

Original scientific paper

UDC 551.52 (497.11)
<https://doi.org/10.2298/GSGD2601309Z>

Received: June 26, 2025
Corrected: December 22, 2025
Accepted: March 4, 2026

Milica Živanović^{1*}

** University of Belgrade, Faculty of Geography, Belgrade, Serbia*

TRENDS IN AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION IN VALJEVO (WESTERN SERBIA)

Abstract: Climatological data, such as air temperature and precipitation amounts, represent fundamental parameters for monitoring and analyzing the climate conditions of a given area. Their statistical processing enables a more comprehensive understanding of climate trends and extreme weather events. This study examines trends in mean monthly air temperatures and precipitation totals for the meteorological station in Valjevo, based on data obtained from the Meteorological Yearbooks of the Republic Hydrometeorological Service of Serbia. The objective of the study was to identify trends in the time series of the principal climatological parameters. The non-parametric Mann-Kendall test was applied for statistical analysis. This finding implies that fluctuations in precipitation are more likely attributable to natural interannual variability rather than to systematic changes in climatic conditions. In contrast, trends of varying levels of statistical significance were detected in the time series of mean monthly air temperatures, indicating potential signals of climate change. During the observed time period, there was an increase in temperature, especially during June, July and August, which are also the months with the greatest statistical significance. The obtained results provide a foundation for further investigations of climate change at the local scale and may serve as a basis for the planning and implementation of adaptation measures.

Keywords: air temperature, precipitation, Valjevo, Mann-Kendall test, climate change, meteorological station, climatic parameters

¹ miliczivanovic90@gmail.com (corresponding author)

Introduction

Climate change represents one of the most significant challenges facing the planet in the 21st century, particularly with regard to the increasing concentration of greenhouse gases (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021).

There has been a substantial increase in the number of studies aimed at identifying trends and changes in climatic parameters across different regions of the world. Du et al. (2019) analyzed the temperature response to global warming at both national and regional scales using data from 622 meteorological stations in China. Their findings indicate that during the period 1998-2012, the mean warming rate was 0.2 °C per decade, representing a reduced rate compared to the preceding period 1960-1998, when an increase of 0.4 °C per decade was recorded (Du et al., 2019b). These results highlight the spatial and temporal variability of climatic trends and underscore the need for continuous monitoring and analysis of climate indicators in the context of global climate change.

Tank and Können (2003b), based on data from more than 100 meteorological stations across Europe, identified significant changes in trends of mean air temperature. The period between 1976 and 1999 was characterized by pronounced warming, which, according to their findings, was primarily driven by an increase in the intensity of warm extremes rather than by a decrease in cold extremes (Tank & Können, 2003b). During the 20th century, temperatures increased across numerous European regions (Trajković & Kolaković, 2009; Gocić & Trajković, 2012; Hegerl et al., 2018; Bačević et al., 2021; Čegar et al., 2023). Based on comprehensive climate analyses, it has been determined that summer air temperatures in Europe during the period 1986-2015 were the highest in the past two millennia and substantially exceeded the bounds of natural variability (Luterbacher et al., 2016).

In Serbia, a statistically significant increase in mean temperatures has been recorded since 1975 (Unkašević & Tošić, 2011). An analysis of temperature extremes based on data from 15 meteorological stations for the period 1949-2009 indicates a pronounced upward trend in air temperature over the past six decades (Unkašević & Tošić, 2013). Similar findings, confirming these changes in climatic conditions, have been reported in earlier studies addressing the climate of Serbia (Gavrilov et al., 2010b; Tošić et al., 2013; Milentijević et al., 2018). The application of GIS-based analysis in combination with numerical methods has proven to be an efficient and precise approach for the quantitative estimation and modeling of climatic parameters (Valjarević et al., 2018).

The aim of this study is to identify and analyze trends in temperature and precipitation at the monthly scale for the Valjevo area during the period 1961-2020, using the Mann-Kendall test. Studies of this type enable the detection of potential long-term climate changes, which is crucial for planning adaptation measures in environmental protection, agriculture, water resource management, and related sectors.

Materials and Methods

Study Area

The study area includes data from the Valjevo meteorological station ($\varphi = 44^{\circ}19'$, $\lambda = 19^{\circ}55'$) in Western Serbia. The Valjevo station is situated at an elevation of 176 m above sea level.

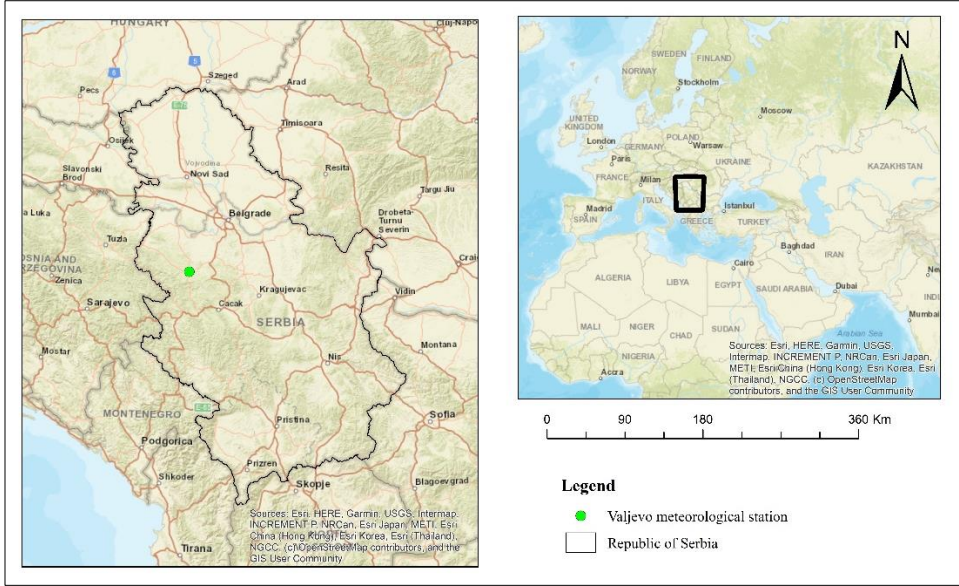


Fig. 1. Location of the Valjevo meteorological station

The climatic characteristics of this area are significantly influenced by three dominant orographic units: the Pannonian Plain, the Dinarides, and the Carpathian-Balkan Mountains. During the colder part of the year, Arctic continental air masses penetrate through the Pannonian Plain, while the Dinarides and Carpathian-Balkan Mountains act as significant orographic barriers that reduce the penetration and influence of these air masses. In the warmer part of the year, continental tropical air masses originating from North Africa contribute to high summer temperatures (Ducić and Radovanović, 2005). The climatic characteristics of this area are primarily defined by the influence of a temperate continental and continental climate. According to the Köppen classification, most of Central Serbia falls under the Cfa climate type (average temperature of the warmest month above 20 °C and of the coldest month above -3 °C), while mountainous regions above 1500 meters above sea level exhibit the Dfa climate type (average temperature of the warmest month below 20 °C and of the coldest month below -3 °C) (Radinović, 1981; Bačević et al., 2021).

Method

The Mann-Kendall test (Mann, 1945; Kendall, 1975) is a statistical method used to assess the degree of agreement among multiple raters or rankings of the same set of items. It is particularly useful in contexts where several evaluators assess the same subjects, aiming to determine the consistency of their evaluations and the extent of concordance among them (Kendall, 1938). As a non-parametric test, it does not rely on specific assumptions regarding the underlying data distribution, making it especially suitable for use with non-linear or non-normally distributed data (Siegel & Castellan, 1988). A minimum of ten time series is required for the reliable application of the test. Accordingly, the Mann-Kendall test enables the assessment of agreement in situations where evaluations are expressed as ranks rather than as precise numerical values. This method has gained considerable popularity due to its simplicity, robustness, and capacity to accommodate incomplete data, as well as values that fall below the detection limit. Because of these attributes, the test is widely applicable across a broad range of scientific research fields (Savić, 2009; Kričković, 2022; Kričković et al., 2024; Kendall & Stuart, 1967).

Fundamentally, this test assumes that the time series x_i follows the model:

$$y = f(x_i) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Here, $f(x)$ represents a constant linear trend (either increasing or decreasing) over time, while ε_i denotes random errors. These errors are assumed to have a mean of zero ($E(\varepsilon_i) = 0$) and a distribution that remains stable over time (Savić, 2009; Kričković, 2022).

When applying the Mann-Kendall test, two hypotheses are defined: the null hypothesis (H_0), which states that there is no significant trend in the analyzed data series, and the alternative hypothesis (H_1), which asserts that a trend does exist. To determine whether the trend is statistically significant, a 95% confidence level is used, i.e., $\alpha = 0.05$. For this study, the statistical software package XLSTAT was used (Savić, 2009; Kričković, 2022).

The Mann-Kendall test can be applied in cases where it can be assumed that the values x_i of the time series follow the model below (Kričković et al., 2023; Gavrilov et al., 2015; Kričković et al., 2024).

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (2)$$

where $\text{sign}(x_i - x_j)$

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1, & \text{for } x_i - x_j > 0 \\ 0, & \text{for } x_i - x_j = 0 \\ -1, & \text{for } x_i - x_j < 0 \end{cases} \quad (3)$$

The S statistic approaches normality for most values of n , with its mean and variance defined as follows (Kričković et al., 2023; Kričković et al., 2024):

$$E(S) = 0 \quad (4)$$

$$V(S) = 1/18 \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (5)$$

where n is the length of the time series, t_p is the number of ties for the p^{th} value, and q is the number of tied values (i.e., identical values). The second term accounts for adjustments due to tied or censored data. The standardized test statistic Z is given by (Mann, 1945; Gavrilov et al., 2015; Kričković et al., 2023; Kričković et al., 2024):

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S > 0, \\ 0 & \text{if } S = 0, \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S < 0, \end{cases} \quad (6)$$

The presence of a statistically significant trend is evaluated using the Z -statistic, which tests the null hypothesis that no trend exists in the analyzed time series (Kričković et al., 2023; Gavrilov et al., 2015; Kričković et al., 2024). A positive Z value indicates an increasing trend, while a negative Z value suggests a decreasing trend (Helsel & Hirsch, 2002; Westra et al., 2013; Pohlert, 2015; Kričković et al., 2023; Gavrilov et al., 2015; Kričković et al., 2024). The test is based on the assumption of a monotonic trend within the time series. The test statistic is used to evaluate the null hypothesis (Kendall, 1975).

One of the key advantages of the Mann–Kendall test is its robustness to outliers and its capacity to handle both small and large datasets, which is particularly relevant in climatological studies (Hirsch et al., 1984). This property makes it a reliable tool for detecting trends in datasets that may be influenced by extreme events, as it does not rely on the assumption of normality.

One of the main challenges in applying the Mann-Kendall test is accounting for seasonality and potential non-stationarity in climatological data. Seasonal variations can introduce bias into trend analyses, and the Mann-Kendall test may not adequately capture these periodic fluctuations if seasonality is not explicitly incorporated into the model. To overcome this limitation, some researchers have employed modified versions of the Mann-rhmKendall test that adjust for both seasonality and non-stationary data (Burn & Hag Elnur, 2002). These adaptations may be particularly valuable for future studies focused on seasonal or regional climatological trends.

The data source consists of the annual reports of the Republic Hydrometeorological Service of Serbia (RHSS (1961-2020), 2022) for the Valjevo automatic meteorological station.

Results

Air temperature

The warmest year within the observed period was 2019, with an average temperature of 13.4 °C, whereas the coldest year was 1980, with an average of 9.9 °C (RHSS (1961-2020), 2022). The average annual air temperature in Valjevo during the period 1961-2020 was 11.4 °C. The warmest month on average was July, with a mean temperature of 21.6 °C, while the coldest was January, with a mean temperature of 0.3 °C (Table 1).

Table 1. Mean Annual and Monthly Temperatures in Valjevo (1961–2020)

Month	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T _A (°C)	0.3	2.5	6.7	11.6	16.4	19.9	21.6	21.3	16.9	11.7	6.5	1.9

Source: Republic Hydrometeorological Service of Serbia, Meteorological yearbooks 1961–2020 (RHSS (1961–2020), 2022)

The most significant statistical results are presented and highlighted in Table 2. The key parameters of the Mann–Kendall test used for trend analysis of air temperature and precipitation in the study area include: Z – the standardized test statistic; α – the level of significance ($+\alpha = 0.1$; $*\alpha = 0.05$; $**\alpha = 0.01$; $***\alpha = 0.001$; / – not significant); and b – the so-called Sen's slope (see Table 2).

The results of the Mann–Kendall test for mean monthly air temperature values (Table 2) are as follows. January air temperatures show a statistically significant increasing trend (0.04°C per year) at the $\alpha = 0.05$ significance level. Similar tendencies are observed in March (0.03°C per year) and May (0.02°C per year). In February, an increase in air temperature was detected; however, the trend is not statistically significant. The most pronounced increase in mean monthly air temperature is recorded during the summer months. The results indicate an increase of 0.04°C per year in June, 0.05°C per year in July, and 0.07°C per year in August. All of these changes are statistically significant at the $\alpha = 0.001$ level. Therefore, August exhibits the largest increase in the annual course of air temperature. The increase in air temperature in September (0.02°C per year) is statistically significant at the $\alpha = 0.1$ level. Air temperatures in October and December also show an increasing trend. Although the positive changes observed in October and December are statistically significant, they are less pronounced than in August. The increase in air temperature in November is not statistically significant.

Table 2. Results of the Mann–Kendall (MK) Test for Trends in Monthly Air Temperatures in Valjevo for the Period 1961–2020

Temperature				
Month	Z	α	Q	B
January	2.48	*	0.0463	-1.20
February	1.43	/	0.0314	1.73
March	2.37	*	0.0369	5.53
April	2.67	**	0.0341	10.6
May	2.21	*	0.0262	15.7
June	3.91	***	0.0421	18.4
July	5.29	***	0.0520	20.0
August	5.12	***	0.070	19.2
September	1.90	+	0.0268	16.0
October	2.80	**	0.0344	10.7
November	1.04	/	0.0155	6.54
December	3.25	**	0.050	0.575

α – level of statistical significance; $+\alpha = 0.1$; $*\alpha = 0.05$; $**\alpha = 0.01$; $***\alpha = 0.001$; / – not statistically significant; b – Sen's slope estimator

A graphical representation is provided below to visually illustrate the results presented in Table 2.

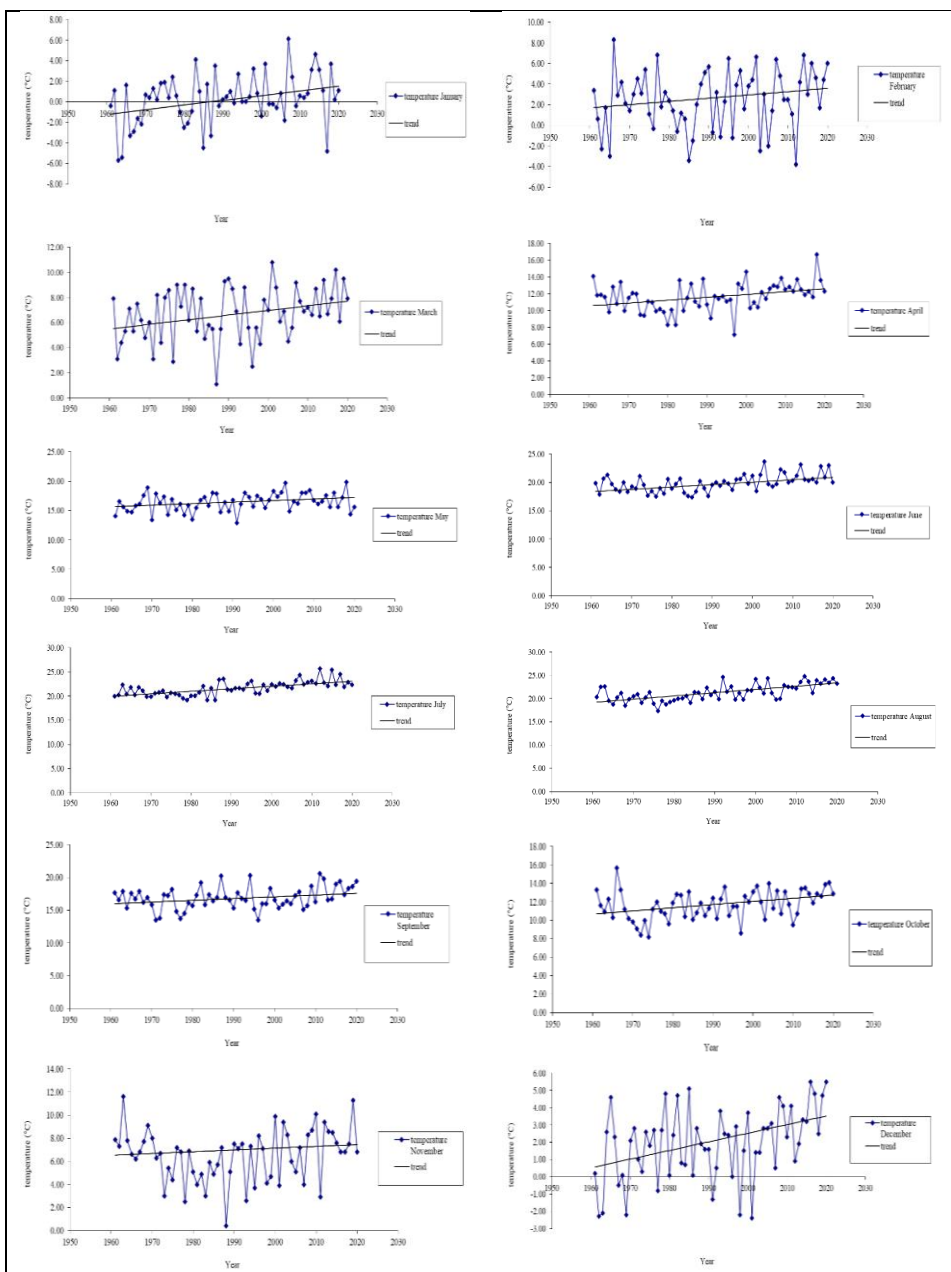


Fig. 2. Results of the Mann–Kendall (MK) Test for Monthly Air Temperatures in Valjevo for the Period 1961–2020

The research results showed that January, March, and May detect a trend at the significance level $\alpha = 0.05$, the test probability is 95%. The increase in temperature in April, October, and December is statistically significant at the $\alpha = 0.01$ level, while the test probability is 99%. During June, July, and August, the trend is at the significance level $\alpha = 0.001$

with a probability of 99.9%, while in September, $\alpha = 0.10$, the test probability is 90%. February and November are months in which there is no trend.

Based on the magnitude of the detected trend, it is possible to characterize climate change, that is, to estimate the average changes in the values of the analyzed climatic variables. The results of the time-series analysis indicate a clear increasing trend in mean monthly air temperatures in the broader area of the Valjevo meteorological station, consistent with globally observed warming trends.

Precipitation

During the period 1961-2020, the average annual precipitation in Valjevo was 787.1 mm. Based on monthly averages, the highest precipitation occurs in June (101.4 mm), while February has the lowest monthly total, with an average of only 45.8 mm (Table 3) (RHSS (1961-2020), 2022).

Table 3. Mean Precipitation Amounts in Valjevo (1961–2020)

Month	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Average Precipitation (mm)	49.4	45.8	54.0	61.7	85.9	101.4	79.5	69.7	62.0	57.4	59.8	60.3

Source: Republic Hydrometeorological Service of Serbia, Meteorological yearbooks 1961–2020 (RHSS (1961-2020), 2022)

Table 4. Results of the Mann–Kendall (MK) Test for Trends in Monthly Precipitation in Valjevo for the Period 1961–2020

Precipitation				
Month	Z	α	Q	B
January	0.98	/	0.153	39.90
February	1.55	/	0.333	35.40
March	0.78	/	0.227	46.30
April	-1.45	/	0.275	67.50
May	0.62	/	0.243	66.50
June	0.21	/	0.069	98.40
July	-1.35	/	-0.401	85.60
August	0.18	/	0.058	57.80
September	-0.17	/	-0.056	60.40
October	1.43	/	0.376	31.30
November	-1.10	/	0.270	64.40
December	-0.01	/	-0.002	57.50

α - level of statistical significance; $+\alpha = 0.1$; $*\alpha = 0.05$; $**\alpha = 0.01$; $***\alpha = 0.001$; / – not statistically significant; b - Sen's slope estimator

The following figure provides a graphical representation visually illustrating the results presented in Table 4.

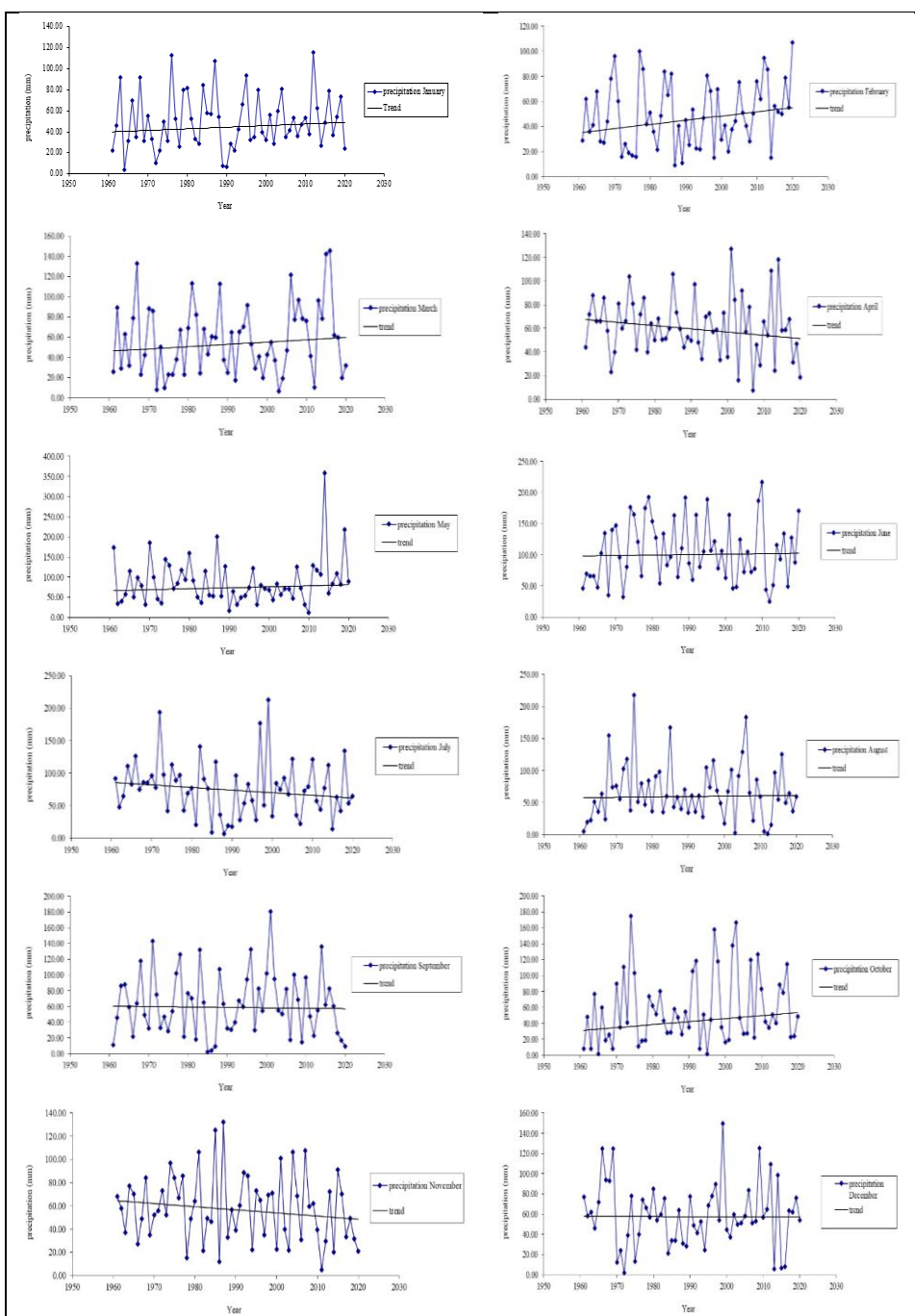


Fig. 3. Results of the Mann-Kendall (MK) Test for Monthly Air Temperatures in Valjevo for the Period 1961-2020

Based on the values presented in Table 4, it can be concluded that there is no significant trend in the analyzed data series.

Discussion

The results of this study are in line with other studies. Vyshkvarkova & Sukhonos (2022) analyzed the spatial distribution of extreme temperatures and precipitation in Eastern Europe and found positive and statistically significant trends for warm extremes throughout all seasons, with the highest values recorded in winter. In contrast, cold extremes exhibited negative trends, indicating a decline over the studied period. Recent studies (Twardosz et al., 2021) show that the European continent still experiences periods of exceptionally cold winter months, reflecting the complexity and spatial heterogeneity of global warming processes (Hegerl et al., 2018; Krauskopf & Huth, 2019; Čegar et al., 2023).

Branković et al. (2013) found that positive trends in mean annual temperature in the Republic of Croatia are primarily driven by statistically significant increases in temperatures during the summer months. The most pronounced warming trends were observed in summer, followed by winter and spring.

The results obtained are similar to those reported by Gocic and Trajkovic (2012b), whose study indicated a significant increase in temperatures in the northern, central, and eastern regions of the Republic of Serbia. Malinovic-Milicevic et al. (2015) analyzed the continuous annual rise in daily maximum temperatures in Belgrade and Niš during the period 1974–2003.

Related to this study is the research by Milanovic-Pesic and Milovanovic (2016), which applied the same methodology to analyze temperature changes in the Šumadija region for the period 1961–2010. Their study indicated a statistically significant increasing trend in annual temperatures at almost all analyzed meteorological stations. In Serbia, trends in increasing air temperature are also indicated by research by Gavrilov et al. (2015; 2016; 2017). Similar results were obtained in the study by Sedlak et al. (2024), which indicates a statistically significant positive trend in mean annual temperatures at all observed meteorological stations in eastern Serbia.

Luković et al. (2013) analyzed precipitation trends in Serbia for the period 1961–2009. The results indicate the absence of a statistically significant trend in total annual precipitation at the national level. However, at the seasonal scale, slight tendencies were observed toward a decrease in precipitation during winter and spring, and an increase during autumn. The central region of Serbia stands out in particular, where a significant rise in autumn precipitation was recorded, primarily due to a pronounced increase in October rainfall.

Popov and Svetozarevich (2021) analyzed trends in annual precipitation using data from 15 meteorological stations in the Republic of Serbia. During the period 1991–2019, the smallest increases in precipitation were recorded at the stations in Belgrade, Novi Sad, and Zrenjanin. In contrast, the most pronounced upward trends were observed at the Kopaonik station (84.5 mm per decade) and the Crni Vrh station (70.1 mm per decade).

As part of its climate policy, the Government of the Republic of Serbia has developed an Adaptation Program for Changed Climate Conditions for the period 2023–2030, aimed at reducing greenhouse gas emissions and increasing energy efficiency. In addition, Serbia is a party to the Paris Agreement and has committed to reducing greenhouse gas emissions. The country has also adopted a Climate Change Adaptation Action Plan, which includes

measures for agricultural adaptation, energy efficiency, and ecosystem protection (Adaptation Program for Changed Climate Conditions for the Period 2023-2030, "Official Gazette of the RS", No. 119).

Although this test is a powerful tool for detecting linear trends, future research could benefit from its integration with complementary approaches, such as time-series decomposition, machine learning models, or physically based climate models. These approaches could provide deeper insights into the drivers of observed trends and enhance predictive capabilities. Furthermore, expanding the spatial and temporal coverage of studies using the Mann-Kendall test, as well as incorporating high-resolution climate data, could yield more comprehensive assessments of regional and local climate variability (Hamed & Ramachandra Rao, 1998).

Conclusion

Climate change represents a global phenomenon manifested through alterations in temperature regimes, precipitation patterns, the frequency and intensity of extreme weather events, and rising sea levels. Global warming and climate change are increasingly affecting countries worldwide, including the Republic of Serbia. These changes influence not only climatic conditions but also biological systems, agriculture, public health, energy security, and economic stability. In addition, they may significantly affect the hydrological balance and the generation of renewable energy, particularly from hydropower plants. The application of appropriate methodological approaches for the analysis of climatic parameters in Serbia enables the accurate identification of statistically significant trends in temperature and precipitation time series, as well as in the assessment of extreme weather events. Based on the findings of numerous studies, it can be concluded that over the past several decades there has been a clear trend of increasing temperatures, decreasing precipitation, and a rising frequency of extreme weather events. These changes exert significant pressure on natural systems and society, underscoring the urgent need to develop and implement effective adaptation and mitigation strategies to address the impacts of climate change. The Mann-Kendall test represents a highly valuable tool in the analysis of climatic data, as it enables researchers to assess the consistency and robustness of trends across different temperature and precipitation datasets, as well as among various climate projection models.

It is necessary to undertake a more comprehensive and interdisciplinary analysis of the climatic factors that have shaped the current climatic characteristics of the study area. This study aims to contribute to a more in-depth understanding of ongoing climate change across the territory of Serbia. In this context, continuous monitoring of climatic changes is essential to ensure an accurate assessment of their potential economic and societal impacts.

An increase in the frequency of heatwaves may lead to significant health risks, particularly among elderly populations and individuals with cardiovascular diseases. Changes in temperature and precipitation patterns threaten both flora and fauna, especially species that are highly sensitive to climatic variability and change. Given the complexity of climate change and its far-reaching consequences, addressing this issue requires intensive interdisciplinary collaboration. Meteorologists, climatologists, hydrologists, geographers, ecologists, agronomists, as well as experts in public health, urban planning, and the energy sector, must work jointly to integrate datasets, interpret findings, and develop tailored adaptation measures.

Interdisciplinary collaboration enables a more comprehensive understanding of climatic processes, facilitates the identification of vulnerable sectors and populations, and enhances risk

management strategies. The development of integrated databases, joint case studies, and the planning of locally tailored measures should result from continuous communication and coordination among the scientific community, institutions, and decision-makers.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Publisher's Note: Serbian Geographical Society stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

© 2026 Serbian Geographical Society, Belgrade, Serbia.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Serbia.

References

- Bačević, N. R., Milentijević, N. M., Valjarević, A., Gicić, A., Kićović, D., Radaković, M. G., Nikolić, M., & Pantelić, M. (2021b). Spatiotemporal variability of air temperatures in Central Serbia from 1949 to 2018. *Időjárás*, 125(2), 229–253. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.2.4>
- Branković, Č., Güttler, I., & Gajić-Čapka, M. (2013). Evaluating climate change at the Croatian Adriatic from observations and regional climate models' simulations. *Climate Dynamics*, 41(9–10), 2353–2373. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1646-z>
- Burn, D. H., & Hag Elnur, M. A. (2002). Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology*, 255(1–4), 107–122. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00514-5](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00514-5)
- Čegar, N., Durlević, U., Dobrić, M., & Vukašinović, S. (2023). A statistical analysis of temperature and precipitation in Belgrade, Serbia (1961–2020). *Forum Geografic*, 22(1), 5–15. <https://doi.org/10.5775/fg.2023.090.i>
- Du, Q., Zhang, M., Wang, S., Che, C., Ma, R., & Ma, Z. (2019). Changes in air temperature over China in response to the recent global warming hiatus. *Journal of Geographical Sciences*, 29(4), 496–516. <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1612-3>
- Ducić, V., & Radovanović, M. (2005). *Klima Srbije*. ZUNS.
- Gavrilov, M. B., Lazić, L., Pešić, A., Milutinović, M., Marković, D., Stanković, A., & Gavrilov, M. (2010b). Influence of hail suppression on the hail trend in Serbia. *Physical Geography*, 31(5), 441–454. <https://doi.org/10.2747/0272-3646.31.5.441>
- Gavrilov, M., Markovic, S., Jarad, A., & Korac, V. (2015). The analysis of temperature trends in Vojvodina (Serbia) from 1949 to 2006. *Thermal Science*, 19(2), 339–350. <https://doi.org/10.2298/tsci150207062g>
- Gavrilov, M. B., Tošić, I., Marković, S. B., Unkašević, M., & Petrović, P. (2016). Analysis of annual and seasonal temperature trends using the Mann-Kendall test in Vojvodina, Serbia. *Időjárás*, 120(2), 183–198.
- Gavrilov, M. B., Marković, S. B., Janc, N., Nikolić, M., Valjarević, A., Komac, B., Zorn, M., Punišić, M., & Bačević, N. (2017). Assessing average annual air temperature trends using the Mann-Kendall test in Kosovo. *Acta Geographica Slovenica*, 58(1). <https://doi.org/10.3986/ags.1309>
- Gocic, M., & Trajkovic, S. (2012). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100, 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>
- Government of the Republic of Serbia (2023). *Program for Adaptation to Changed Climate Conditions for the Period from 2023 to 2030* ("Official Gazette of the Republic of Serbia," No. 119).

- Hamed, K. H., & Ramachandra Rao, A. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for auto-correlated data. *Journal of Hydrology*, 204(1-4), 182-196. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X)
- Hegerl, G. C., Brönnimann, S., Schurer, A., & Cowan, T. (2018). The early 20th century warming: Anomalies, causes, and consequences. *Wiley Interdisciplinary Reviews Climate Change*, 9(4). <https://doi.org/10.1002/wcc.522>
- Helsel, D. R., & Hirsch, R. M. (2002). *Statistical methods in water resources* (Book 4, Hydrologic analysis and interpretation, Chapter A3). Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey. USGS. <https://doi.org/10.3133/tm4A3>
- Hirsch, R. M., & Slack, J. R. (1984). A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*, 20(6), 727-732. <https://doi.org/10.1029/WR020i006p00727>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). Climate change 2021: The physical science basis. *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Kendall, M. G. (1938). A new measure of rank correlation. *Biometrika*, 30(1-2), 81-93.
- Kendall, M. G., & Stuart, A. (1967). *The advanced theory of statistics*. Griffin.
- Kendall, M. G. (1975). *Kendall rank correlation methods*. Griffin.
- Krauskopf, T., & Huth, R. (2019). Temperature trends in Europe: comparison of different data sources. *Theoretical and Applied Climatology*, 139, 1305-1316. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03038-w>
- Kričković, E. S. (2022). The influence of geographical and medical factors on the health of the population of AP Vojvodina [PhD thesis, University of Belgrade, Faculty of Geography].
- Kričković, E., Lukić, T., & Jovanović-Popović, D. (2023). Geographic medical overview of non-communicable diseases (cardiovascular diseases and diabetes) in the territory of the AP Vojvodina (Northern Serbia). *Healthcare*, 11(1), 48. <https://doi.org/10.3390/healthcare11010048>
- Kričković, E., Lukić, T., Srejić, T., Stojić-Milosavljević, A., Stojanović, V., & Kričković, Z. (2024). Spatial-temporal and trend analysis of traffic accidents in AP Vojvodina (North Serbia). *Open Geosciences*, 16(1), Article 20220630. <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0630>
- Luković, J., Bajat, B., Blagojević, D., & Kilbarda, M. (2013). Spatial pattern of recent rainfall trends in Serbia (1961-2009). *Regional Environmental Change*, 14(5), 1789-1799. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0459-x>
- Luterbacher, J., Werner, J. P., Smerdon, J. E., Fernández-Donado, L., González-Rouco, F. J., Barriopedro, D., Ljungqvist, F. C., Büntgen, U., Zorita, E., Wagner, S., Esper, J., McCarroll, D., Toreti, A., Frank, D., Jungclaus, J. H., Barriendos, M., Bertolin, C., Bothe, O., Brázdil, R., ... Zerefos, C. (2016). European summer temperatures since Roman times. *Environmental Research Letters*, 11(2), 024001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/2/024001>
- Malinovic-Milicevic, S., Radovanovic, M. M., Stanojevic, G., & Milovanovic, B. (2015). Recent changes in Serbian climate extreme indices from 1961 to 2010. *Theoretical and Applied Climatology*, 124(3-4), 1089-1098. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1491-1>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245-259.
- Milanovic-Pesic, A., & Milovanovic, B. (2016). Thermic regime and air temperature trends in Sumadija region (Serbia). *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic SASA*, 66(1), 19-34. <https://doi.org/10.2298/ijgi1601019m>

- Milentijevic, N., Dragojlovic, J., Cimbalevic, M., Ristic, D., Kalkan, K., & Buric, D. (2018). Analysis of equivalent temperature - case of Kragujevac city. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 98(1), 61–77. <https://doi.org/10.2298/gsgd180225003m>
- Pohlert, T. (2015). Trend: Non-parametric trend tests and change-point detection (R package version 0.0.1). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2633.4243>
- Popov, H., & Svetozarevich, J. (2021). Changes and contemporary trends in the annual amounts of precipitation in Serbia. *Journal of the Bulgarian Geographical Society*, 44, 73–79. <https://doi.org/10.3897/jbgs.e77102>
- Radinović, Đ. (1981). *Vreme i klima Jugoslavije*. IRO “Građevinska knjiga”.
- Republic Hydrometeorological Service of Serbia (2022). Meteorological yearbook - climatological data 1961-2020.
- Savić, S. (2009). *Analysis of the extreme temperature characteristics in Vojvodina in the period 1951-2000* [PhD thesis, University of Novi Sad. Faculty of Sciences. Department of Geography, Tourism and Hotel Management].
- Sedlak, M., Srejić, T., & Manojlović, S. (2024). Air temperature trends in Eastern Serbia. *Book of abstracts of the International Conference “Milanković’s theory of climate changes-hundred years afterwards”*, Association Milutin Milanković.
- Siegel, S., & Castellan, N. J. (1988). *Nonparametric statistics for the behavioral sciences* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Tank, A. M. G. K., & Können, G. P. (2003). Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99. *Journal of Climate*, 16(22), 3665–3680. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016)
- Tošić, I., Hrnjak, I., Gavrilov, M. B., Unkašević, M., Marković, S. B., & Lukić, T. (2013). Annual and seasonal variability of precipitation in Vojvodina, Serbia. *Theoretical and Applied Climatology*, 117(1–2), 331–341. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-1007-9>
- Trajkovic, S., & Kolakovic, S. (2009). Wind-adjusted Turc equation for estimating reference evapotranspiration at humid European locations. *Hydrology Research*, 40(1), 45–52. <https://doi.org/10.2166/nh.2009.002b>
- Twardosz, R., Walanus, A., & Guzik, I. (2021). Warming in Europe: Recent Trends in Annual and Seasonal temperatures. *Pure and Applied Geophysics*, 178(10), 4021–4032. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02860-6>
- Unkašević, M., & Tošić, I. (2011). The maximum temperatures and heat waves in Serbia during the summer of 2007. *Climatic Change*, 108(1–2), 207–223. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-0006-4>
- Unkašević, M., & Tošić, I. (2013). Trends in temperature indices over Serbia: relationships to large-scale circulation patterns. *International Journal of Climatology*, 33(15), 3152–3161. <https://doi.org/10.1002/joc.3652>
- Valjarević, A., Djekić, T., Stevanović, V., Ivanović, R., & Jandziković, B. (2018). GIS numerical and remote sensing analyses of forest changes in the Toplica region for the period of 1953–2013. *Applied Geography*, 92, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.01.016>
- Vyshkvarkova, E., & Sukhonos, O. (2022). Compound extremes of air temperature and precipitation in eastern Europe. *Climate*, 10(9), Article 133. <https://doi.org/10.3390/cli10090133>
- Westra, S., Alexander, L. V., & Zwiers, F. W. (2013). Global increasing trends in annual maximum daily precipitation. *Journal of Climate*, 26(11), 3904–3918. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00502.1>
- World Meteorological Organization (WMO). (2022). Annual Report. World Meteorological Organization. <https://public.wmo.int>

Оригинални научни рад

UDC 551.52 (497.11)

<https://doi.org/10.2298/GSGD2601309Z>

Примљено: 26. јуна, 2025

Исправљено: 22. децембра, 2025

Прихваћено: 4. март, 2026

Милица Живановић^{1*}

** Географски факултет Универзитета у Београду, Београд, Србија*

ТРЕНДОВИ ТЕМПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА И ПАДАВИНА У ВАЉЕВУ (ЗАПАДНА СРБИЈА)

Апстракт: Климатолошки подаци, као што су температура ваздуха и количина падавина, представљају основне параметре за праћење и анализу климатских услова једног подручја, а њихова статистичка обрада омогућава боље разумевање климатских трендова и екстремних појава. У овом раду анализирани су трендови просечних месечних температура ваздуха и количина падавина за метеоролошку станицу Ваљево, на основу података добијених из метеоролошких годишњака Републичког хидрометеоролошког завода Србије. Циљ истраживања био је идентификација трендова у временским серијама основних климатолошких параметара. За статистичку анализу коришћен је непараметарски Mann-Kendall тест. Резултати анализе указују на изостанак статистички значајног тренда у серијама просечних месечних количина падавина, што указује на то да у посматраном периоду (1961-2020. година) није забележен јасан пораст или пад количина падавина. Насупрот томе, у серијама просечних месечних температура ваздуха уочени су трендови различитих нивоа статистичке значајности, што упућује на потенцијалне сигнале климатских промена. У посматраном временском периоду дошло је до повећања температуре, посебно током јуна, јула и августа месеца, а то су уједно и месеци са највећом статистичком значајношћу. Добијени резултати представљају основу за даља истраживања климатских промена на локалном нивоу и могу послужити у процесу планирања адаптационих мера.

Кључне речи: температура ваздуха, падавине, Ваљево, Mann-Kendall тест, климатске промене, метеоролошка станица, климатски параметри

¹ milicazivanovic90@gmail.com (аутор за кореспонденцију)

Увод

Климатске промене су један од највећих изазова с којима се суочава читава планета у 21. веку, а посебно у погледу повећане концентрације гасова са ефектом стаклене баште (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021). Значајно је повећан број истраживања усмерених на идентификацију трендова и промена климатских параметара у различитим деловима света. Du et al. (2019) су, користећи податке са 622 метеоролошке станице у Кини, анализирали температурни одговор на глобално загревање на националном и регионалном нивоу. Установљено је да је у периоду од 1998. до 2012. године просечна стопа пораста температуре износила $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ по деценији, што представља смањену динамику у односу на претходни период од 1960. до 1998. године, у којем је забележено повећање од $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ по деценији (Du et al., 2019b). Ови резултати указују на просторну и временску варијабилност климатских трендова, као и на потребу за континуираним праћењем и анализом климатских индикатора у контексту глобалних климатских промена.

Tank and Können (2003b) су, на основу података са преко 100 метеоролошких станица широм Европе, утврдили значајне промене у трендовима средњих температура ваздуха. Период између 1976. и 1999. године обележен је интензивним загревањем, које је, према њиховим резултатима, превасходно последица интензитета топлих екстрема, а не смањења хладних екстрема (Tank & Können, 2003b). У 20. веку, дошло је до пораста температуре у бројним европским регионима (Trajković & Kolaković, 2009; Gocić & Trajković, 2012; Hegerl et al., 2018; Bačević et al., 2021, Čegar et al., 2023). На основу спроведених климатских анализа, утврђено је да су летње температуре ваздуха у Европи у периоду од 1986. до 2015. године највише у последњих 2000 година, као и да знатно превазилазе оквире природне варијабилности (Luterbacher et al., 2016).

У Србији је забележен статистички значајан пораст просечних температура након 1975. године (Unkašević and Tošić, 2011). Анализа података о температурним екстремима са 15 метеоролошких станица за период од 1949. до 2009. године указује на изражен тренд пораста температуре ваздуха током последњих шест деценија (Unkašević and Tošić, 2013). Слични резултати, потврђујући ове промене климатских услова, објављени су и у ранијим студијама које се баве климом Србије (Gavrilov et al., 2010b; Tošić et al., 2013; Milentijević et al., 2018). Примена GIS анализе у комбинацији са нумеричким методама показала се као ефикасан и прецизан приступ у квантитативном израчунавању и моделирању климатских параметара (Valjarević et al., 2018).

Циљ овог истраживања јесте да се применом Mann-Kendall теста идентификују и анализирају трендови температурних промена и количине падавина на месечном нивоу за подручје Ваљева, у периоду од 1961. до 2020. године. Истраживања овог типа омогућавају препознавање потенцијалних климатских промена у дужем временском интервалу, што је од кључног значаја за планирање адаптационих мера у области заштите животне средине, пољопривреде, управљања водним ресурсима и слично.

Материјал и методе

Област истраживања

Територија истраживања обухвата податке са метеорошке станице Ваљево ($\varphi=44^{\circ}19'$ $\lambda=19^{\circ}55'$) у Западној Србији. Метеоролошка станица Ваљево се налази на 176 m н.в.

Сл. 1. Локација метеоролошке станице Ваљево (погледати у енглеској верзији текста стр. 311)

На климатске карактеристике овог простора значајно утичу три доминантне орографске целине: Панонска низија, Динариди и Карпатско-балканске планине. Током хладнијег дела године, арктичке континенталне ваздушне масе продиру преко Панонске низије, док Динариди и Карпатско-балканиди представљају значајну орографску баријеру која умањује продор и утицај ваздушних маса. У топлијем делу године, континенталне тропске ваздушне масе пореклом из северне Африке условљавају високе летње температуре (Dusić and Radovanović, 2005). Климатске карактеристике овог подручја дефинишу се превасходно утицајем умерено-континенталне и континенталне климе. Према Кепеновој класификацији, већина централне Србије припада типу климе Cfa (просечна температура најтоплијег месеца изнад 20°C , а најхладнијег изнад -3°C), док се у планинским пределима изнад 1500 m надморске висине јавља тип Dfa (просек најтоплијег месеца испод 20°C , а најхладнијег испод -3°C) (Radinović, 1981; Bačević et al., 2021).

Метод

Мен-Кенделов тест (Mann 1945; Kendall, 1975) представља статистички алат који се користи за процену слагања између више оцењивача или рангирања истих предмета. Овај тест је посебно користан у ситуацијама у којима више оцењивача вреднује исте предмете, а циљ је проценити колико су њихове оцене доследне и у којој мери постоји сагласност међу њима (Kendall, 1938). Као непараметријски тест не захтева специфичне претпоставке о дистрибуцији података, због чега је веома применљив у ситуацијама када су подаци нелинеарни или када нису нормално дистрибуирани (Siegel & Castellan, 1988). Минималан број временских серија за успешан тест је десет. Тест, дакле, омогућава анализу слагања у случајевима када су оцене рангиране, уместо да се користе конкретне нумеричке вредности. Овај метод је постао веома популаран због своје једноставности, робусности и способности да се носи с непотпуним подацима, као и с вредностима које су испод нивоа детекције. Због свих ових карактеристика, тест је широко применљив у разним областима научних истраживања (Savić, 2009; Kričković, 2022; Kričković et al., 2024; Kendall & Stuart, 1967).

У основи, овај тест претпоставља да временска серија x_i следи модел:

$$y = f(x_i) + \varepsilon_i \quad (1)$$

где је $f(x)$ функција која представља константни једноличан тренд (порастан или опадање) у времену, док ε_i означава случајне грешке. За те грешке се претпоставља да имају средњу вредност једнаку нули ($E(\varepsilon_i) = 0$), а такође се сматра да је расподела стабилна током времена (Savić, 2009; Kričković, 2022).

Када се примењује Мен-Кендалов тест, дефинишу се две хипотезе: нулта хипотеза (H_0) која наводи да не постоји значајан тренд у анализираној серији

података, и алтернативна хипотеза (H_1) која тврди да тренд постоји. Да би се утврдило да ли је тренд статистички значајан, користи се ниво значајности од 95%, односно $\alpha = 0.05$. За ово истраживање коришћен је статистички пакет XLSTAT (Savić, 2009; Kričković, 2022).

Мен-Кендалов тест се може применити у случајевима када се може претпоставити да за вредност x_i временских серија, важи следећи модел: (Kričković et al., 2023; Gavrilov et al., 2015; Kričković et al., 2024).

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (2)$$

где је $\text{sign}(x_i - x_j)$

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1, & \text{for } x_i - x_j > 0 \\ 0, & \text{for } x_i - x_j = 0 \\ -1, & \text{for } x_i - x_j < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Статистика S тежи нормалности за већину n ; са средњом вредношћу и варијансом дефинисаном на следећи начин (Kričković et al., 2023; Kričković et al., 2024)

$$E(S) = 0 \quad (4)$$

$$V(S) = 1/18 \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (5)$$

Где је n дужина временске серије, t_p број веза за p^{th} вредност а q је број везаних вредности (тј. једнаке вредности). Други члан представља прилагођавање, изједначене или цензурисане податке. Стандардизована тест статистика Z је дата (Mann, 1945; Gavrilov et al., 2015; Kričković et al., 2023; Kričković et al., 2024):

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0, \\ 0 & \text{if } S = 0, \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0, \end{cases} \quad (6)$$

Присутност статистички значајног тренда процењује се применом Z статистике, која се користи за тестирање нулте хипотезе према којој не постоји тренд у анализираној временској серији (Kričković et al., 2023; Gavrilov et al., 2015; Kričković et al., 2024). Позитивна вредност Z указује на растући тренд, док негативна вредност Z сигнализира опадајући тренд. (Helsel & Hirsch, 2002; Westra et al., 2013; Pohlert, 2015; Kričković et al., 2023; Gavrilov et al., 2015; Kričković et al., 2024). Почетна хипотеза теста заснива се на претпоставци да постоји монотони тренд у временској серији. Контролна статистика се користи за тестирање нулте хипотезе (Kendall, 1975).

Једна од предности Mann-Kendall теста је његова отпорност на издвајајуће вредности и способност да обради и мале и велике скупове података, што је типично за климатолошке студије (Hirsch et al., 1984). Ова карактеристика чини га поузданим алатом за идентификацију трендова у подацима који могу бити подложни екстремним догађајима, јер не зависи од претпоставке нормалности.

Изазов у примени Mann-Kendall теста је третирање сезоналности и потенцијалне нестабилности у климатолошким подацима. Сезонске варијације могу унети пристрасности у анализу трендова, а Mann-Kendall тест можда неће адекватно узети у обзир такве периодичне флукутације ако сезоналност није експлицитно укључена у модел. Да би се ово решило, неки истраживачи примењују модификоване верзије Mann-Kendall теста које прилагођавају сезоналност и нестабилне податке (Burn & Nag Elmur, 2002). Ове адаптације могу бити корисне за будуће студије усмерене на сезонске или регионалне климатолошке трендове.

Извор података јесу годишњи извештаји Републичког хидрометеоролошког завода Републике Србије (РХМЗ (1961-2020), 2022) за локацију аутоматске метеоролошке станице Ваљево.

Резултати

Температура ваздуха

Најтоплија година у посматраном периоду је 2019. година (13.4 °C) а најхладнија је 1980. година (9.9 °C) (РХМЗ (1961-2020), 2022). Просечна годишња температура ваздуха у Ваљеву у периоду 1961. до 2020. године износи 11.4 °C. Најтоплији месец са просечном температуром је јул (21.6 °C) док је најхладнији месец јануар са просечном температуром 0.3 °C (Табела 1).

Табела 1. Средње годишње и месечне температуре у Ваљеву (1961–2020)

Месец	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T _a (°C)	0.3	2.5	6.7	11.6	16.4	19.9	21.6	21.3	16.9	11.7	6.5	1.9

Извор: Републички хидрометеоролошки завод Србије, Метеоролошки годишњаци за период 1961-2020. (РХМЗ (1961-2020), 2022)

Најзначајнији статистички резултати су приказани и истакнути у Табели 2. Кључни параметри Mann-Kendall теста за анализу тренда температуре и падавина на истраживаном простору представљају Z – стандардизована статистика теста, α – ниво значајности, $+\alpha=0.1$, $*\alpha=0.05$, $**\alpha=0.01$, $***\alpha=0.001$, / - без значајности; b – тзв. Сенов нагиб (погледати Табелу 2).

Резултати Mann-Kendall теста за средње месечне вредности температуре ваздуха (Табела 2) су следећи. Јануарске температуре ваздуха су у порасту (за 0.04°C/годишње), на нивоу статистичке значајности $\alpha = 0.05$. Сличне тенденције су присутне у марту (0.03°C/годишње) и мају (0.02°C/годишње). У фебруару је дошло до пораста температуре ваздуха, али без статистичке значајности. Највећи пораст средње месечне температуре ваздуха имају летњи месеци. Резултати показују да је у јуну идентификовано повећање од 0.04°C/годишње, у јулу од 0.05°C/годишње и августу 0.07°C/годишње. Све ове промене су статистички значајне на нивоу $\alpha = 0.001$. Дакле, највеће повећање у годишњем ходу температура ваздуха има август. Пораст температура ваздуха у септембру (0.02°C/годишње) је статистички значајно на нивоу α

= 0.1. Такође, температуре ваздуха у октобру и децембру показују тренд повећања. Иако су позитивне промене у октобру и децембру статистички значајне, ипак нису изразите као у августу. Пораст температуре ваздуха у новембру није статистички значајан.

Табела 2. Резултати Mann-Kendall (МК) теста за трендове месечних температура ваздуха у Ваљеу за период 1961-2020.

Температура				
Месец	Z	α	Q	b
Јануар	2.48	*	0.046	-1.20
Фебруар	1.43	/	0.031	1.73
Март	2.37	*	0.037	5.53
Април	2.67	**	0.034	10.60
Мај	2.21	*	0.026	15.70
Јун	3.91	***	0.042	18.40
Јул	5.29	***	0.052	20.00
Август	5.12	***	0.070	19.20
Септембар	1.90	+	0.027	16.00
Октобар	2.80	**	0.034	10.70
Новембар	1.04	/	0.015	6.54
Децембар	3.25	**	0.050	0.57

α ниво статистичке значајности; + $\alpha = 0.1$, * $\alpha = 0.05$; ** $\alpha = 0.01$; *** $\alpha = 0.001$, / без статистичке значајности; b - Сенов нагиб

У наставку је дат графички приказ који визуелно објашњава резултате добијене у Табели 2.

Сл. 2. Резултати Mann-Kendall (МК) теста за месечне температуре ваздуха у Ваљеу за период 1961-2020. година (погледати у енглеској верзији текста стр. 315)

Резултати истраживања су показали да јануар, март и мај детектују тренд на нивоу значајности $\alpha = 0.05$, вероватноћа теста је 95%. Пораст температуре у априлу, октобру и децембру је статистички значајан на нивоу $\alpha = 0.01$, док је вероватноћа теста 99%. Током јуна, јула и августа тренд је на нивоу значајности $\alpha = 0.001$ са вероватноћом од 99.9%, док је у септембру $\alpha = 0.10$, вероватноћа теста је 90%. Фебруар и новембар су месеци у којима нема тренда.

На основу величине уоченог тренда могуће је извршити карактеризацију климатских промена, односно проценити просечне промене у вредностима анализираних климатских променљивих. Резултати анализе временске серије указују на јасан тренд пораста просечних месечних температура ваздуха у ширем подручју метеоролошке станице Ваљево, што је у складу са глобално уоченим трендовима загревања.

Падавине

У периоду од 1961-2020. просечна годишња количина падавина у Ваљеу износи 787.1 mm. Према просечним количинама на месечном нивоу највећи износ падавина је у јуну 101.4 mm. Месец са најнижом количином падавина је фебруар јер је у просеку током овог месеца пало само 45.8 mm падавина (Табела 3) (РХМЗ (1961-2020), 2022).

Табела 3. Средње количине падавина у Ваљевоу (1961-2020)

Месец	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средња количина падавина (mm)	49.4	45.8	54.0	61.7	85.9	101.4	79.5	69.7	62.0	57.4	59.8	60.3

Извор: Републички хидрометеоролошки завод Србије, Метеоролошки годишњаци за период 1961.-2020. (РХМЗ (1961-2020), 2022)

Табела 4. Резултати Mann-Kendall (МК) теста за трендове месечних количина падавина у Ваљевоу за период 1961-2020.

Падавине				
Месец	Z	α	Q	B
Јануар	0.98	/	0.153	39.90
Фебруар	1.55	/	0.333	35.40
Март	0.78	/	0.227	46.30
Април	-1.45	/	0.275	67.50
Мај	0.62	/	0.243	66.50
Јун	0.21	/	0.069	98.40
Јул	-1.35	/	-0.401	85.60
Август	0.18	/	0.058	57.80
Септембар	-0.17	/	-0.056	60.40
Октобар	1.43	/	0.376	31.30
Новембар	-1.10	/	0.270	64.40
Децембар	-0.01	/	-0.002	57.50

α ниво статистичке значајности; + $\alpha = 0.1$, * $\alpha = 0.05$; ** $\alpha = 0.01$; *** $\alpha = 0.001$, / без статистичке значајности; b - Сенов нагиб

У наставку је дат графички приказ који визуелно објашњава резултате добијене у Табели 4. На основу приказаних вредности у Табели 4, можемо закључити да не постоји значајан тренд у анализираној серији података.

Сл. 3. Резултати Mann-Kendall (МК) теста за месечне температуре ваздуха у Ваљевоу за период 1961-2020. Година (погледати у енглеској верзији текста стр. 317)

На основу приказаних вредности у Табели 4, можемо закључити да не постоји значајан тренд у анализираној серији података.

Дискусија

Резултати овог истраживања су у корелацији са другим спроведеним студијама. Vyshkvarkova & Sukhonos (2022) у свом истраживању анализирали су просторну дистрибуцију екстремних температура и падавина у Источној Европи и утврдили постојање позитивних и статистички значајних трендова за топле екстреме током свих годишњих доба, при чему су највеће вредности забележене у зимском периоду. Насупрот томе, за хладне екстреме идентификовани су негативни трендови, што указује на њихово опадање у посматраном временском оквиру. Савремена истраживања (Twardosz et al., 2021) указују да европски континент и даље бележи периоде изразито хладних зимских месеци, што сведочи о комплексности и просторној хетерогености процеса глобалног загревања (Hegerl et al., 2018; Krauskopf & Huth, 2019; Šegar et al., 2023). Branković et al. (2013) су у свом истраживању установили да су позитивни трендови средње годишње температуре у Републици Хрватској превасходно резултат статистички значајног пораста температура током

летњих месеци. Најизраженији трендови загревања регистровани су током лета, а затим следе зимски и пролећни период.

Резултати истраживања су слични резултатима које су добили Gocic and Trajkovic (2012b), чије истраживање указује на значајан пораст температура у северним, централним и источним деловима Републике Србије. Континуирани годишњи раст максималних дневних температура у периоду од 1974. до 2003. године у Београду и Нишу анализирали су Malinovic-Milicevic et al. (2015). У вези са овим истраживањем је и истраживање Milanovic-Pesic and Milovanovic (2016) где је коришћена иста методологија за анализу температурних промена на подручју Шумадије у периоду од 1961. до 2010. године. Њихово истраживање је указало на статистички значајан тренд пораста годишњих температура на готово свим анализираним метеоролошким станицама. У Србији на трендове пораста температуре ваздуха указују и истраживања Gavrilo et al. (2015; 2016; 2017). Слични резултати су добијени и у истраживању Sedlak et al. (2024), где се указује на статистички значајан позитиван тренд средњих годишњих температура на свим посматраним метеоролошким станицама у источној Србији.

Luković et al. (2013) анализирали су трендове падавина на подручју Србије у периоду од 1961. до 2009. године. Резултати истраживања указују на одсуство статистички значајног тренда у укупним годишњим количинама падавина на нивоу целокупне територије Србије. Међутим, на сезонском нивоу уочене су благе тенденције ка смањењу количине падавина током зиме и пролећа, као и повећању током јесени. Посебно се издваја централни део Србије, где је забележен значајан пораст јесењих падавина, што је превасходно последица израженог повећања количине падавина у месецу октобру. Popov and Svetozarevich (2021) спровели су анализу тренда годишњих количина падавина на узорку од 15 метеоролошких станица у Републици Србији. У периоду од 1991. до 2019. године, најмањи пораст количине падавина забележен је на станицама Београд, Нови Сад и Зрењанин. Насупрот томе, најизраженији тренд раста уочен је на станици Копаоник (84.5 mm по деценији), као и на станици Црни Врх (70.1 mm по деценији).

У оквиру своје климатске политике, Влада Републике Србије је развила Програм прилагођавања на измењене климатске услове за период од 2023. до 2030. године који има за циљ смањење емисија гасова са ефектом стаклене баште и повећање енергетске ефикасности. Осим тога, Србија је чланица Париског споразума и обавезала се да ће смањити емисију гасова са ефектом стаклене баште а ту је и Акциони план за адаптацију на климатске промене који укључује мере за адаптацију пољопривреде, енергетске ефикасности и заштите екосистема. (Програм прилагођавања на измењене климатске услове за период од 2023. до 2030. године „Службени гласник РС“, број 119).

Иако је овај тест моћан алат за детекцију праволинијских трендова, будућа истраживања би могла имати користи од његове интеграције са комплементарним методама, као што су декомпозиција временских серија, модели машинског учења или физички базирани климатски модели. Ови приступи могли би пружити дубљи увид у покретаче уочених трендова и побољшати предиктивне способности. Поред тога, проширење географског и временског обухвата студија које користе Mann-Kendall тест, као и укључивање климатских података високе резолуције, могло би дати

свеобухватније процене регионалне и локалне климатске варијабилности (Hamed & Ramachandra Rao, 1998).

Закључак

Климатске промене представљају глобални феномен који се манифестује у променама температуре, падавина, учесталости екстремних временских догађаја и повећању нивоа мора. Глобално загревање и климатске промене све више погађају земље широм света, укључујући и Републику Србију. Ове промене не утичу само на климатске услове, већ и на биолошке системе, пољопривреду, здравље људи, енергетску сигурност и економију, а могу утицати на хидролошки биланс и производњу енергије из обновљивих извора, попут хидроелектрана. Коришћење адекватне методологије за анализу климатских параметара у Србији омогућава прецизно идентификовање статистички значајних трендова у температурним и падавинским серијама, као и у анализи екстремних временских догађаја. На основу резултата бројних истраживања, може се закључити да у последњих неколико деценија постоји јасан тренд пораста температуре, смањења падавина и повећања учесталости екстремних временских догађаја. Ове промене имају озбиљан утицај на природне системе и друштво, те је неопходно развијати стратегије за адаптацију и ублажавање последица климатских промена. Mann-Kendall тест је врло користан алат у анализи климатских података, јер омогућава истраживачима да процене слагање између различитих извора података о температури и падавинама, као и међу различитим моделима климатских предвиђања.

Неопходно је спровести детаљнију и интердисциплинарни анализу климатских фактора који су условили актуелне климатске карактеристике проучаваног подручја. Ова студија има за циљ да пружи допринос продубљеном разумевању актуелних климатских промена на територији Србије. С обзиром на наведено, неопходно је континуирано праћење климатских промена ради адекватне процене њихових потенцијалних економских и друштвених последица.

Повећање броја топлих таласа може изазвати здравствене проблеме, посебно за старије особе и људе са срчаним обољењима. Промене температуре и падавина угрожавају биљни и животињски свет, посебно врсте које су осетљиве на климатске промене. С обзиром на сложеност климатских промена и њихове далекосежне последице, решавање ове проблематике захтева интензивну међусобну сарадњу стручњака из различитих области. Метеоролози, климатолози, хидролози, географи, еколози, агрономи, као и експерти за јавно здравље, урбано планирање и енергетику, морају заједнички радити на интеграцији података, тумачењу резултата и развоју прилагођених мера адаптације.

Интердисциплинарна сарадња омогућава свеобухватније разумевање климатских појава, идентификацију рањивих сектора и становништва, као и унапређење стратегија управљања ризицима. Стварање јединствених база података, заједничке студије случаја и планирање мера на локалном нивоу треба да буду резултат сталне комуникације и координације између научне заједнице, институција и доносиоца одлука.

Сукоб интереса: Аутори изјављују да нема сукоба интереса.

Напомена издавача: Српско географско друштво остаје неутрално по питању јурисдикције у објављеним мапама и институционалним везама.

© 2025 Српско географско друштво, Београд, Србија.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Serbia.

Литература (погледати у енглеској верзији текста)