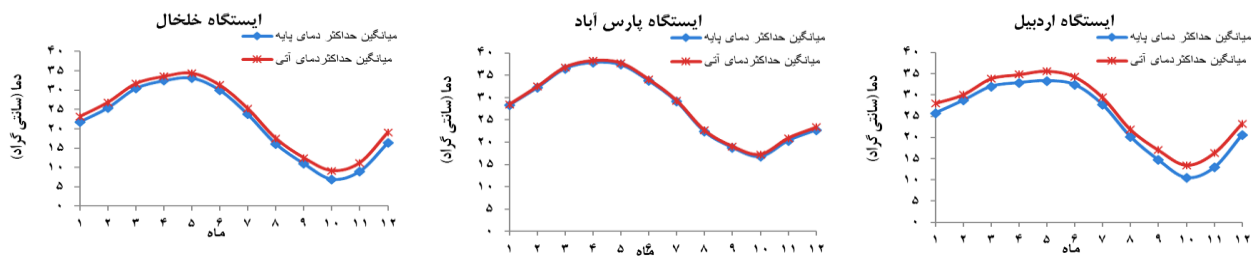
ایستگاه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
تغییرات دما (°C)				
اهر	۰/۹۳	۱/۰۶	۱/۲۶	۱/۲۹
تبریز	۱/۶۷	۱/۶۲	۱/۸۱	۲/۲۵
جلفا	۴/۰۳	۴/۲۸	۴/۶۸	۴/۵۶
سراب	۱/۴۴	۱/۳۹	۱/۵۷	۲/۰۴
مراغه	۲/۰۲	۱/۸	۲/۰۶	۲/۴
میانه	۱/۴۴	۱/۳۹	۱/۵۷	۲/۰۴
اردبیل	۱/۸۴	۲/۰۲	۲/۴۹	۲/۶۷
پارس‌آباد	۰/۴۲	۰/۵۰	۰/۹۲	۰/۹۳
خلخال	۱/۲	۱/۰۷	۱/۴	۱/۹۶
ارومیه	۱/۸۸	۱/۸۳	۱/۹۶	۲/۴۹
خوی	۱/۴۲	۱/۷۱	۲/۵۷	۲/۹۷
مهاباد	۱/۶۴	۱/۶۱	۱/۷۲	۲/۳۱

جدول ۵ - مقادیر P-Value آزمون‌های همگنی پتی و SNHT برای میانگین حداکثر دمای ماهانه.

ایستگاه	پتی	SNHT
اهر	۰/۳۰۸	۰/۴۴۱
تبریز	۰/۶۷۱	۰/۵۶۰
جلفا	۰/۱۳۵	۰/۵۲۱
سراب	۰/۳۹۳	۰/۵۶۳
مراغه	۰/۹۶۶	۰/۶۱۲
میانه	۰/۲۲۹	۰/۵۴۲
اردبیل	۰/۷۶۳	۰/۳۳۷
پارس‌آباد	۰/۳۵۱	۰/۵۷۳
خلخال	۰/۲۷۹	۰/۶۷۵
ارومیه	۰/۹۸۲	۰/۵۶۷
خوی	۰/۶۵۲	۰/۵۹۸
مهاباد	۰/۷۱۹	۰/۴۹۷







شکل ۷ - نمودار مقایسه تغییرات میانگین حداکثر دمای ماهانه پیش‌بینی شده نسبت به دوره آماری پایه در ایستگاه‌های مطالعاتی.

### نتیجه‌گیری کلی

بر اساس بررسی‌های صورت گرفته در این مطالعه مشخص شد که روند تغییرات سالانه دما در ایستگاه‌های مورد مطالعه به صورت افزایشی است. از ۱۲ ایستگاه بررسی شده در ۹ ایستگاه این روند افزایشی در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد و بیشترین موارد معنی‌داری در ایستگاه‌های مراغه و ارومیه مشاهده گردید. با توجه به نمودارهای روند می‌توان انتظار داشت که در سال‌های آتی در این ایستگاه‌ها دمای هوا مقدار بیشتری را از خود نشان دهد. میانگین حداکثر دما در ۱۲ ایستگاه مورد مطالعه با استفاده از سری زمانی مدل‌سازی شد، بالا بودن ضرایب R و CE در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشانگر بالا بودن دقت مدل سری زمانی در پیش‌بینی دما است. پس از مدل‌سازی و انتخاب مدل مناسب در ایستگاه‌های مورد مطالعه پیش‌بینی دما در ۸ سال آتی برای هر یک

از آنها انجام گرفت. نتایج حاصل از بررسی تغییرات دما در ۸ سال آتی نشانگر افزایش دما در تمامی ایستگاه‌ها می‌باشد. بطوری که بیشترین افزایش دما در ایستگاه جلفا به میزان  $4/39$  درجه سانتی‌گراد و کمترین افزایش در ایستگاه پارس‌آباد به اندازه  $0/69$  درجه سانتی‌گراد بدست آمد. همچنین تغییرات دما در ۸ سال آینده در فصل‌های گوناگون بررسی شد و نتایج نشان داد بیشترین افزایش دما در تمامی ایستگاه‌ها مربوط به فصل زمستان است. افزایش دما در ماه‌های زمستان در این مناطق می‌تواند اثرات منفی مانند تغییر الگوی نزولات جوی در زمستان از برف به باران، ذوب زود هنگام ذخایر برفی منطقه، زمستان‌گذرانی ناقص محصولات کشاورزی و شروع فصل رویش زودتر از موعد و همراه با خطر برای گیاهان را به دنبال داشته باشد. بررسی همگنی سری داده‌های میانگین حداکثر دمای ماهانه با آزمون پتی و SNHT در هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها وجود جهش ناگهانی را نشان نداد.

### منابع مورد استفاده

- Abkar A, Habibnajad M, Solaimani K and Naghavi H, 2014. Investigation efficiency SDSM model to simulate temperature indexes in arid and semi-arid regions. *Journal of Irrigation and Water Engineering* 14:1-17. (In Persian with English abstract)
- Ahmadifar R, Mousavi SM and Rahimzadegan M, 2020. Investigating the effects of climate change on groundwater (Case study: Sarab Plain). *Water and Soil Science* 30 (1):153-166. (In Persian with English abstract)
- Ahmadifar V, Delirhasannia R and Sadraddini AA, 2022. Comparative analysis of 15 major reference evapotranspiration models based on weighing lysimeter measurements for two different grass species grown in three soil textures. *Irrigation and Drainage* 71 (3): 648-664.
- Ansari M, Noori G and Fotohi S, 2016. Investigation of Temperature precipitation and flow trend using nonparametric mankendall (Case study: Kaju River in Sistan and Baluchestan). *Journal of Watershed Management Research* 7(14): 152-158. (In Persian with English abstract)

- Arikan BB and Kahya E, 2017. Homogeneity revisited: analysis of updated precipitation series in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology* 1-2: 1-10.
- Asakereh H, 2007. Trend analyses annual temperature in Tabriz. *Journal of Geographical Thought* 1:9-21. (In Persian with English abstract)
- Asakereh H, 2009. ARIMA modeling for the average annual temperature of Tabriz. *Journal of Geographical Research* 92:3-24. (In Persian with English abstract)
- Box G and Cox D, 1964. Analysis of transformation. *Journal of the Royal Statistical Society* 26: 211-252.
- Box G and Jenkins G, 1976. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Oakland, CA: Holden-Day, San Francisco, USA.
- Burn D and Hag Elnur M, 2002. Detection of hydrological trends and variability. *Journal of Hydrology* 255:107-122.
- Christiansen DE, Steven L and Lauren E, 2011. Impacts of climate change on the growing season in the United States. *Earth Interact* 15:1-17.
- Cryer J and Chan KS, 2008. *Time Series Analysis with Applications in R*. Springer Texts in Statistics.
- Goodarzi L and Roozbahani A, 2017. An evaluation of Arima and Holt Winters Time Series models for forecasting monthly precipitation and monthly temperature (Case study: Latian Station). *Irrigation Sciences and Engineering* 40(3): 137-149. (In Persian with English abstract)
- Gundalia M and Dholakia MB, 2012. Prediction of maximum/minimum temperatures using Holt Winters method with excel spread sheet for Junagadh region. *International Journal of Engineering Research and Technology* 1(6):1-8.
- Ghodoosi M, Morid S and Delavar M, 2013. Comparison of detrending methods for the temperature and precipitations time series. *Journal of Agricultural Meteorology* 1(2): 32-45. (In Persian with English abstract).
- Grieser J, Tromel S and Schonwiese CD, 2002. Statistical time series decomposition into significant components and application to European temperature. *Theoretical and Applied Climatology* 71:171-183.
- Kendall MG, 1975, *Rank Correlation Methods*. Griffin, London, UK.
- Khoraminia M and Bozorgnia A, 2007. The analysis of time series with the MINITAB 14 software. Sokhan Gostar, Mashad. (In Persian with English abstract)
- Kitagawa G, 2010. *Introduction to Time Series Modeling*. Chapman and Hall/CRC, New York.
- Liu Q, Yang Z and Cui B, 2008. Spatial and temporal variability of annual precipitation during 1961–2006 in Yellow River Basin China. *Journal of Hydrology* 361:330-338.
- Mann HB, 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13: 245-259.
- Maroofnezhad A and Ghasami S, 2017. Analysis of changes using the method of Mann-Kendall (Case study: Four townships of Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Quarterly Journal of Geography Environment Preparation* 37: 149-166. (In Persian with English abstract)
- Maugeri M and Nanni T, 1998. Surface area temperature variations in Italy: Recent trends and an update to 1993. *Theoretical and Applied Climatology* 61:191-196.
- Niroumand HA, 2010. *Time Series Analysis*. Translated from Cryer JD, (1986). Ferdowsi University of Mashhad Pub. 4th edition. Mashhad. 417p. (In Persian with English abstract)
- Pettitt A, 1979. A nonparametric approach to the change-point problem. *Journal of Applied Statistics* 28:126–135
- Salahi B, Hosseini SA, Shayeghi H and Sobhani B, 2010. Prediction of maximum temperatures through artificial neural network. (Case Study: Ardabli Township). *Geographical Researches* 25(3): 57-78. (in Persian with English abstract)
- Salas JD, 1992. *Analysis and Modeling of Hydrologic Time Series*. In: Maidment DR, (Ed.). *Handbook of Hydrology*, McGraw Hill Book Company, USA, 19.1-19.72.
- Sen Z, 1998. Small sample estimation of the variance of time averages in climate time series. *International Journal of Climatology* 18: 1725-1732.
- Seraj Rezaei Y and Delirhasannia R, 2014. Analyzing the day and night time wind characteristics and their effects on the performance of sprinkler irrigation systems. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 8(2): 311-324. (In Persian with English abstract)
- Stocker TF, Qin D, Plattner Jk, Tignor M, Allen SK, Boschung J and Vasconcellos de Menezes V, 2013. *Climate Change 2013. The Physical Science Basis*. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change-Abstract for decision-makers. Groupe

- d'experts intergouvernemental sur l'evolution du climat/Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC, C/O World Meteorological Organization, 7bis Avenue de la Paix, CP 2300 CH-1211 Geneva 2 (Switzerland).
- Thomas HA and Fiering MB, 1962. Mathematical synthesis of stream flow sequences for the analysis of river basins by simulation. In: Maass A, Hufschmidt MM, Dorfman R, Thomas HA, Marglin SA and Fair GM, (Eds.), Design of Water Resources, Harvard University Press, USA.
- Veisipour H, Masompour J, Sahne B and yosefi Y, 2010. Analysis of precipitation and temperature trend and forecasting by time series models (Case Study: Kermanshah city). Journal of Geography 3: 63-77. (In Persian with English abstract)
- Yevjevich V, 1972. Stochastic Process in Hydrology. Water Resources Publications. Fort Collin, Colorado, USA.
- Yue S and Hashino M, 2003. Temperature trends in Japan:1900-1996. Theoretical and Applied Climatology 75:15-27.
- Yue Sh and Wang Ch, 2004. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. Water Resources Management 18: 201–218.
- Zarei AR and Moghimi MM, 2016. Prediction and evaluation of average monthly temperature using time series models. Journal of Irrigation and Water Engineering 25: 142-151. (In Persian with English abstract)
- Zhou S, Yuan J, Song Z, Tang J and Kang L, 2013. Wind signal Forecasting based on system identification toolbox of MATLAB. Intelligent System Design and Engineering Applications 1614-1617.
- Zolfaghari H, Masoompourv Samakosh J and Chahwari S, 2018. Estimating the growing degree days in the Northwest of Iran based on climate change models. Scientific Journals Management System 49: 221-240. (In Persian with English abstract)