



Detection of Monthly Precipitation and Temperature Trends at Khorramabad Synoptic Station

Vania Rahimi monfared, ^{1✉} 

1. Department of Geography, Faculty of Literature and Economics, Lorestan University, Khorramabad, Lorestan. Email: vaniarahimi67@gmail.com

Article Info

Article type
Research Article

Article history:

Received
2 February 2026
Received in revised form
4 March 2026
Accepted
11 April 2026
Available online
1 June 2026

Keywords:

ITA Method,
Mann-Kendall,
Monotonic Trend,
Non-Monotonic Trend,
Time Series.

ABSTRACT

Objective: Continuous greenhouse gas emissions have exposed meteorological and hydrological parameters to complex transformations. The Zagros mountain range, as the vital artery of runoff generation in western and southwestern Iran, is highly vulnerable to these changes. This study aims to evaluate both monotonic and non-monotonic trends in monthly precipitation and temperature at Khorramabad synoptic station.

Method: Data from Khorramabad synoptic station during the period 1995–2023 (29 years) were analyzed using the Mann-Kendall test to identify monotonic trends and the Innovative Trend Analysis (ITA) method to detect non-monotonic trends.

Results: Temperature results indicate that the annual mean has increased with a significant upward slope. Warming was evident in all months and peaked in winter, with December temperatures rising by more than 1.5°C and January and February by more than 1°C. In contrast, annual precipitation (446.6 mm) exhibited severe fluctuations ($cv = 30.4\%$) and inherent irregularity ($skewness = 1.1$), with no significant linear trend. ITA analysis revealed heterogeneity in the precipitation regime: a notable decrease in spring and autumn, relative stability in winter, and severe fluctuations in summer.

Conclusions: The combination of sustained warming and variable precipitation imposes increasing hydrological pressure on the region's water resources. For adaptation, it is recommended that the rainfed planting calendar be advanced by two weeks, reservoir dead volumes be reduced by ten percent, and a rainfall radar monitoring network be established in the upstream Zagros. The findings provide clear evidence of the link between climate trends and declining water resource sustainability and can serve as a basis for decision-making in sustainable water management.

Cite this article: Rahimi monfared, V.(2026). Detection of Monthly Precipitation and Temperature Trends at Khorramabad Synoptic Station 97-115. <https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.7.1>



© © Author(s) retain the copyright and full publishing rights

Publisher: : Lorestan University.



DOI: <https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.7.1>

1. Introduction

Continuous greenhouse gas emissions have exposed the stability of the planet's meteorological and hydrological systems to complex and non-uniform transformations. Semi-arid and mountainous regions, particularly the Zagros mountain range in Iran, have double vulnerability to these fluctuations due to their pivotal role in runoff generation and water resource feeding. Climatic fluctuations in this region, accompanied by the intensification of the hydrological cycle and changes in precipitation distribution patterns, directly affect water security and sustainable development in western and southwestern Iran. Therefore, accurate understanding and quantification of long-term and medium-term temperature and precipitation trends at the local scale is an undeniable scientific necessity.

Trend analysis of climatic data in this region has confirmed the heterogeneous and variable nature of western Iran's climate. Previous studies have shown that the precipitation structure in Khorramabad has considerable heterogeneity, and the significant decrease in heavy precipitation in Kermanshah Province provides evidence of changing precipitation regimes in the region. Traditionally, the non-parametric Mann-Kendall test has been widely used for identifying climatic trends due to its

resistance to unconventional distributions and outliers. However, the linear nature of this test is incapable of identifying discontinuous trends and subtle hidden changes common in complex climate time series, and may fail to detect significant changes in the presence of fluctuations. In response to this methodological limitation, the Innovative Trend Analysis (ITA) graphical test was introduced, which enables the separation of monotonic from non-monotonic trends and has proven its effectiveness in climatic analyses of western Iran.

The present study, aiming for a comprehensive and comparative assessment of monthly precipitation and temperature trends at Khorramabad synoptic station during 1995–2023, focuses on a new focal point. By simultaneously applying the non-parametric Mann-Kendall test and the discriminatory power of ITA, the main objective is to extract hidden non-monotonic trends and provide a complete picture of ongoing climatic transformations in the Zagros slopes. The findings of this research will provide a scientific and reliable basis for formulating adaptive management strategies and water resource sustainability in the region.

2. Methodology

Khorramabad synoptic station is located at 46°27' East longitude and 33°27' North latitude, at an altitude of 1,147 meters above sea level. This station is situated on the northern slopes of the Zagros mountain range and the Khorramabad River catchment. Its location is directly influenced by western-Mediterranean systems that are more active during the cold seasons. Due to its position in the path of mid-latitude precipitation systems, this area is considered one of the key points for studying climatic changes in western Iran. The climatic data for this research include monthly total precipitation and mean temperature time series from Khorramabad synoptic station during

1995–2023 (29 years), obtained from the Meteorological Organization of Iran. To determine trends in precipitation and temperature time series, two complementary methods were employed: the non-parametric Mann-Kendall test and the Innovative Trend Analysis (ITA) graphical test.

The Mann-Kendall test is one of the most widely used non-parametric methods in climate trend analysis, recommended by the World Meteorological Organization due to its independence from specific statistical distributions and robustness against outliers. The null hypothesis of this test indicates

randomness and absence of trend in the data series. In this study, the test was applied at 95% and 99% confidence levels. A positive Z-statistic indicates an upward trend, while a negative value indicates a downward trend. The ITA graphical method, recently introduced by Sen, can identify not only monotonic trends but also non-monotonic and hidden trends in time series. In this method, each time series is divided into two equal sub-series (first period:

1995–2009 and second period: 2010–2023). These two sub-series are then sorted in ascending order and plotted in a Cartesian coordinate system. If the points cluster along the 45° line ($y=x$), no trend exists. Points above the line indicate an increasing trend, while points below indicate a decreasing trend. If points are located on both sides of the line, the time series has a non-monotonic trend, indicating a combination of different trends.

3. Results

Analysis of precipitation statistics shows that the mean annual precipitation during 1995–2023 was 446.6 mm. The relatively high annual coefficient of variation (30.4%) indicates significant dispersion of precipitation values around the mean. The positive skewness of the data (1.1) indicates asymmetry in the precipitation frequency distribution, with a predominance of low-precipitation years compared to high-precipitation years. In contrast, the mean annual temperature was 17.3°C with a coefficient of variation of 3.7% and skewness of 0.4, indicating relative temperature stability and slight skewness toward warmer values.

The Mann-Kendall test results for temperature data showed that temperature trends for all months of the year were upward and statistically significant. The highest Z-statistic values were observed for the warm months (June to September), indicating intensified warming during the summer season. On an annual scale, the temperature increase trend was significant at the 99% confidence level with a Z-statistic of 3.4. The monthly temperature coefficient of variation ranged from 2.8% to 23.2%, indicating varying degrees of relative variability. High coefficient of variation values in January (23.2%) and December (19.1%) indicate significant temperature instability and fluctuation during winter, while months with low coefficient of variation (May to September) exhibit greater stability. Positive skewness in most months indicates distribution skewness toward warmer values.

In contrast, the Mann-Kendall test for precipitation data showed no significant trends for any month or on an annual scale. Although the trend direction was decreasing in most

months, this decrease was not statistically significant. However, ITA graphical analysis revealed more complex patterns, which are described below by season.

ITA analysis for precipitation revealed that in January and February, point distribution is near the no-trend line, indicating relative stability in winter precipitation. Although a small portion of the data is located above the line, showing a weak tendency toward increasing precipitation in recent years, this change is not statistically significant. In March and April, the distribution pattern is predominantly concentrated below the no-trend line, indicating that the mean precipitation in these two months has decreased in the recent period compared to the base period. This pattern change is likely associated with early spring temperature increases and weakening of Mediterranean systems. In May and June, limited fluctuations in precipitation values are observed, with data concentration above the no-trend line indicating a slight increase in late spring precipitation; however, due to the low precipitation range, this change has no significant hydrological effect.

In July through September, precipitation values are very negligible, and point distribution is concentrated near the horizontal axis, practically indicating no discernible trend. Only in September do a few points appear above the line, suggesting the possibility of early autumn precipitation. In October through December, a decreasing precipitation trend is clearly observable. Data concentration below the no-trend line indicates decreasing autumn precipitation in recent years. This decrease is consistent with evidence of simultaneous warming in the final months of the year and is

likely due to reduced penetration of western rain-bearing systems to lower latitudes.

ITA analysis for temperature data also showed that in January and February, all points are located above the no-trend line, indicating a noticeable winter temperature increase (approximately 1 to 1.5°C) in the recent period. In March and April, although data dispersion is greater, the increasing trend continues, with mean temperature rising by approximately 0.8 to 1°C, leading to increased evaporation and soil drying in the early growing season months. The highest temperature increases are observed

in May through September; points are densely located above the no-trend line, indicating sustained summer warming. This increase is estimated at up to 1.2°C in some months and aligns with increased agricultural water demand. In October through December, data are also scattered above the no-trend line, confirming continued warming through the end of the year. The highest increase is observed in December (approximately 1.5°C), suggesting a possible shift in precipitation type from snow to rain and reduced winter temperature intensity.

4. Discussion

Statistical analysis of precipitation and temperature data at Khorramabad synoptic station has revealed clear patterns of change in these two climatic components. Monthly precipitation, with a coefficient of variation of 30.4% and positive skewness, exhibited severe fluctuations and non-linear behavior. In contrast, temperature demonstrated relative stability ($CV = 3.7\%$) with a significant and uniform increasing trend across all months. Comparison of the periods 1995–2009 and 2010–2023 indicates shifts in precipitation ranges and changes in the region's precipitation regime.

Comparison of the methods used shows that the Mann-Kendall test, due to its linear nature, is incapable of identifying discontinuous trends and subtle hidden changes in time series and may fail to detect significant changes in the presence of fluctuations. In contrast, the ITA method, with its high sensitivity to sectional breaks, provides a more accurate picture of temporal discontinuities in precipitation and temperature in the region. This is particularly important for precipitation, which exhibits non-linear behavior and severe fluctuations. The findings of the present study demonstrate that although the Mann-Kendall test does not detect

significant trends for precipitation, ITA analysis reveals decreasing precipitation in spring and autumn, which can have significant hydrological consequences.

The observed patterns are consistent with previous studies reporting the concentration of intense precipitation in the Zagros region. Furthermore, the present results align with multi-fractal wavelet analysis that confirmed precipitation structure heterogeneity in Khorramabad. This consistency indicates the high capability of the ITA method in detecting hidden trends.

The observed changes in precipitation regime and sustained temperature increase in the Khorramabad region have profound hydroclimatic implications. On one hand, the continuous and significant temperature increase raises the likelihood of precipitation phase change from snow to rain, intensifies potential evapotranspiration, reduces soil moisture content, and increases plant water demand. On the other hand, the observed decrease in spring and autumn precipitation, as an exacerbating factor, sets the stage for the establishment of dry conditions and the recurrence of drought phenomena in the region. The combination of these two factors imposes increasing

hydrological pressure on the region's water resources, placing the water resource system under sustained pressure from increasing demand and decreasing supply.

Temporal precipitation distribution across different months is not uniform, with significant irregularities observed in spring and autumn compared to winter. Seasonal precipitation variability in spring and autumn in the Khorramabad region is approximately 1.5 times greater than winter precipitation variability. Additionally, the higher positive skewness values in these two seasons indicate more severe asymmetry in precipitation distribution toward below-average values. This pattern suggests that in spring and autumn, the frequency of heavy and above-normal precipitation events is lower than below-average events; consequently, precipitation in these seasons is primarily concentrated in isolated, intense events. This pattern change can pose serious challenges for water resource management, as intense precipitation events are associated with flood risks and water loss, while reduced effective precipitation during growing seasons leads to soil dryness and reduced agricultural production.

Comparison of the behavior of the two climatic components shows that temperature and precipitation have responded differently to climate change drivers. While temperature has responded with a stable and increasing trend, precipitation exhibits an oscillatory and non-linear pattern. This difference in responses complicates water resource management, as both components simultaneously affect the water balance, and intensified evapotranspiration alongside reduced effective precipitation increases the accessible water deficit. These conditions underscore the

necessity of adopting preventive and adaptive management strategies based on understanding event-scale variability.

5. Conclusions

The present study, aiming for a comprehensive assessment of monthly precipitation and temperature trends at Khorramabad synoptic station during 1995–2023, and by simultaneously applying the Mann-Kendall test and the Innovative Trend Analysis (ITA) method, was able to provide a more complete picture of ongoing climatic transformations in the Zagros slopes.

The results of this study showed that monthly temperatures exhibited significant upward trends across all months. The highest temperature increases were observed in winter months (December with over 1.5°C and January and February with over 1°C), which can lead to precipitation phase change from snow to rain, reduced snow reserves, and intensified evapotranspiration during the growing season. Sustained warming across all seasons, particularly in summer, is associated with increased agricultural water demand and exacerbates pressure on water resources.

In contrast, annual precipitation (446.6 mm) showed severe fluctuations (coefficient of variation 30.4%) with no significant linear trend. However, ITA analysis revealed more complex patterns: decreasing precipitation in spring and autumn, relative stability in winter, and severe fluctuations in summer. These changes indicate a shift in the region's precipitation regime and increased irregularity in temporal precipitation distribution. Precipitation variability in spring and autumn is approximately 1.5 times that of winter, and the higher positive skewness in these seasons

indicates that heavy and above-normal precipitation events occur less frequently than below-average events; thus, precipitation in these seasons is primarily concentrated in isolated, intense events.

The combination of sustained warming and variable precipitation imposes increasing hydrological pressure on the region's water resources. Temperature increases lead to intensified evapotranspiration, reduced soil moisture, and increased plant water demand, and alongside reduced effective precipitation during growing seasons, exacerbate the accessible water deficit. These conditions place the region's water resource system under sustained pressure from increasing demand and decreasing supply, with consequences observable in reduced agricultural production, intensified drought, and population migration. The inappropriate temporal distribution of precipitation also presents serious challenges for water resource management, as intense precipitation events are associated with flood risks, while reduced effective precipitation during growing seasons leads to soil dryness.

Comparison of the methods used showed that the Mann-Kendall test, due to its linear nature, is incapable of identifying hidden and discontinuous trends and may fail to detect significant changes that occur in the presence of fluctuations. In contrast, the ITA method, with its high sensitivity to sectional breaks, is an effective tool for identifying non-monotonic trends and hidden changes in climatic time series. This method is particularly effective for highly variable regions like the Zagros that exhibit non-linear climatic behavior and can

provide a more accurate picture of climatic transformations.

Based on the findings of this research, the following recommendations are proposed for adaptation to climate change and mitigation of its hydrological consequences: advancing the rainfed planting calendar by two weeks to utilize residual soil moisture and reduce exposure to end-of-season heat stress; reducing reservoir dead volumes by ten percent to increase storage capacity during wet periods and better manage water scarcity; and establishing a rainfall radar monitoring network in the upstream Zagros for more accurate prediction of precipitation events and flood and drought warning management. Additionally, the application of advanced trend analysis methods such as ITA alongside traditional methods is recommended for better understanding of climate changes and development of management scenarios. Expansion of the meteorological station network and use of satellite data can also improve prediction accuracy and water resource management.

The findings of this research provide clear evidence of the link between climate trends and declining water resource sustainability in the Khorramabad region and can serve as a basis for decision-making in sustainable water management in western and southwestern Iran. Given the intensification of climate change in the coming decades, the adoption of preventive and adaptive management strategies based on accurate understanding of local-scale climate changes is inevitable for ensuring water security and sustainable development in the region.

Author Contributions

In the preparation and writing of this article, all authors have contributed equally. All stages of the research, from study design and data

collection to analysis of results and final writing of the article, are the result of collaboration and collective agreement of all authors.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors

Acknowledgements

We are very grateful to everyone who assisted us in conducting this research.

Ethical Considerations

All authors affirm that this research was conducted in accordance with ethical standards,

with no data fabrication, falsification, or plagiarism

Funding

This research was conducted with the support of the [Institutional Name]. The authors

would like to express their sincere gratitude and appreciation to these institutions for their valuable support.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



آشکار سازی روند تغییرات بارش و دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک خرم آباد

وانیا رحیمی منفرد 

۱. گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و اقتصاد، دانشگاه لرستان، خرم آباد، لرستان. رایانامه: vaniarahimi67@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: انتشار پیوسته گازهای گلخانه‌ای، پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی را در معرض دگرگونی‌های پیچیده قرار داده است. رشته کوه زاگرس، به عنوان شاهرگ حیاتی تولید رواناب در غرب و جنوب غرب ایران، در برابر این تغییرات بسیار آسیب پذیر است. این پژوهش با هدف ارزیابی روندهای یکنواخت و نایکنواخت بارش و دمای ماهانه در ایستگاه سینوپتیک خرم آباد انجام شده است.
تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۰ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۱۱	روش: داده‌های ایستگاه سینوپتیک خرم آباد در بازه ۱۹۹۵-۲۰۲۳ (۲۹ سال) با استفاده از آزمون من-کندال (Mann-Kendall) برای شناسایی روندهای یکنواخت و روش تحلیل روند (ITA) برای آشکار سازی روندهای نایکنواخت مورد بررسی قرار گرفت.
کلیدواژه‌ها: روش ITA، من-کندال، روند یکنواخت، روند نایکنواخت، سری زمانی	نتایج: نتایج دمایی نشان می‌دهد که میانگین سالانه با شیب صعودی معناداری افزایش یافته است. گرمایش در تمام ماه‌ها مشهود بود و در زمستان به اوج رسید؛ به طوری که دمای دسامبر بیش از ۱٫۵ درجه و ژانویه و فوریه بیش از ۱ درجه سانتی گراد افزایش یافت. در مقابل، بارش سالانه (۴۴۶/۶ میلی متر) نوسانات شدید (CV= ۴۰/۳۰) و بی‌نظمی ذاتی (چولگی ۱/۱) نشان داد و فاقد روند خطی معنادار بود. تحلیل ITA ناهمگنی رژیم بارش را آشکار کرد: کاهش محسوس در بهار و پاییز، ثبات نسبی در زمستان و نوسان شدید در تابستان.
	نتیجه گیری: ترکیب گرمایش پایدار و بارش متغیر، فشار هیدرولوژیک فزاینده‌ای بر منابع آب منطقه وارد می‌کند. برای سازگاری، پیشنهاد می‌شود تقویم کاشت دیم دو هفته جلوتر افتد، حجم مرده سدها ده درصد کاهش یابد و شبکه پایش رادار بارش در بالادست زاگرس استقرار یابد. یافته‌ها شواهد روشنی از ارتباط روندهای اقلیمی با کاهش پایداری منابع آب ارائه می‌دهد و می‌تواند مبنای تصمیم سازی برای مدیریت پایدار آب قرار گیرد.

استناد: رحیمی منفرد، و، آشکار سازی روند تغییرات بارش و دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک خرم آباد، (۱)، ۹۷-۱۱۵

<https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.7.1>



<https://doi.org/10.22034/fersd.2026.1.7.1>



© نویسنندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه لرستان.

۱. مقدمه

توسط سن معرفی شد. کاربرد این روش، که قابلیت تفکیک روندهای یکنواخت از نایکنواخت را فراهم می‌آورد، کارایی خود را در تحلیل‌های اقلیمی غرب ایران ثابت کرده است (Sen, Z, 2012 & 2014).

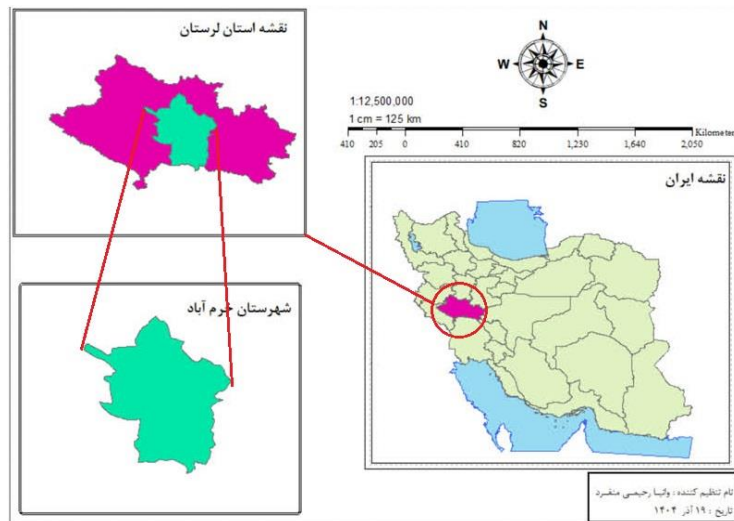
پژوهش حاضر، با هدف ارزیابی جامع و مقایسه‌ای روندهای زمانی ماهانه بارش و دمای ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد در بازه ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۳، بر روی یک نقطه کانونی جدید تمرکز می‌کند. با به‌کارگیری همزمان آزمون ناپارامتری من-کندال و قدرت تفکیک‌کنندگی ITA، هدف اصلی، استخراج روندهای پنهان نایکنواخت و ارائه تصویری کامل از دگرگونی‌های اقلیمی در حال وقوع در دامنه‌های زاگرس است. یافته‌های این پژوهش، مبنایی علمی و قابل اتکا برای تنظیم راهبردهای سازگاری مدیریتی و پایداری منابع آب در منطقه فراهم خواهد ساخت.

۲. مواد و روش‌ها

ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد در مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی و ۳۳ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۴۷ متری از سطح دریا واقع شده است (Mirehashemi, H., Sharafi, S., & Arintabar, H., 2021). این ایستگاه در دامنه شمالی رشته کوه زاگرس و حوضه آبریز رودخانه خرم‌آباد قرار دارد. موقعیت آن تحت تاثیر مستقیم سامانه‌های غربی-مدیترانه ای قرار دارد که در فصل‌های سرد سال فعالیت بیشتری دارند. این منطقه به دلیل قرارگیری در مسیر نفوذ سامانه‌های بارشی عرض‌های میانی، یکی از نقاط کلیدی در بررسی تغییرات اقلیمی غرب کشور به شمار می‌رود.

انتشار مداوم گازهای گلخانه‌ای، ثبات سیستم‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی سیاره را با دگرگونی‌های پیچیده و نایکنواخت مواجه کرده است. مناطق نیمه‌خشک و کوهستانی، به‌ویژه رشته‌کوه‌های زاگرس در ایران، به دلیل ایفای نقش محوری در تولید رواناب و تغذیه منابع آب، دارای آسیب‌پذیری مضاعفی در برابر این نوسانات هستند (Pandey, S., Jha, S. K., & Singh, V. P, 2017). نوسانات اقلیمی در این منطقه، که با تشدید چرخه هیدرولوژیکی و تغییر الگوی توزیع بارش همراه است، مستقیماً امنیت آبی و توسعه پایدار غرب و جنوب غرب ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، درک دقیق و کمی‌سازی روندهای بلندمدت و میان‌دوره‌ای دما و بارش در مقیاس محلی، یک ضرورت علمی انکارناپذیر است.

تحلیل روندهای اقلیمی در این منطقه، ماهیت ناهمگن و متغیر اقلیم غرب ایران را تأیید کرده است. ناهمگنی ساختار بارش در خرم‌آباد را با تحلیل چند فرکتالی نشان داد (Mirehashemi, H, 2020) و کاهش معنادار بارش‌های سنگین را در استان کرمانشاه شناسایی کردند که این شواهد، گویای تغییر رژیم بارشی است (Jamal et al, 2020) به‌طور سنتی، آزمون ناپارامتری من-کندال به دلیل مقاومت در برابر توزیع‌های نامتعارف و مقادیر پرت، کاربرد گسترده‌ای در شناسایی روندهای اقلیمی داشته است (Ghodrati, .Z., 2004) با این حال، ماهیت خطی این آزمون، در شناسایی روندهای ناپیوسته و تغییرات جزئی پنهان، که در سری‌های زمانی اقلیم‌های پیچیده رایج است، ناتوان است و ممکن است در حضور نوسانات، از تشخیص تغییرات معنادار بازماند. در پاسخ به این محدودیت روش‌شناختی، آزمون گرافیکی تحلیل روند نوآورانه (ITA)



شکل ۱- موقعیت شهرستان خرم آباد

داده ها و روش :

داده‌های اقلیمی این پژوهش شامل سری زمانی مجموع بارش و میانگین دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک خرم آباد در بازه ۱۹۹۵-۲۰۲۳ (۲۹) سال است که از سازمان هواشناسی دریافت شد.

به منظور تعیین روند سری‌های زمانی بارش و دمای هوا، به علت وابسته نبودن توزیع احتمال سنجی آزمون‌های ناپارامتری به شکل توزیع دیدبانی‌ها، یعنی به علت عدم تأثیرپذیری از مقادیر غیرمعمول و دورافتاده داده‌ها و در نتیجه مقاوم بودن نسبت به خطاهای احتمالی (Lanzante, J. R. 1996) و نیز به سبب آنکه این آزمون‌ها نیاز به مفروضات متعدد نداشته و آسان‌تر بودن فهم آنها نسبت به آزمون‌های پارامتری (Sprenst, P., & Smeeton, N. C, 2006). از آزمون ناپارامتری من - کندال^۱ و آزمون گرافیکی ITA که شرح و بسط آنها در پی می‌آید استفاده شد.

آزمون من - کندال ابتدا توسط (Mann, H. B, 1945) ارائه و سپس توسط (Kendall, M. G, 1975) بسط و توسعه یافت (Sirano, M. Tsegaye, D, & Tegegne, A.,

1999) کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه شده است (Mitchell, J. M. Jr., Dzerdzeevskii, B., Flohn, H., Hofmeyr, W. L., Lamb, H. H., Rao, K. N., & Wallen, C. C, 1996). از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره کرد. از دیگر مزیت‌های این روش می‌توان به اثرپذیری ناچیز آن از مقادیر فرین که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شود یاد کرد (Turgay, G., Yilmaz, M. T., & Ersoy, G, 2005). فرض صفر این آزمون مبین تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری و پذیرش فرض یک دال بر وجود روند در سری داده‌هاست. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

نخست محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S به شرح زیر:

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \quad (\text{رابطه ۱})$$

در رابطه فوق m مبین تعداد سری‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t بیانگر فراوانی داده‌هایی با ارزش برابر است. در نهایت آماره Z با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۴})$$

نخست هر کدام از سری‌های زمانی داده‌های ماهانه (n) دمای هوا و بارش (۱۹۹۵-۲۰۲۳) به دو زیرسری برابر شامل X_i و X_j (۱۹۹۵-۲۰۰۹ و ۲۰۱۰-۲۰۲۳) تقسیم شد (رابطه ۴)، آنگاه این دو سری زمانی به صورت صعودی مرتب شدند. $x_i: i=(1,2,\dots,n/2)$ $x_j: j=(n/2+1,n/2+2,\dots,n)$ (رابطه ۵)

در گام بعدی، این دو زیرسری زمانی در یک دستگاه مختصات کارتزین به صورت X_i بر محور x و X_j بر محور y نگاشت شدند. اگر این دو زیر سری برابر باشند، آنگاه پراکندگی نقاط در امتداد یک خط 45° تجمع پیدا می‌کند که این عدم روند را در سری زمانی نشان می‌دهد. اگر نقاط در بالای (زیر) خط 45° متمرکز شوند، نشان از روند افزایشی (کاهشی) سری زمانی دارد. در صورتی که نقاط هم در بالا و هم در زیر خط 45° واقع شوند آنگاه مشخص می‌شود که روند تغییر سری زمانی یکنواخت نیست و ترکیبی از روندهای مختلف در سری زمانی وجود دارد (سین، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۴). در این صورت، داده‌های سری زمانی در چندین گروه مختلف توزیع شده‌اند. انتخاب کمی مرزهای این گروه‌ها، تجسم بهینه‌ای در مورد نوع روندها فراهم می‌کند.

در رابطه فوق: n تعداد مشاهدات سری، X_j و X_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام. sgn تابع علامت است که به طریق زیر محاسبه می‌شود:

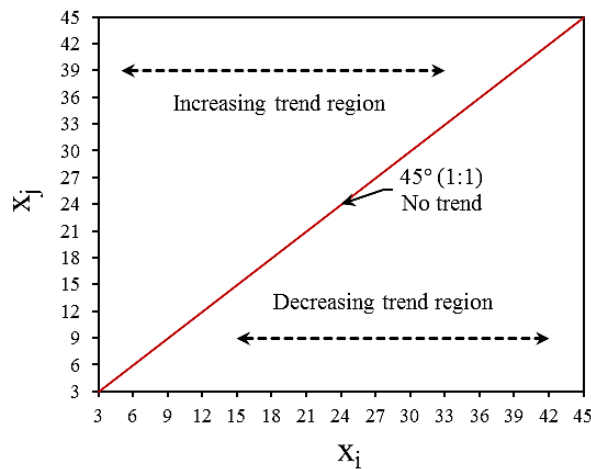
$$\text{sgn}(X) = \begin{cases} +1 & \text{if } (X_j - X_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (X_j - X_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (X_j - X_k) < 0 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۲})$$

به علت اینکه تمام ایستگاه‌ها دارای آمار بیش از ۱۰ سال هستند، برای محاسبه واریانس از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها فرض صفر پذیرفته می‌شود اگر: $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ که سطح معناداری و Z_α آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معناداری α است. با توجه به دو دامنه بودن آزمون از $\alpha/2$ استفاده شده است. در بررسی حاضر، آزمون برای سطوح اعتماد ۹۹٪ و ۹۵٪ بکار گرفته شد. در صورت مثبت بودن آماره Z روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن روند نزولی است.

با توجه به هدف پژوهش و به منظور درک بهتر روند تغییرات سری‌های زمانی و مدیریت بهینه مبتنی بر آن از روش گرافیکی ITA که اخیراً توسط سن ارائه شده نیز استفاده شد. زیرا این روش قادر است افزون بر شناسایی روندهای یکنواخت و روندهای نایکنواخت که در سری‌های زمانی تجلی پیدا می‌کنند را نیز شناسایی کند. بنابراین، در این مطالعه برای شناسایی روندهای یکنواخت و نایکنواخت موجود در سری زمانی دما و بارش ایستگاه سینوتیک خرم آباد از روش ITA استفاده شد. اجرای این روش به ترتیب ذیل انجام شد.



شکل ۲- تشریح گرافیکی روش ITA (میرهاشمی و همکاران ۱۴۰۰)

۳. نتایج و بحث :

درجه سلسیوس با انحراف معیار $0.6/^\circ\text{C}$ و ضریب تغییرات $3.7/^\circ\text{C}$ درصد نیز محاسبه شد. توزیع بارش چولگی مثبت در توزیع بارش مشاهده شد. (ضریب چولگی: $1/1$) و توزیع دما نیز به سمت مقادیر بالاتر کشیدگی مثبت نشان داد. (ضریب چولگی: $0.4/^\circ\text{C}$) ارزیابی شد. نتایج در جدول ۱ ارائه شده است.

داده‌های بارش و دمای ایستگاه سینوپتیک خرم آباد طی سال (۱۳۷۴_۱۴۰۲) مورد بررسی قرار گرفت. میانگین بارش سالانه 446.6 میلی‌متر و انحراف معیار 136.03 و ضریب تغییرات 30.4 درصد محاسبه شد. میانگین دمای سالانه 17.3 و ضریب تغییرات 0.6 درصد محاسبه شد.

جدول ۱- آمار توصیفی داده‌ها بارش و دمای ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد

متغیر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی
دمای سالانه ($^\circ\text{C}$)	17.3	0.6	3.7	0.4
بارش سالانه (mm)	446.6	136.03	30.4	1.1

میانگین است. انحراف معیار و چولگی مثبت داده‌ها، نشان‌دهنده عدم تقارن توزیع فراوانی بارش و غلبه سال‌های کم‌بارش نسبت به پربارش در بازه زمانی مورد مطالعه است.

بررسی شاخص‌های آماری داده‌های بارش (جدول ۱) نشان می‌دهد مقدار میانگین سالانه طی دوره ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۳ برابر با 446.6 میلی‌متر است. ضریب تغییرپذیری سالانه نسبتاً بالا (30.4 درصد) بیانگر پراکندگی قابل توجه مقادیر بارش حول

در این جدول، مقادیر میانگین، ضریب تغییرات، چولگی و آماره من-کندال برای هر ماه محاسبه گردیده تا ویژگی‌های آماری و روند احتمالی تغییرات بارش در طی دوره آماری مورد ارزیابی قرار گیرد.

تحلیل روند بارش :

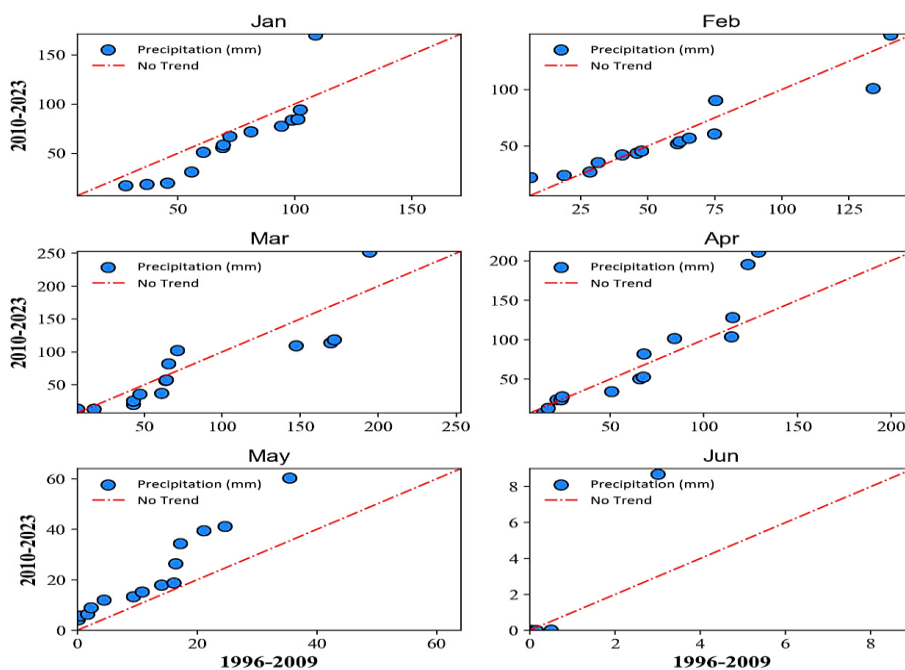
به منظور بررسی نوسانات زمانی و روند تغییرات بارش در مقیاس ماهانه، شاخص‌های آماری مربوط به دوازده ماه سال برای ایستگاه سینوپتیک خرم آباد در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- تحلیل روند بارش

چولگی	ضریب تغییرات	میانگین	آماره من-کندال	ماه
0.6	52	66.67	-0.13	ژانویه
1.1	60.36	59.35	-0.5	فوریه
1.2	80.24	76.61	-0.75	مارس
0.9	74.14	72.23	-0.65	آوریل
1.3	88.29	18.69	0.5	می
3.3	307.65	0.65	-1.63	ژوئن
3.5	283.29	0.16	-1.03	ژوئیه
3.5	355	0.04	0.39	آگوست
4.2	322.88	1.03	-0.07	سپتامبر
1.6	143.73	24.81	0.28	اکتبر
1.4	75.98	51.57	1.25	نوامبر
0.5	64.82	84.78	0.24	دسامبر
1.1	30.45	446.6	-0.01	سالانه

دگرگونی‌های اقلیمی در حال وقوع در دامنه‌های زاگرس است. یافته‌های این پژوهش، مبنایی علمی و قابل اتکا برای تنظیم راهبردهای سازگاری مدیریتی و پایداری منابع آب در منطقه فراهم خواهد ساخت.

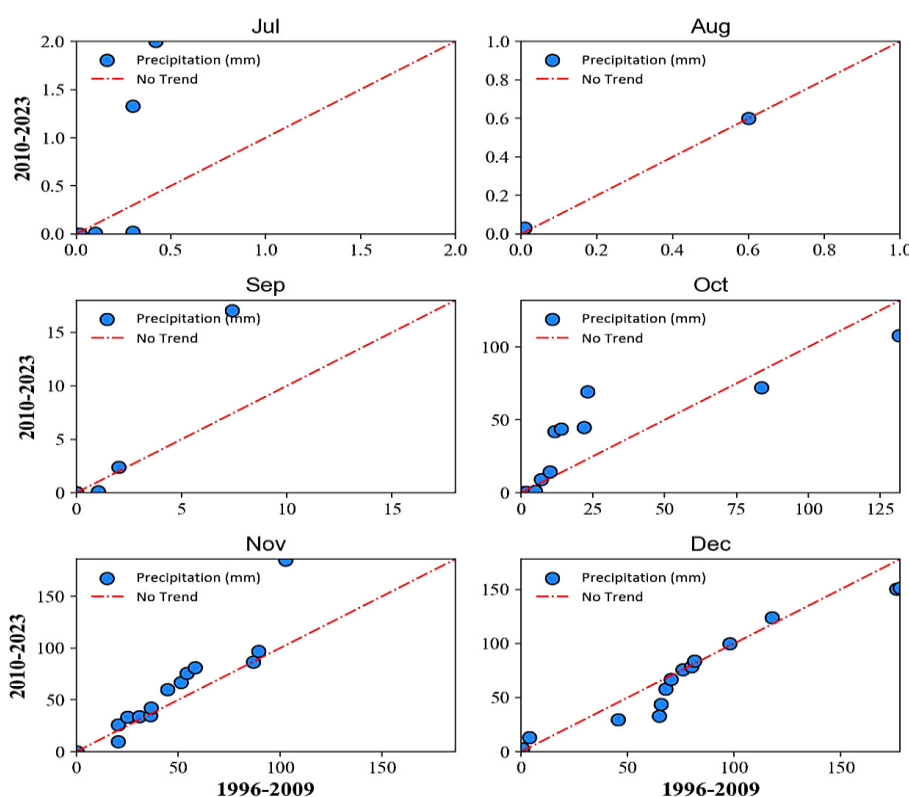
پژوهش حاضر، با هدف ارزیابی جامع و مقایسه‌ای روندهای زمانی ماهانه بارش و دمای ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد در بازه ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۳، بر روی یک نقطه کانونی جدید تمرکز می‌کند. با به‌کارگیری همزمان آزمون ناپارامتری من-کندال و قدرت تفکیک‌کنندگی ITA، هدف اصلی، استخراج روندهای پنهان نایک‌نواخت و ارائه تصویری کامل از



شکل ۳- نمودار ITA بارش ماهانه ۶ ماه اول سال

که میانگین بارش در این دو ماه در دوره اخیر نسبت به دوره پایه کاهش یافته است. این تغییر الگو احتمالاً با افزایش دمای اوایل بهار و تضعیف سامانه مدیترانه‌ای مرتبط است. ماه‌های مه و ژوئن، نمایانگر نوسانات محدود در مقادیر بارش‌اند. تمرکز داده‌ها در ناحیه ی بالای خط بدون روند نشان می‌دهد بارش انتهای بهار اندکی افزایش یافته است، اما به دلیل دامنه کم بارش، این تغییر از نظر هیدرولوژیکی اثر قابل توجهی ندارد.

در شکل ۳، در ماه‌های ژانویه و فوریه، پراکنش نقاط در مجاورت خط بدون روند ($Y=X$) قرار دارند که نشان دهنده‌ی پایداری نسبی بارش‌های زمستانه است. بخش کوچکی از داده‌ها در ناحیه‌ی بالای خط قرار گرفته‌اند و گرایش ضعیفی به افزایش بارش در سال‌های اخیر را القا می‌کنند، هرچند از نشر آماری در سطح ۹۵٪ معنادار نیست. در ماه‌های مارس و آوریل؛ الگوی پراکندگی عمدتاً در سمت زیر خط بدون روند متمرکز است؛ بنابراین، مشخص می‌شود



شکل ۴- نمودار ITA بارش ماهانه ۶ ماه دوم سال

در نهایت، ماه‌های اکتبر تا دسامبر روند کاهشی بارش را نشان می‌دهند. تمرکز داده‌ها در ناحیه زیر خط بدون روند بیانگر کاهش بارش‌های پاییزی طی سال‌های اخیر است. این کاهش با شواهد گرمایش همزمان ماه‌های پایانی سال سازگار بوده و احتمالاً ناشی از کاهش نفوذ سامانه‌های باران‌زای غربی به عرض‌های پایین‌تر است.

در شکل ۴، طی ماه‌های ژوئیه تا سپتامبر، مقادیر بارش بسیار ناچیز بوده و پراکنش نقاط در نزدیکی محور افقی متمرکز است که عملاً بیانگر «عدم وجود روند مشخص» است. صرفاً در ماه سپتامبر چند نقطه بالاتر از خط قرار گرفته‌اند که احتمال آغاز زود هنگام بارش‌های پاییزی را مطرح می‌کند.

تحلیل روند دما :

برای ارزیابی نوسانات و شناسایی روندهای احتمالی در سری‌های دمایی ماهانه، شاخص‌های آماری من-کندال، میانگین دمایی، ضریب تغییرات و چولگی برای هر یک از

ماه‌های سال در جدول ۳ ارائه شده است. تحلیل این مولفه‌ها رفتار و نوسانات دمایی را در مقیاس ماهانه روشن می‌کند.

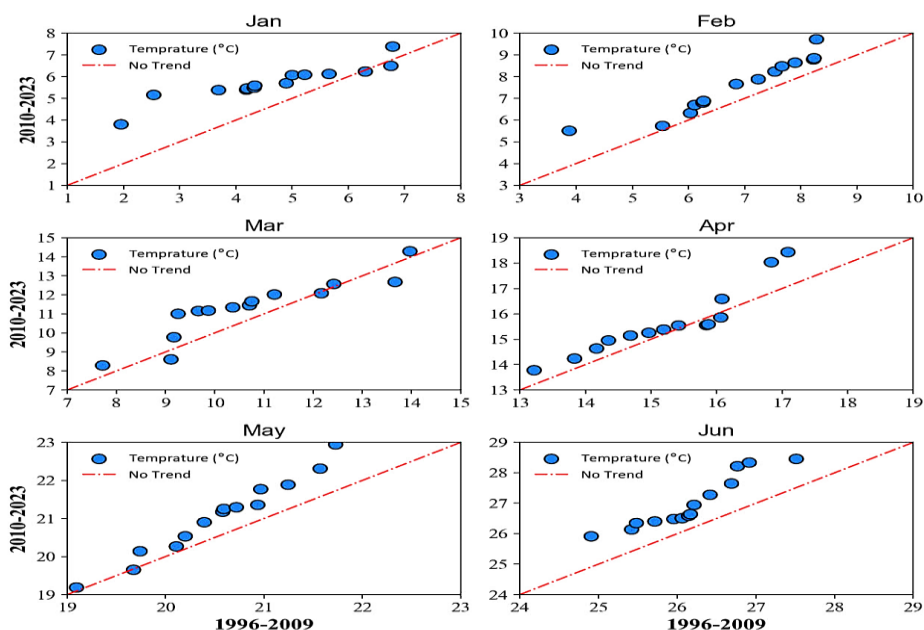
جدول ۳- تحلیل روند دما

چولگی	ضریب تغییرات	میانگین	آماره من-کندال	ماه
-0.8	23.66	5.25	1.26	ژانویه
-0.4	17.7	7.22	2.11	فوریه
0.06	15.22	10.98	1.9	مارس
0.5	8	15.38	0.77	آوریل
0.2	4.48	20.75	2	مه
0.2	3.55	26.51	3.1	ژوئن
0.08	2.93	30	3.32	ژوئیه
0.2	3.84	29.71	2.69	اگوست
0.3	5.12	24.8	3.5	سپتامبر
-0.3	5.92	19.16	1.85	اکتبر
-0.7	8.53	11.66	1.37	نوامبر
0.04	19.45	7.16	1.1	دسامبر
0.4	3.8	17.4	3.4	سالانه

توزیع را به سمت مقادیر سردتر سنگین می‌کند. بر اساس آماره من-کندال روند دماهای تمامی ماه‌های سال صعودی و معنادار بوده است.

با این وجود، به منظور اعتبارسنجی روندها در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر و تفکیک بهتر اثر دوره‌های مختلف بر متغیر ها، تحلیل روند نوآورانه (ITA) به عنوان مکمل برای تحلیل داده‌های دمایی مورد استفاده قرار گرفت. این روش، به دلیل توانایی در ارزیابی همزمان دو دوره آماری مجزا، امکان مقایسه‌ی مستقیم تغییرات ماهانه را فراهم می‌آورد.

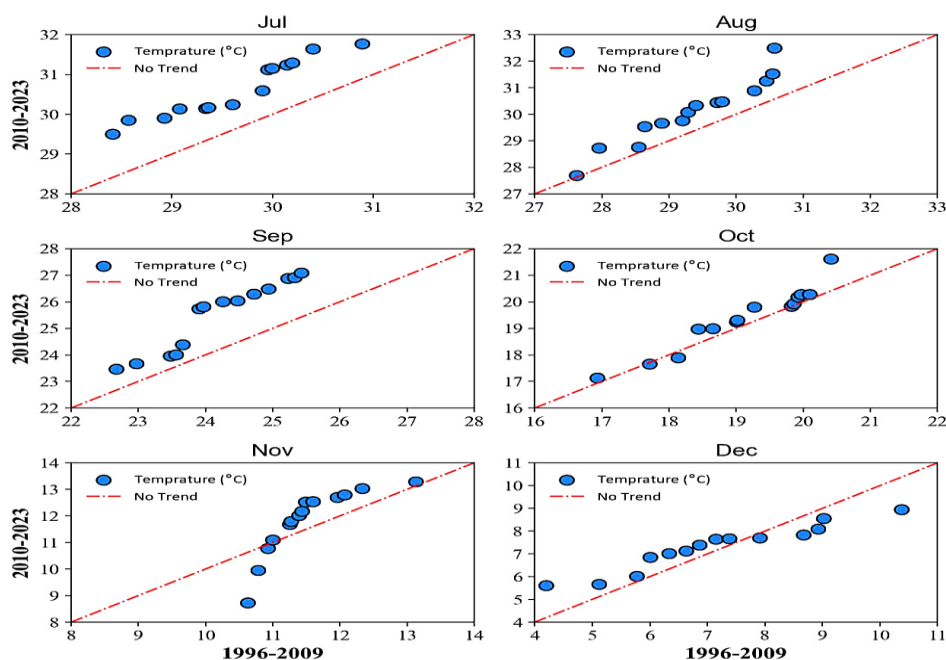
بر اساس داده‌های جدول ۳، ضریب تغییرات (CV) ماهانه دما از ۲/۸٪ تا ۲۳/۲٪ در نوسان است که نشان‌دهنده‌ی درجات متفاوتی از تغییر پذیری نسبی است. مقادیر بالای ضریب تغییرات از جمله ژانویه (۲۳/۲) و دسامبر (۱۹/۱) بیانگر بی‌نظمی و نوسان زیاد دمایی است، در حالی که ماه‌هایی با ضریب تغییرات پایین (مانند مه، ژوئن، جولای) از ثبات بیشتری برخوردارند. چولگی مثبت در اکثر ماه‌ها حاکی از کشیدگی توزیع به سمت مقادیر گرم‌تر است و چولگی منفی در ژانویه، فوریه، اکتبر و نوامبر _ مطابق با الگوی فصلی -



شکل ۵- نمودار ITA دمای ماهانه ۶ ماه اول سال

در مارس و آوریل، گرچه پراکندگی داده‌ها بیشتر است، اما روند افزایشی همچنان پابرجاست. میانگین دما حدود ۰/۸ تا ۱ درجه سانتی گراد افزایش داشته و موجب تشدید تبخیر و خشکی خاک در ماه‌های آغازین فصل رویش شده است.

در شکل ۵، ماه‌های ژانویه و فوریه، تمامی نقاط بالای خط بدون روند قرار گرفته اند که گویای افزایش دمای محسوس زمستانی (حدود ۱ تا ۱/۵ درجه سلسیوس) در دوره اخیر است.



شکل ۶- نمودار دمای ماهانه ۶ ماه دوم سال

در شکل ۶، در ماه‌های می تا سپتامبر، بیشترین افزایش دما را نشان می‌دهند؛ نقاط به صورت متراکم در بالای خط بدون روند واقع شده‌اند که بیانگر افزایش پایدار گرمایش تابستانه است. این افزایش در برخی ماه‌ها تا ۱/۲ درجه سلسیوس برآورد می‌شود و با افزایش تقاضای آبی در بخش کشاورزی هم راستا است.

در ماه‌های اکتبر تا دسامبر نیز داده‌ها بالاتر از خط بدون روند پراکنده‌اند که تداوم گرمایش تا انتهای سال را تایید می‌کند. بیش‌ترین افزایش در دسامبر (حدود ۱/۵ درجه سلسیوس) مشاهده شده است، که احتمال تغییر نوع بارش از برف به باران و کاهش شدت دمای زمستانی را تقویت می‌کند. تحلیل آماری داده‌های بارش و دمای ایستگاه سینوپتیک خرم آباد، الگوهای تغییر آشکاری را در این دو مولفه اقلیمی نمایان ساخت. بارش ماهانه با ضریب تغییرات ۳۰/۴٪ و چولگی مثبت، نوسان شدید و رفتار غیر خطی را نشان داد؛ در حالی که دما با پایداری نسبی (CV = ۳/۷٪) روند افزایشی معنادار

۴- نتیجه‌گیری:

تغییرات اقلیمی به‌عنوان یکی از جدی‌ترین چالش‌های محیط زیستی قرن حاضر، تأثیرات مستقیمی بر مؤلفه‌های هیدروکلیماتیک از جمله رژیم‌های بارش و دما دارد. ارزیابی تغییرپذیری زمانی و مکانی این پارامترها، پیش‌نیاز اساسی برای درک پیامدهای هیدرولوژیک و تدوین راهبردهای انطباقی است. تحلیل روند نوآورانه ITA موید این تغییرات در مقیاس ماهانه است. این روش نشان داد که در حالی که افزایش دمای سالانه روند صعودی و معناداری است که در تمامی فصول، به ویژه زمستان، قابل مشاهده است. در کنار این روند دمایی پایدار، تحلیل مقایسه‌ای دوره ای (۲۰۲۳-۱۹۹۶) شواهدی از تغییر در رژیم بارش ارائه می‌دهد که تحلیل ITA می‌تواند جزئیات دقیق‌تری از آن را روشن سازد. به طور خاص، تضعیف محسوس بارش‌ها در فصول غیر زمستانی (بهار و پاییز) یک الگوی کلیدی را نمایان می‌سازد که این موضوع، علاوه بر کاهش کلی عرضه آب، توزیع زمانی آن را نامناسب‌تر ساخته است.

و یکنواختی طی تمامی ماه‌ها داشته است. مقایسه دوره‌های ۱۹۹۶-۲۰۰۹ و ۲۰۲۳-۲۰۱۰ گویای جابه‌جایی در دامنه بارش‌ها و تغییر رژیم بارندگی منطقه است. الگوهای مشاهده‌شده با گزارش‌های میرمیدی و همکاران (۱۳۹۱) و جمال و همکاران (۱۴۰۰) درباره‌ی تمرکز بارش‌های شدید در زاگرس همخوانی دارند. در مقایسه با پژوهش قدرتی و همکاران (۱۴۰۳) که صرفاً از آزمون من-کندال بهره بردند، نتایج حاضر نشان می‌دهد روش نوآورانه ITA قادر به شناسایی شکست‌های کوتاه‌دوره‌ای و روندهای نایک‌نواخت است؛ یافته‌هایی که میرهاشمی (۱۳۹۹) نیز با تحلیل چندفرکتالی موجب تایید کرد. روش ITA با دقت بالا تغییرات غیر خطی را آشکار کرده و ابزاری موثر برای مناطق پرفراز و نشیب زاگرس محسوب می‌شود. ادامه این پژوهش با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای، مدل‌های اقلیمی و گسترش شبکه ایستگاه‌ها می‌تواند شناخت دقیق‌تری از حلقه‌های زمانی و مکانی نوسانات منطقه فراهم آورد.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که پراکنش زمانی بارش در ماه‌های مختلف از یکنواختی برخوردار نیست و بی‌نظمی قابل‌توجه در فصول بهار و پاییز نسبت به زمستان مشاهده می‌شود. بر اساس محاسبات، ضریب تغییرات (CV) بارش‌های فصلی بیانگر آن است که نوسانات سالانه بارش در بهار و پاییز در منطقه خرم‌آباد حدود ۱٫۵ برابر نوسانات بارش زمستانه است. هم‌چنین، مقادیر ضریب چولگی مثبت و بالاتر در این دو فصل حاکی از عدم تقارن شدیدتر توزیع بارش به سمت مقادیر کمتر از میانگین است. این الگو نشان می‌دهد که در بهار و پاییز، فراوانی وقوع بارش‌های سنگین و فراتر از نرمال، کمتر از رویدادهای زیر میانگین است؛ در نتیجه، بارش در این فصول عمدتاً در قالب رخداد‌های انفرادی و شدید متمرکز شده است. در مورد پارامتر دما، مقادیر ضریب تغییرات و چولگی، الگوی تغییرپذیری و انحراف متفاوتی را نسبت به بارش نشان می‌دهد که مؤید پاسخ مجزای این متغیر به محرک‌های تغییر اقلیم است. ترکیب افزایش معنادار دما و

بارش سالانه، به عنوان عاملی تشدیدکننده، زمینه را برای تثبیت شرایط خشکی و تکرار پدیده خشکسالی در منطقه خرم آباد فراهم ساخته است. در این میان، هرچند آزمون من-کندال در آشکار سازی روندهای بلند مدت موثر است، اما نتایج اخیر نشان می دهد که رویکرد ITA با حساسیت بالاتر نسبت به شکست های مقطعی، می تواند تصویر دقیق تری از ناپیوستگی های زمانی بارش و دما در منطقه ارائه دهد. بنابراین، سیستم منابع آب منطقه تحت فشار مداوم افزایش نیاز و کاهش عرضه قرار گرفته، که این فشار توأم لزوم اتخاذ راهبردهای مدیریتی پیش گیرانه و انطباقی را بیش از پیش ضروری می سازد؛ راهبردی که باید بر اساس درک تغییرپذیری در مقیاس رویداد محور باشد. این امر، کاربرد یافته های روش های پیشرفته تر مانند ITA را در تدوین سناریوهای آینده برای مدیریت خشکسالی، حیاتی می سازد.

کاهش متغیر بارش، به طور مستقیم منجر به افزایش تبخیر-تعرق، کاهش رطوبت خاک، و تشدید خشکسالی شده است. برای مدل سازی دقیق این سناریوی تشدید، باید تغییرات غیر خطی بارش که ITA بر آن تمرکز دارد، به مدل های هیدرولوژیک تزریق شود تا برآوردهای دقیق تری از کسری آب قابل دسترس ارائه گردد.

تحلیل روند بلندمدت با به کارگیری آزمون ناپارامتریک من-کندال آشکار ساخت که روند دمای کلیه ماه های سال روندی صعودی و از نظر آماری معنادار است در مقابل، روند بارش ماهانه اگرچه در اغلب ماه ها جهت کاهشی نشان می دهد، اما این روند فاقد معناداری آماری می باشد. تلفیق این دو روند مخالف، پیامدهای هیدروکلیماتیک عمیقی را برای منطقه به همراه دارد. از یک سو، افزایش مستمر و معنادار دما، احتمال تغییر فاز بارش از برف به باران، تشدید تبخیر-تعرق پتانسیل، کاهش محتوای رطوبتی خاک و افزایش نیاز آبی گیاهان را تشدید می کند. از سوی دیگر، کاهش مشاهده شده در مجموع

5. References

- Ghodrati, Z., Salahi, B., & Saber, M. (2024). Evaluation of trend changes in the frequency of convective precipitation days in northwestern Iran using Mann-Kendall. <https://doi.org/10.22034/jess.2024.423736.2162>
- Hasanvand, Z., Yarahmadi, D., & Mirehashemi, H. (2022). Trend analysis of heavy precipitation in Karkheh and Dez basins. *Physical Geography Research Quarterly*.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods* (4th ed.). Griffin.
- Lanzante, J. R. (1996). Robust non-parametric tests for time series. *Journal of Climate*, 9(6), 1373–1381.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Mirehashemi, H. (2020). Multi-fractal and wavelet analysis of precipitation trends in Khorramabad. *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas* (Spring & Summer). <https://doi.org/10.52547/gsma.2.2.67>
- Mirehashemi, H., Sharafi, S., & Arintabar, H. (2021). Determination of tourism climate calendar and trend analysis based on RayMan and ITA models (Case study: Pol-e Dokhtar County). *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 2(2), 71–89. <https://doi.org/10.52547/gsma.1.4.1>
- Mitchell, J. M. Jr., Dzerdzeevskii, B., Flohn, H., Hofmeyr, W. L., Lamb, H. H., Rao, K. N., & Wallen, C. C. (1966). *Climate change* (Technical Note No. 79). World Meteorological Organization.
- Pandey, S., Jha, S. K., & Singh, V. P. (2017). Climate change impact on streamflow in a Himalayan river basin: A case study of the Kosi River. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 14, 17–30.
- Jamal, P., Borna, R., & Asadian, F. (2021). Analysis of heavy precipitation hazards in Kermanshah Province using Mann-Kendall method (Case study: Kermanshah Province during 1970-2017). *Climatology Research*, (45), 81-96.
- Sen, Z. (2012). Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 1042-1046.
- Sen, Z. (2014). Trend identification simulation and application. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3), 635-642.
- Sirano, M., Tsegaye, D., & Tegegne, A. (1999). A comparison of non-parametric tests for trend in time series. *Journal of Applied Statistics*, 26(2), 203–214.
- Sprenst, P., & Smeeton, N. C. (2006). *Applied nonparametric statistical methods* (4th ed.). Chapman and Hall/CRC.
- Turgay, G., Yilmaz, M. T., & Ersoy, G. (2005). Trend analysis of precipitation data using Mann-Kendall trend test in the Kızılırmak River Basin, Turkey. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 29(3), 169–180.