

Analytical Comparison of Trends in Climatic Components of Semnan Province Using the Mann–Kendall and Spearman Tests

Somayeh Sadat Eslami Shokuh¹, Ahmad Jafarzadeh^{2*}

¹ PhD Student of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydariyeh, Torbat Heydariyeh, Iran.

² Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydariyeh, Torbat Heydariyeh, Iran.

* Corresponding Author: mnt.jafarzadeh@torbath.ac.ir

Introduction

Climate change and long-term fluctuations in climate elements are among the most important environmental challenges in arid and semi-arid regions. Semnan province is highly sensitive to changes in temperature and precipitation due to its climatic diversity and limited water resources. Therefore, understanding the trends in changes in climate components can play an important role in water resource planning, agricultural management, and reducing environmental vulnerability. This study aims to investigate the trends in annual changes in precipitation and minimum, maximum, and average temperatures at selected synoptic stations in Semnan province and to compare the efficiency of the two nonparametric Mann-Kendall and Spearman tests in analyzing these trends.

Materials and Methods

In this study, daily precipitation and minimum, maximum, and average temperature data were collected from selected synoptic stations in Semnan province during the period 2000 to 2022. After performing preprocessing steps including data quality control, outlier correction, and replacement of missing data, the data were converted to an annual scale. To assess the trend of changes, two nonparametric Mann-Kendall (MKT) and Spearman (SPT) tests were used at a significance level of 0.05. Also, in order to prevent false inferences, the effect of temporal autocorrelation was examined using the autocorrelation function, and a modified version of the Mann-Kendall test was applied to variables with significant autocorrelation.

Results and Discussion

The results showed that most of the studied climatic variables lacked significant autocorrelation, but in some cases, including the minimum and average temperature at the Garmsar station and the precipitation in Damghan and Miami, significant autocorrelation was observed. Trend analysis showed that the dominant pattern in the region is an increase in temperature and a decrease in precipitation. Meanwhile, the increasing trend of the minimum and average temperature at the Garmsar station was statistically significant, while the precipitation trend was decreasing but insignificant in most stations. The results also indicated that the intensity of temperature and precipitation trends in the western regions of Semnan province is greater than in other parts. Comparison of the two tests also showed that the Mann-Kendall test is a more suitable tool for analyzing the trends of climatic components compared to the Spearman test due to its greater statistical comprehensiveness, higher sensitivity to time series changes, and the possibility of estimating the trend slope.

Conclusion

In general, the results of the study showed that the most important climatic signal of Semnan province in the period under study is the increasing trend of temperature, while the decrease in precipitation does not have a uniform and significant pattern. Also, paying attention to the effect of temporal autocorrelation in trend analysis plays an important role in increasing the accuracy and validity of the results. Accordingly, the use of the modified Mann-Kendall test in similar climatic studies is recommended. The findings of this study can be used in planning related to water resources management, agriculture, and adaptation to climate change in Semnan province.

Keywords: Spatial-Temporal Pattern, Autocorrelation, Temperature, Trend Intensity

مقایسه تحلیلی روند مؤلفه‌های اقلیمی استان سمنان با استفاده از آزمون من کندال و اسپیرمن

سمیه سادات اسلامی شکوه^۱، احمد جعفرزاده^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری آبیاری زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران.

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران.

*نویسنده مسئول: mnt.jafarzadeh@torbath.ac.ir

ORCID: 0000-0003-4761-7940

چکیده

مطالعه روند تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی نشان‌دهنده بروز و چگونگی تأثیر تغییر اقلیم بوده و از جمله مهم‌ترین بخش‌های مطالعات تغییر اقلیم به شمار می‌رود. از این رو، این پژوهش در نظر دارد تحلیل روند تغییرات سالانه مؤلفه‌های اقلیمی نظیر، دمای حداقل و حداکثر، دمای میانگین و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک دامغان، گرمسار و میامی در استان سمنان را طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۲ مورد ارزیابی قرار دهد. در گام نخست، داده‌های روزانه مؤلفه‌های فوق از سازمان هواشناسی استان جمع‌آوری شد و اقدامات پیش‌پردازش نظیر حذف داده‌های پرت و جایگزینی داده‌های مفقود انجام شد. پیش از بررسی تحلیل روند، تحلیل خودهمبستگی مؤلفه‌های اقلیمی به تفکیک ایستگاه‌های مختلف انجام شد. در ادامه، کارایی دو آزمون ناپارامتریک من کندال (Mann-Kendall- MKT) و اسپیرمن (Spearman- SPT) در تحلیل روند سالانه مؤلفه‌های بارش و دما مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش در خصوص ارزیابی اثر خودهمبستگی اثبات کرد که بیشتر متغیرها در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای استقلال زمانی هستند و اثر خودهمبستگی صرفاً برای دو متغیر حداقل و میانگین دما در ایستگاه گرمسار و بارش در ایستگاه‌های دامغان و میامی قابل توجه (بیش از ۳۰ درصد) بود. نتایج این مطالعه در خصوص تحلیل روند نشان داد که گرایش دمایی اغلب به صورت افزایشی و روند بارش به صورت کلی کاهش‌ی است. همچنین، با استناد به نتایج مشخص شد که اگرچه بسیاری از تغییرات روند از نظر آماری معنادار نبودند، اما بیشترین افزایش دما در طول بازه مطالعاتی در ایستگاه گرمسار با $1/0^{\circ}\text{C}$ درجه سانتی‌گراد در سال و کمترین تغییر در ایستگاه میامی با $0/05$ درجه سانتی‌گراد در سال رخ داده است. در خصوص تغییرات روند بارش، ایستگاه سمنان با بیشترین کاهش بارش $20/23$ میلی‌متر در سال و ایستگاه دامغان با کمترین میزان تغییرات بارش در هر سال $1/88$ میلی‌متر کاهش داشت. بررسی جنبه‌های کاربردی دو آزمون MKT و SPT در تحلیل روند مؤلفه‌های اقلیمی نیز مشخص کرد که آزمون MKT به دلیل جامعیت آماری بیشتر، حساسیت بالاتر به تغییرات سری زمانی (در نظر گرفتن اثر خودهمبستگی) و امکان برآورد شیب واقعی روند، قابلیت اعتمادپذیری بیشتری دارد. ارزیابی مکانی-زمانی روند تغییرات نشان داد که روند افزایشی دما محتمل‌تر از روند کاهش بارش در منطقه است. همچنین، روند تغییرات بارش و دما در نواحی غربی استان سمنان بسیار قوی‌تر از سایر مناطق است.

کلیدواژه‌ها: الگوهای مکانی-زمانی، تغییر اقلیم، خودهمبستگی، دما، شدت روند.

آب و هوا یکی از مهم‌ترین عوامل زیست‌محیطی در مقیاس‌های محلی، ملی و جهانی به شمار می‌رود. به تغییرات بلندمدت در عناصر اقلیمی و زیست‌محیطی یک منطقه که معمولاً در بازه‌های ۳۰ سال (یا بیشتر) رخ می‌دهد، به‌عنوان پیامدهای شناختی تغییر اقلیم اطلاق می‌شود (Esit et al, 2024). این تغییرات شامل نوسانات دما، بارش، رطوبت، باد و سایر مؤلفه‌های اقلیمی بوده و تأثیرات گسترده‌ای بر بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، چرخه هیدرولوژیکی، توزیع مکانی-زمانی بارش، رشد و نمو گیاهان و در نهایت امنیت غذایی و زنجیره غذایی جهانی برجای می‌گذارد (Ahmad et al, 2022). تغییرات اقلیمی می‌تواند از طریق تعدیل میزان و توزیع مکانی-زمانی بارش و نیز افزایش تبخیر-تعرق، تأثیرات قابل‌ملاحظه‌ای بر منابع آب سطحی و زیرسطحی داشته باشد؛ در نتیجه، پایداری تأمین آب نیاز بخش‌های مختلف نظیر کشاورزی، صنعت و خدمات شهری به‌شدت مؤثر واقع می‌شود (Lam et al, 2021). با وجود اینکه تغییر اقلیم یک پدیده جهانی است، کشورهای در حال توسعه و کمتر توسعه‌یافته به دلیل ظرفیت محدود سازگاری و آسیب‌پذیری بیشتر، متحمل پیامدهای شدیدتری می‌شوند (Kabir et al, 2023). به‌علاوه، آثار مشهود تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر از منظر امنیت منابع آب در این مناطق اهمیت بیشتری پیدا کرده است؛ زیرا افزایش دما، تداوم خشکسالی‌ها و تغییر الگوهای بارش چالش‌های جدیدی را برای مدیریت منابع آبی پدید آورده است (Behzad et al, 2023). تغییرات در ویژگی‌های بارش و دما مستقیماً میزان دسترسی به آب را تغییر داده و پیامدهایی جدی برای انسان و زیست‌کره به همراه دارد؛ به همین دلیل، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب هر منطقه‌ای از مهم‌ترین مسائل مدیریت منابع آب به شمار می‌آید (Abbass et al, 2022). از منظر نظری نیز مفهوم تغییر اقلیم ناظر بر دگرگونی‌های بلندمدت و ساختاری در رفتار اقلیمی است که فراتر از نوسانات کوتاه‌مدت سری‌های زمانی رخ می‌دهد و این ناپیوستگی‌ها در مقیاس‌های بسیار بزرگ‌تر نظیر دهه و تا قرن نیز اهمیت دارند (Moghtaderi, 2025; Teressa, 2021). مطالعات نیز نشان می‌دهند که روندهای اقلیمی امروزی ممکن است سریع‌تر از دوره‌های گذشته رخ دهند و پیامدهای قابل‌توجهی بر سامانه‌های انسانی و طبیعی برجای گذارند (Ghazi et al, 2025; Ataei et al, 2015).

در عرصه روش‌شناسی، تحلیل روند سری‌های زمانی متغیرهای هیدرولوژیکی و هواشناسی یکی از ابزارهای پایه‌ای تعیین میزان تغییر در مؤلفه‌های اقلیمی مرتبط با آب است (Vafakhah et al, 2013). تحلیل روند امکان شناسایی شدت، جهت و الگوی تغییرات بلندمدت پارامترهایی مانند دما، بارش و معادل آب برف را فراهم می‌کند و از این منظر، تفکیک نوسانات طبیعی از تغییرات بلندمدت را فراهم کرده و ورودی‌های معتبر جهت مدل‌سازی و سناریوسازی برنامه‌ریزی منابع آب در آینده را میسر می‌کند. به‌منظور بررسی روند سری‌های زمانی، روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک متعددی توسعه یافته‌اند که در این بین روش‌های ناپارامتریک، آزمون Mann-Kendall Test (MKT) به دلیل عدم وابستگی به توزیع داده‌ها، مقاومت نسبت به مقادیر پرت و توانایی مناسب در تحلیل سری‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی، کاربرد گسترده‌ای یافته است (Ghareh Chayi et al, 2015). علاوه بر این، روش‌های آماری مختلف به‌منظور کمی‌سازی و ارزیابی معنی‌داری تغییرات مورد استفاده قرار می‌گیرند و تغییرات افزایش/کاهش دما، تغییر در الگوهای بارش و دگرگونی در فرایندهای تجمع و ذوب برف را مشخص می‌سازند (Faquseh & Grossi, 2024). از این‌رو، در ادامه سعی شده است تا یک بررسی در خصوص کارایی این روش در تحلیل روند مؤلفه‌های اقلیمی صورت بگیرد.

با توجه به اینکه برنامه‌ریزی منابع آب تا حد زیادی به متغیرهای اقلیمی (بارش و تبخیر) از نظر توزیع آن‌ها در مکان و زمان بستگی دارد، دسته‌ای از این مطالعات بر نقش تحلیل روند به‌عنوان مبنای مدیریت ریسک و برنامه‌ریزی منابع آب اذعان کرده‌اند (Mishra et al, 2011; Muia et al, 2024). در مطالعه (Mishra et al, 2011) بررسی روند مکانی-زمانی تبخیر و بارش در پهنه وسیعی از ایالت تگزاس (Texas) آمریکا انجام شد و نتایج حاکی از افزایش سطح مناطقی است که با بحران منابع آب همراه هستند. همچنین، در پژوهش (Muia et al, 2024) روند کاهش بارش و روند افزایشی دماهای حداقل و حداکثر برای شهر Makueni در شرق کنیا (Makueni County, Kenya) به کمک آزمون MKT و تخمین شیب سن (Sen's slope) گزارش شد. آن‌ها در پژوهش خود بیان کردند که روند بارش سالانه و فصلی کاهش داشته، اگرچه به طور آماری معنادار نبوده و تنها کاهش ماه ژوئن معنادار گزارش شده

است. در مقابل، دماهای حداقل و حداکثر سالانه، فصلی و ماهانه روند افزایشی معنی‌داری داشته‌اند و این افزایش در اکثر نواحی منطقه مورد مطالعه نیز مشاهده شده است. این الگوها نشان می‌دهند که شهر Makueni در حال حاضر تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار دارد.

برخی از مطالعات انجام شده دلالت بر پیچیدگی و ناهمگنی فضایی تغییرات اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای دارد (Herzschuh et al, 2023) و متمرکز بر بررسی مکانی-زمانی تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی در پهنه یک منطقه بزرگ نظیر حوضه‌های آبریز اصلی است. به‌عنوان مثال، در یک مطالعه جامع، (Jamali et al, 2024) با به‌کارگیری آزمون ناپارامتریک (Spearman Test (SPT)، روند شاخص‌های بارش و دما را در ۲۶ ایستگاه همدیدی یا سینوپتیک (Synoptic) ایران را طی دوره ۱۹۵۱-۲۰۲۰ بررسی کردند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که افزایش بارش‌های حدی کوتاه‌مدت در برخی ایستگاه‌ها و روند افزایشی دمای بیشینه در اغلب ایستگاه‌ها وجود دارد. دسته‌ای دیگر از پژوهش‌ها به دنبال ایجاد یک رابطه آماری بین روند و تغییرات مؤلفه‌های تأثیرگذار فرایندهای آب و خاک هستند. در این پژوهش‌ها عموماً هدف پیدا کردن یک رابطه معنی‌دار بین تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی، نظیر بارش و دما، با عوامل کلیدی دخیل در فرایندهایی نظیر نفوذ آب در خاک (Faquseh & Grossi, 2024)، تغذیه آب زیرزمینی (Bharathkumar & Mohammed-Aslam, 2018; Xing et al, 2018; Fattah et al, 2024)، خشکسالی (Pathak & Dodamani, 2019)، رواناب و سیلاب (Sa'adi et al, 2019) و تغییر کاربری اراضی (Aghsaei et al, 2020) هستند. به‌عنوان مثال، (Faquseh & Grossi, 2024) با تحلیل هم‌زمان بارش، دما و رطوبت خاک در شهر لومباردی (Lombardy) ایتالیا، نشان دادند که دما نقش غالبی در تغییرات رطوبت خاک دارد و روند دمایی معنی‌داری در فصل‌های مختلف وجود دارد. همچنین، در پژوهش (Xing et al, 2018) بررسی آبدی چشمه‌های کارست مناطق شمالی چین بر اساس تحلیل موجک (Wavelet) و آزمون MKT انجام شد. در پژوهش ایشان، تجزیه و تحلیل موجک، من‌کندال و آزمون جهش برای بررسی پایش دینامیکی سطوح آب‌های زیرزمینی و بارش (طی سال‌های ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۳) در نواحی کارستی جینان (Jinan karst spring area)، استفاده شد. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که سطح آب زیرزمینی در منطقه روند نزولی قابل توجهی داشت و بارندگی روند افزایشی (غیرمعنی‌دار) داشته و نقش عوامل انسانی در تغییر سطح و آبدی چشمه قابل‌ملاحظه بود.

از سوی دیگر، نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که الزاماً رابطه معنی‌داری در روند تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی وجود ندارد و یا اینکه وضعیت آماری روند تغییرات (معنی‌دار بودن) به شدت تحت تأثیر دوره زمانی و ویژگی‌های اقلیمی است. مطالعه (Mazidi et al, 2021) در ایستگاه ارومیه نشان داد که روند معنی‌داری برای دما و بارش در بازه زمانی مورد مطالعه وجود ندارد، البته ایشان ادعان کردند که نتایج بررسی روند به شدت وابسته به مقیاس و دوره آماری است. از سوی دیگر، نتایج برخی از پژوهش‌های دیگر، نظیر (Noroozi et al, 2023)، دلالت بر این دارد که مناطق و بازه زمانی مورد مطالعه، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر تحلیل روند داشته. بر اساس پژوهش‌های ارزیابی شده، جمع‌بندی مطالعات فوق از منظر بررسی روش‌شناسی و یافته‌های گزارش شده حاکی از آن است که با وجود حجم قابل توجه مطالعات در زمینه تحلیل روند مؤلفه‌های اقلیمی، بعضی خلأهای پژوهشی همچنان وجود دارد. نخست اینکه، بسیاری از پژوهش‌های انجام شده محدود به یک ایستگاه یا به‌کارگیری یک آزمون آماری بوده‌اند، درحالی‌که تحلیل هم‌زمان چند ایستگاهی و ترکیب آزمون‌های مختلف می‌تواند تصویر جامع‌تر و قابل‌اطمینان‌تری از الگوهای مکانی-زمانی تغییرات ارائه دهد. دوم اینکه، وجود خودهمبستگی زمانی (Auto Correlation-AC) به‌خصوص در سری‌های زمانی، نظیر بارش، دما، تبخیر و رطوبت، کاملاً محتمل است و این موضوع تحلیل آماری (به‌خصوص زمانی که فرض استقلال زمانی برای داده‌ها انگار می‌شود)، را کاملاً با اختلال مواجه می‌کند (Di Cecco et al, 2018). مطالعاتی نظیر (Khanmohammadi et al, 2021) قویاً گزارش کرده‌اند که وجود خودهمبستگی مثبت احتمال بروز روندهای کاذب را برای آزمون‌هایی نظیر MKT افزایش می‌دهد. همچنین یافته‌های پژوهش (Lanzante, 2021) (با هدف بررسی خودهمبستگی در مقیاسه توزیع آماری) نشان داد که نادیده گرفتن خودهمبستگی می‌تواند باعث خطاهای بزرگ در استنتاج تغییرات توزیع‌های آماری شود. علاوه بر این، مطالعاتی نظیر (Mudelsee, 2019) و (Beaulieu & Killick, 2018) صراحتاً در نتایج خود ادعان کرده‌اند که خودهمبستگی در سری‌های زمانی مؤلفه‌های اقلیمی می‌تواند با تغییرات ناگهانی

اشتباه گرفته شود. جدول (۱) به اختصار بعضی از این مطالعات را نشان می‌دهد که در آن‌ها به چگونگی تأثیر خودهمبستگی بر تحلیل آماری و راهکار کاهش پیامدهای منفی آن اشاره شده است. بر اساس بررسی انجام شده مشخص گردید که در نظر گرفتن اثر خودهمبستگی در آزمون تحلیل روند در مقیاس چند ایستگاهی نیازمند پژوهش و مطالعه بیشتر است؛ اهمیت این موضوع در شرایطی که کاربری هم‌زمان روش‌های مختلف تحلیل روند مدنظر است، بیش‌ازپیش احساس می‌شود. غفلت از این موضوع می‌تواند موجب سوگیری در نتایج آزمون‌های روند و کاهش اعتبار استنباط‌ها شود؛ بنابراین، تحلیل‌های مقایسه‌ای که هم‌زمان به چند آزمون ناپارامتریک و به‌ویژه به تصحیح یا لحاظ کردن خودهمبستگی توجه کنند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

جدول ۱. خلاصه‌ای از مقالات مرتبط با بررسی خودهمبستگی در سری‌های زمانی

Table 1. Summary of studies on autocorrelation in time series

منابع Resources	راهکار پیشنهادی Proposed solution	اثر خودهمبستگی Autocorrelation
Hamed & Rao (1998) Khanmohammadi et al., (2021) Klaus et al. (2015)	استفاده من‌کنندال اصلاح شده	افزایش اشتباه در تشخیص روند
Wang, X. (2008)- Beaulieu, C., & Killick, R. (2018).	استفاده از رگرسیون خودکار (Auto Regressive-AR) همراه با انتخاب مدل (Model selection)	بروز اشتباه در تغییرات ناگهانی (abrupt shifts)
Lanzante (2021)	استفاده از AR- افزایش نمونه‌های مؤثر	بروز خطای بزرگ در تشخیص توزیع آماری

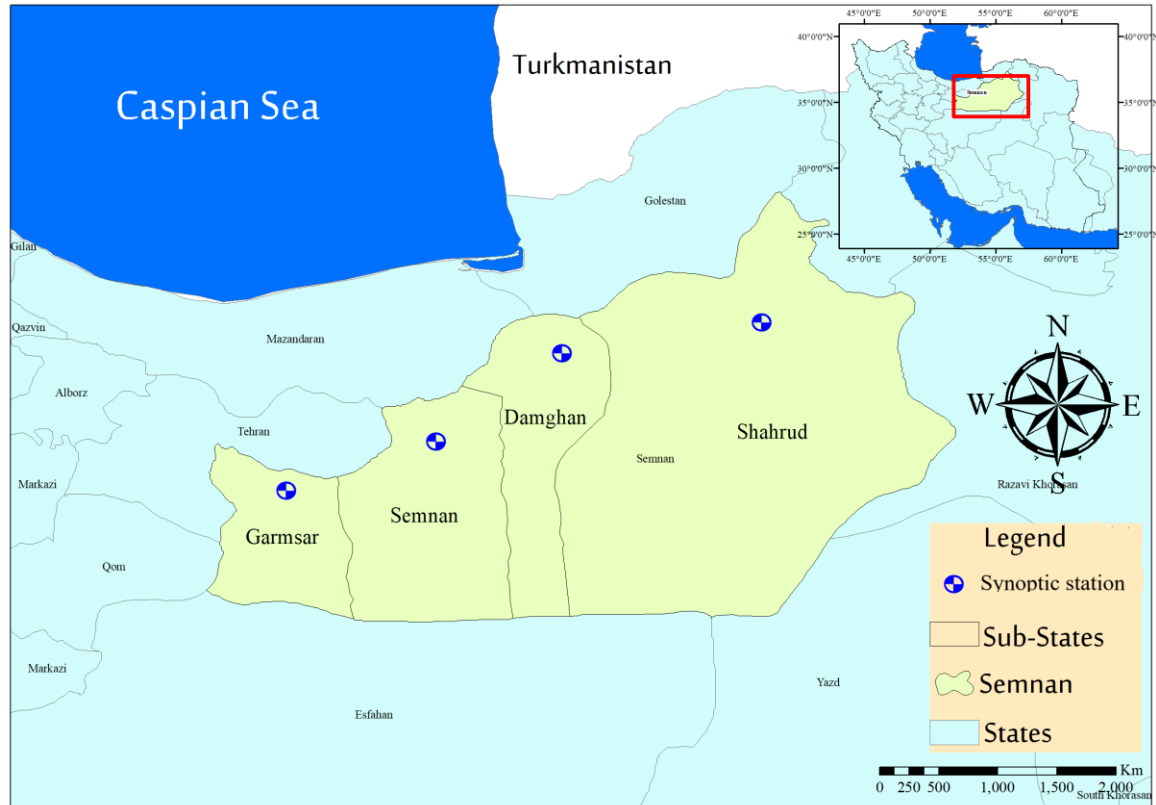
در این پژوهش، تلاش شد تا یک تحلیل مقایسه‌ای روند بر روی مؤلفه‌های تأثیرگذار در چهار ایستگاه سینوپتیک استان سمنان (ایستگاه‌های سمنان، گرمسار، دامغان و میامی) به‌منظور آشکارسازی ناهمگنی فضایی و زمانی انجام شود. همچنین، کارایی دو آزمون ناپارامتریک MKT و SPT جهت افزایش اطمینان نتایج به‌صورت هم‌زمان مورد مقایسه قرار گرفت. علاوه بر این، پیش از اعمال آزمون‌ها، در یک چارچوب منسجم و خودکار، به مسئله استقلال زمانی داده‌ها و بررسی خودهمبستگی در سری‌های زمانی توجه ویژه شد. بدین ترتیب، پژوهش حاضر با رویکردی چند ایستگاهی و مقایسه‌ای، تلاش می‌کند دقت تحلیل روند را افزایش دهد و راهنمای بهتری برای شناخت تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی و تأثیر آن‌ها در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب منطقه فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

توضیحات لازم پیرامون معرفی منطقه مورد مطالعه، داده‌های اقلیمی به کار گرفته شده، اقدامات آماده‌سازی (پیش‌پردازش داده‌ها)، روش‌ها و آزمون‌های استفاده شده در این تحقیق به تفکیک بخش‌های مختلف ارائه شده است.

منطقه مورد مطالعه

استان سمنان با تنوع اقلیمی قابل توجه (گستره‌های متفاوتی از اقلیم خشک، نیمه‌خشک و کوهستانی) با مساحتی حدود ۹۸ هزار کیلومترمربع در پهنه‌ای میان طول‌های شرقی ۵۱ تا ۵۸ درجه و عرض‌های شمالی ۳۴ درجه تا ۳۷ درجه واقع شده و دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز را در برمی‌گیرد (شکل ۱). همچنین، بیش از نیمی از سطح استان از دشتهای کویری تشکیل شده و با حرکت از شمال به جنوب، ارتفاع به تدریج کاهش پیدا می‌کند. میانگین درازمدت بارش سالانه این منطقه برابر با ۱۳۶ میلی‌متر بوده و حداقل و حداکثر دمای سالانه به ترتیب ۱۲/۸ و ۲۳/۷ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Yousefi Mobarhan, & Khaleghi, 2024). همچنین پتانسیل تبخیر و تعرق سالانه منطقه بالا بوده که این موضوع با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک آن همخوانی دارد.



شکل ۱. نمایشی از موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی مورد مطالعه همراه با تقسیمات سیاسی، استان‌های مجاور، شهرستان‌های استان و ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

Fig 1. A showing of geographic location of case study comprising political divisions (surrounding provinces and cities), and synoptic stations.

آب و هوای استان سمنان به‌طور کلی تحت‌تأثیر جریان‌های هوایی گرم و خشک دشت کویر قرار دارد، هرچند عواملی مانند دوری از دریا، جهت و امتداد رشته‌کوه‌ها، ارتفاعات و الگوی وزش بادهای نیز در شکل‌گیری شرایط اقلیمی استان نقش مؤثری ایفا می‌کنند از نظر اقلیمی، استان سمنان دارای تنوع قابل‌توجهی بوده و سه نوع آب و هوا در آن قابل‌تشخیص است؛ به‌طوری‌که نواحی شمالی استان شامل شاهرود، دامغان، مهدی‌شهر و شه‌میرزاد دارای اقلیم نسبتاً سرد و خشک در زمستان و معتدل در تابستان هستند، در حالی‌که بخش‌های جنوبی استان شامل گرمسار و جنوب شهرستان سمنان، اقلیم کویری با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و خشک دارند. همچنین نواحی شمال شرقی استان شامل دشت میامی و حسین‌آباد دارای آب و هوای نسبتاً سرد و خشک می‌باشند (Valian et al, 2021).

داده‌های اقلیمی

در این مطالعه، داده‌های روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک استان سمنان در یک دوره ۲۲ ساله (از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲) استخراج و به‌عنوان مبنای تحلیل روندهای اقلیمی در دوره زمانی معین مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اهمیت کیفیت داده‌ها جهت تحلیل روند، اقدامات پیش‌پردازش (انتخاب ایستگاه، کفایت طول داده‌ها و تشخیص-جای‌گذاری داده‌های تکراری، مفقود و پرت) روی داده‌های خام انجام شد تا داده‌های اصلاح شده جهت ورود به فرایند مدل‌سازی آماده شود. توضیحات لازم به این بخش در ادامه ارائه شده است. جدول (۲) مشخصات ایستگاه‌های انتخابی را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در استان سمنان.

Table 2. Geographic characteristics of the studied synoptic stations.

ارتفاع (متر) Elevation (m)	عرض جغرافیایی (درجه) Latitude (degree)	طول جغرافیایی (درجه) Longitude (degree)	
1112	35° 35' 16"	53°25' 18"	سمنان Semnan
1154	36° 08' 59"	54° 19' 21"	دامغان Damghan
885	35° 14'35"	52° 21' 35"	گرمسار Garmsar
1083	36° 24' 50"	55° 37' 59"	میامی Meyami

اقدامات پیش‌پردازش

در تمامی مطالعات سری زمانی، داده‌های خام با استفاده از اقدامات پیش‌پردازش به داده‌های اصلاح شده تبدیل می‌شوند و کیفیت خروجی و متعاقباً تحلیل نتایج را ضمانت می‌کند. مهم‌ترین اقدامات پیش از پردازش اصلی در این مطالعه شامل بررسی کفایت و پاک‌سازی داده‌ها بود که این مراحل به تفکیک متغیرها و ایستگاه‌های مختلف انجام شد.

کفایت طول داده‌ها

در مرحله پیش‌پردازش، تمامی ایستگاه‌های استان بررسی شدند تا مشخص شود کدام یک از نظر طول دوره و کفایت داده‌ها برای تحلیل روند و مدل‌سازی مناسب هستند. در این ارزیابی، ایستگاه‌هایی که داده‌های آن‌ها کوتاه‌تر از حداقل نیاز آماری بودند، از چرخه تحلیل کنار گذاشته شدند. بر همین اساس، ایستگاه رادان، شاهرود، سرخه و مهدی‌شهر به دلیل برخورداری از دوره بسیار کوتاه و ناکافی، امکان استفاده در آزمون‌های ناپارامتری و مدل‌سازی را نداشته و در مرحله انتخاب مدل و بازه مورد مطالعه از تحلیل حذف شدند. همچنین، داده‌های موجود (از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲) در تمامی ایستگاه‌ها برای مفقود بودن و وجود داده‌های پرت بررسی شدند تا کیفیت مجموعه نهایی تضمین شود.

پاک‌سازی داده‌ها

بررسی داده‌های ثبت نشده-مفقود (Missing Value) و داده‌های پرت (Outliers) در این قسمت انجام شد. بدین منظور و در قسمت داده‌های مفقود، از میانگین درازمدت برای تخمین مقادیر ثبت نشده استفاده شد. همچنین، در قسمت داده‌های پرت از دو روش آماری و بصری جهت تشخیص داده پرت استفاده شد. در روش آماری استفاده از فاصله میان چارکی و در روش بصری، رسم نمودار سری زمانی مورد استفاده قرار گرفت. بعد از تشخیص داده‌های پرت، از میانگین درازمدت برای اصلاح مقادیر استفاده شد.

تحلیل روند

در این مطالعه، از آزمون‌های من-کندال (MKT) و اسپیرمن (SPT) برای تحلیل روند در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد. بدین ترتیب دو نسخه مختلف از آزمون من کندال، شامل MKT با اثرات خودهمبستگی (MK1) و MKT با حذف اثرات خودهمبستگی (MK2) و نسخه استاندارد آزمون SPT در تحلیل روند مورد استفاده قرار گرفت.

آزمون من کندال با اثرات خودهمبستگی (MK1)

آزمون MKT که نخستین بار توسط (Mann, 1945) معرفی و بعدها توسط (Kendall, 1962) توسعه داده شد، یکی از مهم‌ترین روش‌های ناپارامتری برای تحلیل روند در داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی به شمار می‌رود. مزیت اصلی این آزمون آن است که به هیچ‌گونه فرضی درباره توزیع آماری داده‌ها نیاز ندارد و در نتیجه برای داده‌های غیرنرمال یا دارای نوسانات زیاد نیز قابل استفاده است. در آزمون MK1، هر مقدار در سری زمانی به صورت پیوسته و پشت سر هم با بقیه مقادیر سری مقایسه می‌شود و آماره S بر اساس این مقایسه محاسبه می‌گردد (رابطه ۱).

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

که در آن x_j مقادیر داده‌های متوالی، n طول مجموعه داده‌ها و $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت بوده که به صورت ۲ تعریف گردید:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad (2)$$

چنانچه $n \geq 8$ باشد، آماره S تقریباً به‌طور نرمال توزیع شده و میانگین و واریانس آن به صورت روابط ۳ و ۴ می‌باشد:

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (4)$$

که در آن t_i تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام و m برابر با تعداد گروه‌های جفتی می‌باشند. آماره آزمون استاندارد شده Z به صورت ۵ محاسبه می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

آماره آزمون MK1 استاندارد شده (Z) از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس یک پیروی می‌کند. در شرایطی که S برابر با صفر باشد داده‌ها فاقد روند بوده و هیچ روند معنی‌دار یا غیر معنی‌داری در داده‌ها وجود ندارد که این شرایط ایده‌آل برای داده‌های هیدرولوژیکی به ندرت ممکن است اتفاق بیفتد. اما برای داده‌هایی که روند افزایشی دارند مقدار S صفر نبوده و مقداری مثبت دارد و برای داده‌هایی که روند کاهشی دارند مقدار S مقداری منفی دارد (Nazeri Tahroudi et al, 2017). علاوه بر این، τ ضریب همبستگی رتبه‌ای کندال بین متغیر و زمان است که اندازه و جهت روند یکنواخت (monotonic) را نشان می‌دهد. این مؤلفه ضریب خودهمبستگی نیست؛ بلکه میزان هم‌راستایی متغیر با ترتیب زمانی آن را مشخص می‌کند. دامنه تغییرات این ضریب بین منفی یک (روند نزولی قوی) تا مثبت یک (روند صعودی قوی) قرار دارد و می‌توان بر اساس رابطه (۶) بیان ریاضی آن را تعریف کرد:

$$\tau = \frac{2S}{n(n-1)} \quad (6)$$

بنابراین τ فقط نسخه‌ای نرمال شده از S است (نرمال شده نسبت به تعداد جفت‌ها). برای تفسیر مقادیر این ضریب می‌توان به جدول (۳) مراجعه کرد:

جدول ۳. بازه تغییرات ضریب میزان شدت روند (τ) به همراه تفسیر مقادیر

Table 3. Ranges of Kendall's tau (τ) values and their interpretation

تفسیر Interpretation	مقدار مطلق τ Absolute value of τ
روند بسیار ضعیف / تقریباً بدون روند Very weak trend/Almost no trend	0 – 0.1
روند ضعیف Weak trend	0.1-0.3
روند متوسط Moderate trend	0.3-0.5
روند قوی Strong trend	0.5-0.8
روند بسیار قوی Very strong trend	0.8-1

تخمین گر شیب سن (Sen's slope)

یک شاخص بسیار مفید در آزمون MKT شیب خط روند یا به اصطلاح شیب Sen می باشد که بزرگی روند یکنواخت را نشان می دهد. مقدار شیب روند با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می شود (Theil, 1950 Sen, 1968):

$$\beta = \text{Median}\left(\frac{x_j - x_i}{j - i}\right) \quad \forall i < j \quad (7)$$

که در آن β برآوردگر شیب خط روند و x_i, x_j به ترتیب مقادیر مشاهداتی نام و زام می باشند. مقادیر مثبت β نشان دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن روند کاهشی را نشان می دهند. این روش در مطالعات هیدرولوژیکی به طور وسیعی استفاده شده است. لازم به ذکر است که برآورد مقدار شیب سن جهت محاسبات آزمون MKT اصلاح شده مورد نیاز می باشد.

آزمون MKT ویرایش شده Modified Mann-Kendall (MK2)

آزمون MKT اصلاح شده به منظور حذف اثر کامل ضرایب خودهمبستگی معنی دار توسط حامد و رائو ارائه گردید (Hamed and Rao, 1998). به منظور محاسبه آماره Z در آزمون MK2 ابتدا لازم است تا نسبت $\frac{n}{n^*}$ (رابطه ۸) محاسبه شود و سپس با استفاده از $V(S)$ (رابطه ۹) آماره Z تعیین گردد:

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2) \cdot r_i \quad (8)$$

$$V(S)^* = V(S) \cdot \frac{n}{n^*} \quad (9)$$

در ادامه مقدار آماره Z با استفاده از آماره جدید $V(S)^*$ محاسبه می شود.

آزمون استاندارد اسپیرمن (SPT)

آزمون همبستگی SPT یکی از روش های ناپارامتری پر کاربرد برای سنجش رابطه و روند در داده های اقلیمی و هیدرولوژیکی است. این آزمون بر اساس رتبه بندی داده ها عمل می کند و برخلاف روش های پارامتری، به نرمال بودن توزیع نیاز ندارد؛ از این رو برای داده هایی با نوسان زیاد یا رفتار غیرخطی مناسب می باشد. در این پژوهش، از ضریب رتبه ای SP برای ارزیابی شدت و جهت تغییرات سالانه دما و بارش در دوره مورد مطالعه استفاده شد. در این روش، ابتدا مقادیر هر متغیر به ترتیب صعودی رتبه بندی می شوند و سپس بر اساس رتبه های به دست آمده همبستگی محاسبه می شود. چنانچه متغیر اقلیمی مورد نظر (در این پژوهش بارش و دما) با X و متغیر سری زمانی (زمان روز، ماه یا سال) با Y مشخص شود، رابطه ۱۰ برقرار خواهد بود:

$$r_{spearman} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \quad (10)$$

که در آن، R_i و S_i به ترتیب رتبه‌های داده‌های دو متغیر (X و Y) هستند. همچنین، \bar{R} و \bar{S} میانگین رتبه‌ها، و n تعداد مشاهدات است. در ادامه و برای سنجش معنی‌داری آماری همبستگی، از آزمون t استفاده شد که به صورت رابطه ۱۱ تعریف می‌شود.

$$t_{n-2} = \frac{r_{spearman}}{\sqrt{1 - r_{spearman}^2}} \sqrt{n - 2}, \quad (11)$$

که $n-2$ درجه آزادی را تعیین می‌کند که سطح معنی‌داری آن 0.05 در نظر گرفته شد (Destouches et al, 2024).

ارزیابی مشخصات روند

روند مؤلفه‌های اقلیمی شامل نوع، وضعیت معنی‌داری، جهت و شدت است که در کنار تخمین گر شیب روند Sen's slope به‌عنوان ابزاری جهت تشخیص و تحلیل روند موجود در متغیرهای اقلیمی استفاده شد. آماره S و Z در آزمون MKT نوع و جهت روند، P -value وضعیت معنی‌داری روند و آماره τ شدت روند موجود را به‌صورت آماری و ریاضی بیان می‌کند. همچنین، در آزمون SPT نوع و جهت روند با استفاده از آماره r و معنی‌داری آن با استفاده از P -value مشخص می‌شود. علاوه بر موارد فوق، شیب روند می‌تواند تغییرات روزانه، ماهانه و یا سالانه متغیر مورد نظر را در طی بازه زمانی مورد مطالعه توصیف کند.

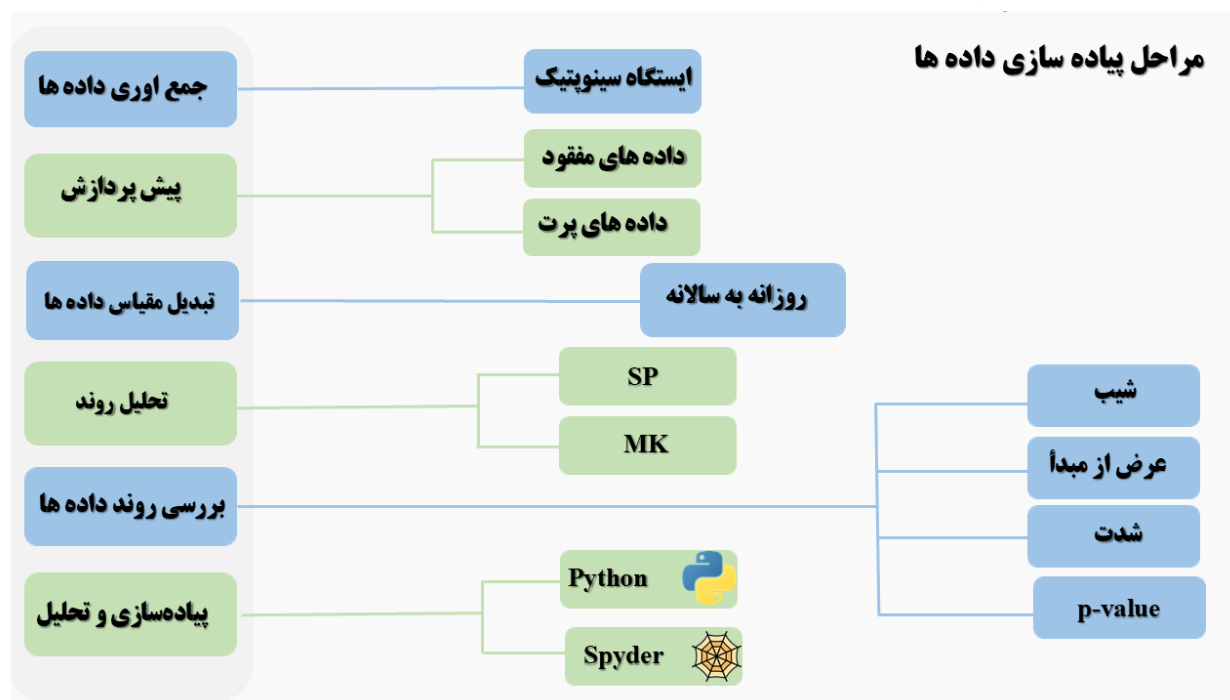
ارزیابی خودهمبستگی

بررسی اثر خودهمبستگی متغیرهای اقلیمی با استفاده از محاسبه ضریب همبستگی خودکار (Auto Correlation Function- ACF) به تفکیک هر ایستگاه انجام شد. در این ارزیابی همبستگی بالاتر از 30% درصد به‌عنوان اثر معنی‌دار در نظر گرفته شد (Lanzante, 2021). در آزمون MKT، برای متغیرهایی که خودهمبستگی آن‌ها قابل توجه است، تحلیل روند با استفاده از آزمون MK2 انجام شد تا خودهمبستگی در شناسایی روند واقعی کنترل شود. این در حالی است که برای متغیرهای بدون خودهمبستگی، آزمون MK1 استاندارد برای تحلیل روند به کار گرفته شد. آستانه ضریب خودهمبستگی برای متغیرهای مختلف براساس آستانه 95% درصد و با استفاده از زیرکلاس acf موجود در بسته statsmodels تعیین شد. در واقع برای هر گام زمانی مقدار ضریب خودهمبستگی و آستانه 95% درصد تعیین شد و از این طریق معنی‌داری میزان ضریب خودهمبستگی مشخص می‌شود. با وجود آستانه معنی‌داری بودن هر گام زمانی برای هر متغیر، صرفاً برای تشخیص بهتر، یک آستانه همبستگی 30% درصدی برای تمام متغیرها در نظر گرفته شد.

مراحل مدل‌سازی

به‌منظور ارائه تصویری کامل از مراحل انجام پژوهش و روشن شدن گام‌های عملیاتی، روند کلی مطالعه در شکل (۲) نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، پژوهش با جمع‌آوری داده‌های اقلیمی بارش و دما برای ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در بازه زمانی 2000 الی 2020 (1380 الی 1402) آغاز گردید. این داده‌ها شامل اطلاعات روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین و بارش بوده و از سازمان هواشناسی استان تهیه شدند تا پایه‌ای دقیق و قابل‌اعتماد برای تحلیل‌های بعدی فراهم گردد. پس از گردآوری داده‌ها، فرایند پیش‌پردازش داده‌ها انجام شد. در گام بعد، داده‌ها از مقیاس روزانه به مقیاس سالانه تبدیل شدند. این کار باهدف هموارسازی نوسانات کوتاه‌مدت و تمرکز بر الگوهای بلندمدت تغییرات اقلیمی انجام شد. سپس، تحلیل روند با بهره‌گیری از آزمون‌های MK1، MK2 و SPT انجام شد تا تغییرات افزایشی یا کاهش اقلیم در طول دوره مورد مطالعه مشخص شود. در مرحله پایانی، معنی‌داری روندها بر اساس شاخص‌های آماری از جمله مقدار معنی‌داری p -value، شیب روند Theil-Sen و الگوی مکانی-زمانی روندها ارزیابی شد. این بررسی‌ها امکان تشخیص مناطق و ایستگاه‌هایی با تغییرات قابل توجه را به‌صورت مستند فراهم می‌کرد.

و پایه‌ای برای تحلیل پیامدهای احتمالی تغییر اقلیم و برنامه‌ریزی منابع آب در استان فراهم کرد. لازم به ذکر است که کلیه محاسبات فوق در محیط برنامه‌نویسی Spyder IDE 3.8.10- Python 3.14.0 انجام شد. بدین ترتیب از بسته pymannkendall (Version: 1.4.3) برای تحلیل روند و پیاده‌سازی آزمون‌های MK1 و MK2 استفاده شد (Hussain et al, 2019). همچنین، بسته‌ی statsmodels (Version: 0.14.4) جهت پیاده‌سازی آزمون خودهمبستگی به کار گرفته شد (statsmodels.org). علاوه بر موارد فوق، بسته‌های pandas (Version: 2.2.3) و matplotlib (Version: 3.9.4) برای محاسبات ماتریسی و مصورسازی نتایج استفاده شد (Pandas) و (Matplotlib).



شکل ۲. نمایشی بصری از مراحل انجام پژوهش به تفکیک گام‌های محاسباتی مختلف و اجزای تشکیل دهنده

Fig 2. An illustration of used workflow comprising applied steps

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از تحلیل روند عناصر اقلیمی به تفکیک چهار ایستگاه منتخب استان سمنان شامل سمنان، دامغان، گرمسار و میامی در این بخش ارائه و تفسیر شده است. نتایج مربوط به تحلیل خودهمبستگی در ابتدا و تحلیل روند مؤلفه‌های اقلیمی به تفکیک ایستگاه‌های مختلف (مقایسه کارایی دو روش آماری MKT و SPT در تحلیل روند) در قسمت دوم نتایج و بحث ارائه شده است. تحلیل فضای شدت روند و پیش‌بینی تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی برای آینده در قسمت نهایی این بخش ارائه شده است.

تحلیل خودهمبستگی

نتایج بررسی اثر خودهمبستگی متغیرهای اقلیمی در تأخیرهای مختلف، به تفکیک ایستگاه‌ها، در جدول (۴) ارائه شده است (مقادیر معنی‌دار دارای زیرخط بوده و به صورت برجسته متمایز شده‌اند). بر اساس این نتایج، متغیرهای حداقل و میانگین دما در ایستگاه گرمسار و بارش در ایستگاه‌های دامغان و میامی، مقدار خودهمبستگی قابل توجهی نشان دادند. به طوری که در ایستگاه گرمسار همبستگی حداقل دما با تأخیر سه و چهار، به ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۴۹ و برای میانگین دما نیز ۰/۴۴ و ۰/۴۹ بدست آمد. همچنین، میزان خودهمبستگی بارش در دو ایستگاه دامغان و میامی نیز به ترتیب ۰/۳۲ در تأخیر دو و ۰/۳۴ با تأخیر یک بدست آمد. بر اساس نتایج همبستگی سایر متغیرها در هیچ یک از تأخیرها به آستانه معنی‌داری ۳۰ درصد نرسید و بنابراین اثر قابل توجهی از خودهمبستگی

بر روند آن‌ها مشاهده نشد. بدین ترتیب صرفاً برای متغیرهای دمای حداقل و میانگین در ایستگاه گرمسار از آزمون MK2 استفاده شد و برای سایر متغیرها در ایستگاه‌های مورد مطالعه آزمون MKT با استفاده از نسخه استاندارد آن (MK1) انجام شد. همچنین، کارایی روش اسپیرمن در تحلیل روند با استفاده از آزمون SPT انجام شد.

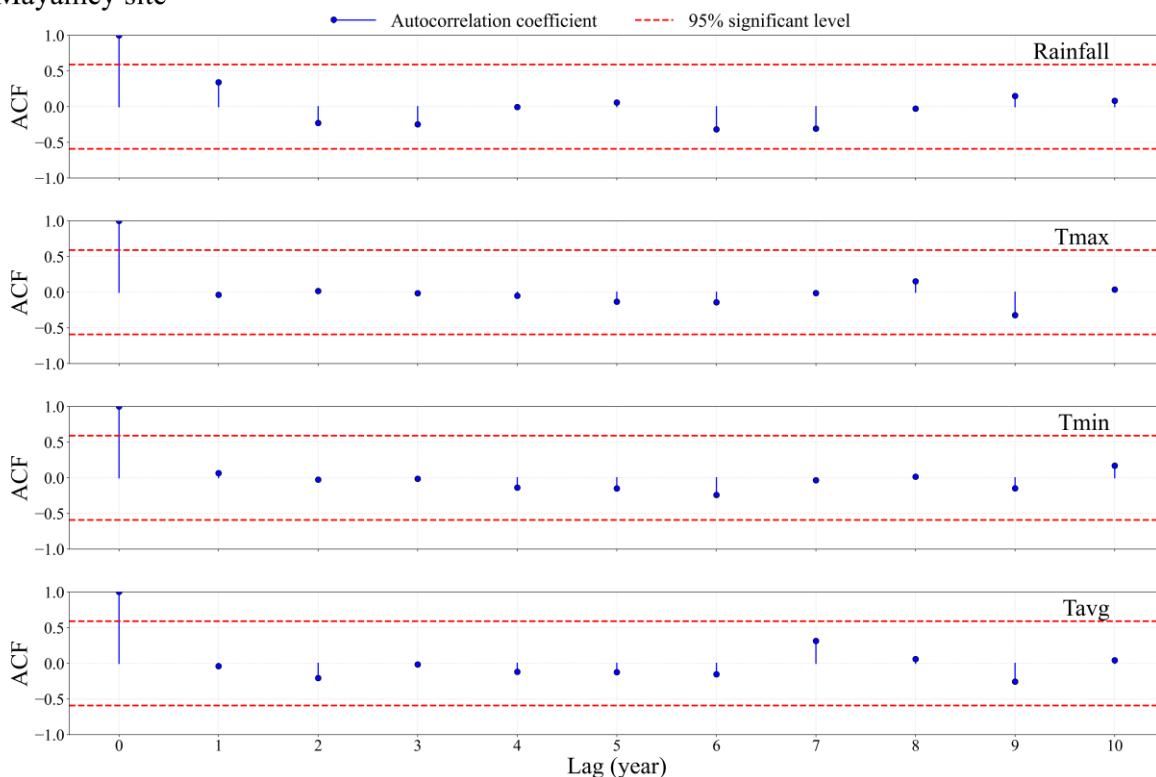
جدول ۴. نتایج تحلیل خودهمبستگی متغیرهای اقلیمی با تأخیرهای متوالی در ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه
Table 4. Results of auto correlation analysis with different lags for climate components across synoptic stations

ایستگاه Station	متغیر Variable	تأخیر ۱ Lag1	تأخیر ۲ Lag2	تأخیر ۳ Lag3	تأخیر ۴ Lag4	تأخیر ۵ Lag5
سمنان Semnan	بارش Rainfall	0.05	-0.10	-0.07	0.16	0.16
	حداکثر دما Tmax	-0.25	-0.15	-0.02	0.02	0.07
	حداقل دما Tmin	0.12	0.04	0.15	0.012	0.18
	میانگین دما Tavg	0.06	0.09	0.20	0.18	0.14
دامغان Damghan	بارش Rainfall	-0.04	-0.32	-0.19	0.28	-0.02
	حداکثر دما Tmax	-0.19	-0.02	-0.07	0.08	-0.15
	حداقل دما Tmin	-0.10	-0.03	-0.04	0.05	-0.07
	میانگین دما Tavg	0.03	-0.02	-0.10	0.02	-0.21
گرمسار Garmsar	بارش Rainfall	0.17	-0.009	-0.08	-0.08	-0.06
	حداکثر دما Tmax	-0.008	-0.26	0.01	0.03	0.08
	حداقل دما Tmin	0.60	0.49	0.44	0.26	0.08
	میانگین دما Tavg	0.14	0.08	0.27	0.25	0.08
میامی Meyami	بارش Rainfall	0.36	-0.22	-0.28	-0.004	0.05
	حداکثر دما Tmax	-0.03	0.01	-0.01	-0.05	-0.13
	حداقل دما Tmin	0.06	-0.02	-0.01	-0.13	-0.14
	میانگین دما Tavg	-0.04	-0.20	-0.01	-0.11	-0.12

به‌منظور نمایش یک تحلیل بصری و درک بهتر نمودار خودهمبستگی برای ایستگاه میامی در شکل (۴) ارائه شده است. با توجه به نمودار زیر و جدول فوق مشخص می‌شود که درنظر گرفتن آستانه همبستگی ۳۰ درصدی، خودهمبستگی در تأخیر یک را نشان می‌دهد. از این‌رو برای این متغیر و در این ایستگاه، از آزمون MK2 جهت تحلیل روند استفاده شد. لازم به ذکر است که این فرآیند

برای کلیه متغیرها و در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه انجام شده است و به جهت خلاصه‌سازی نمودار خودهمبستگی صرفاً برای ایستگاه میامی نمایش داده شده است.

Mayamey site



شکل ۳. نمایش تصویری از خودهمبستگی بارش و دما در ایستگاه سمنان

Fig 3. A visual showing of autocorrelation for rainfall and temperature in Semnan station

تحلیل روند آزمون من-کندال (MKT)

پس از تعیین اثر خودهمبستگی در متغیرهای اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه، نتایج تحلیل روند در آزمون MKT در جدول (۵) ارائه شد. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان گفت از نظر معنی‌داری، صرفاً دمای میانگین و حداقل ایستگاه گرمسار دارای روند معنی‌دار افزایشی در طول بازه مطالعاتی هستند. شیب روند صعودی دما برای دو متغیر دمای میانگین و حداقل در ایستگاه گرمسار به ترتیب ۰/۰۶ و ۰/۱ درجه سانتی‌گراد در سال به دست آمد و مقدار P-value گزارش شده به ترتیب ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۶ گزارش شد. این در حالی است که روند کلی بارش در منطقه (به‌استثنای ایستگاه میامی) به‌صورت غیرمعنی‌دار و کاهشی است. بیشترین و کمترین میزان کاهش بارش در سال به ترتیب برای ایستگاه‌های گرمسار و دامغان و با شیب کاهشی ۲/۴ و ۱/۸ میلی‌متر در سال به دست آمد (کاهش سالانه ۲/۴ میلی‌متری بارش در ایستگاه گرمسار). این در حالی است که روند تغییرات بارش در ایستگاه میامی به‌صورت غیرمعنی‌دار و افزایشی به دست آمد. به‌طوری‌که در این ایستگاه میزان بارش در هر سال ۶/۶۶ میلی‌متر افزایش داشته است. در خصوص دما نیز نتایج به دست آمده حاکی از آن است که روند کلی دما در تمام ایستگاه‌های در حال مطالعه افزایشی است. بیشترین و کمترین میزان افزایش دما به ترتیب در ایستگاه‌های میامی (۰/۱۴ درجه سانتی‌گراد در سال) و دامغان (۰/۰۲ درجه سانتی‌گراد) اتفاق افتاده است. نکته قابل تأمل در تحلیل روند مؤلفه‌های اقلیمی استان سمنان، تغییرات کم مؤلفه‌های اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک شهرستان دامغان است، به‌طوری‌که شیب تغییرات بارش و دما در این ایستگاه در مقایسه با سایر ایستگاه‌های سینوپتیک بسیار کمتر به دست آمد.

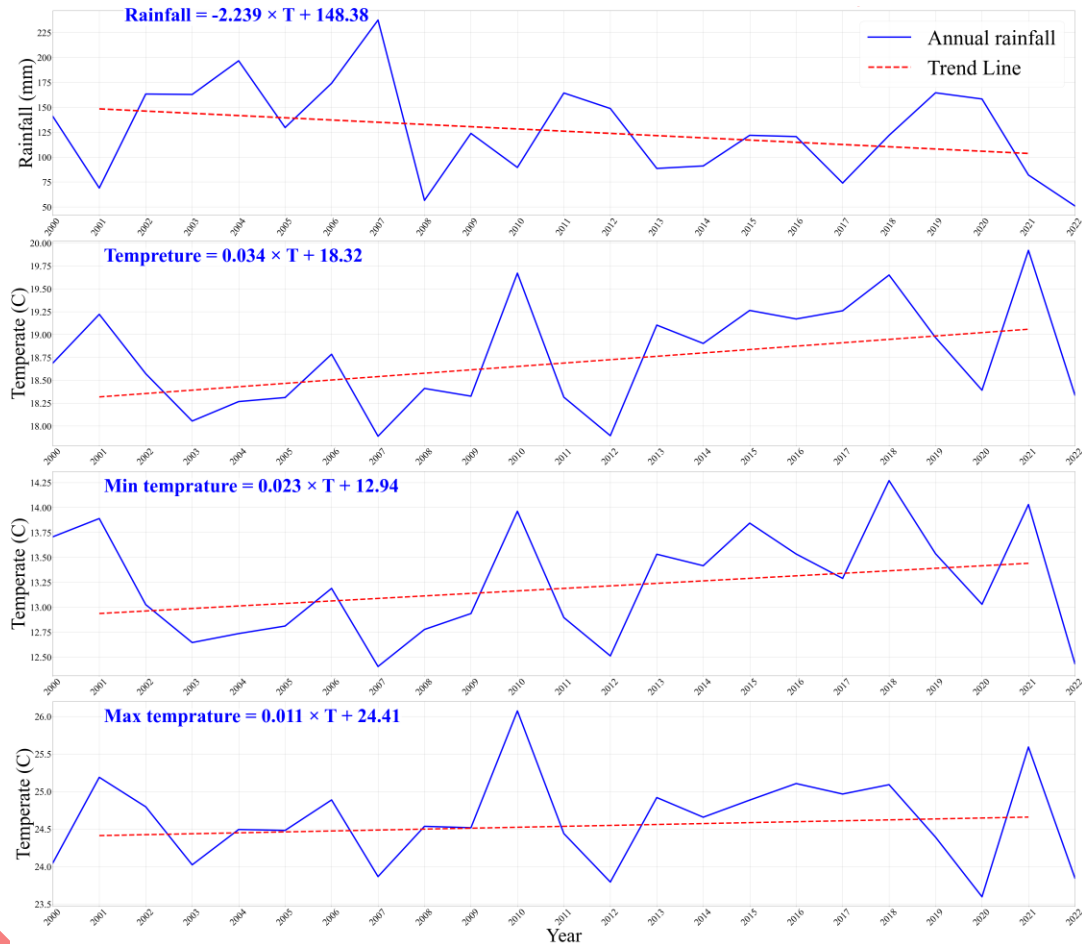
جدول ۵. نتایج ارزیابی مشخصات روند مؤلفه‌های اقلیمی با استفاده از آزمون MKT در ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه

Table 5. Results of MKT for climate components across synoptic stations

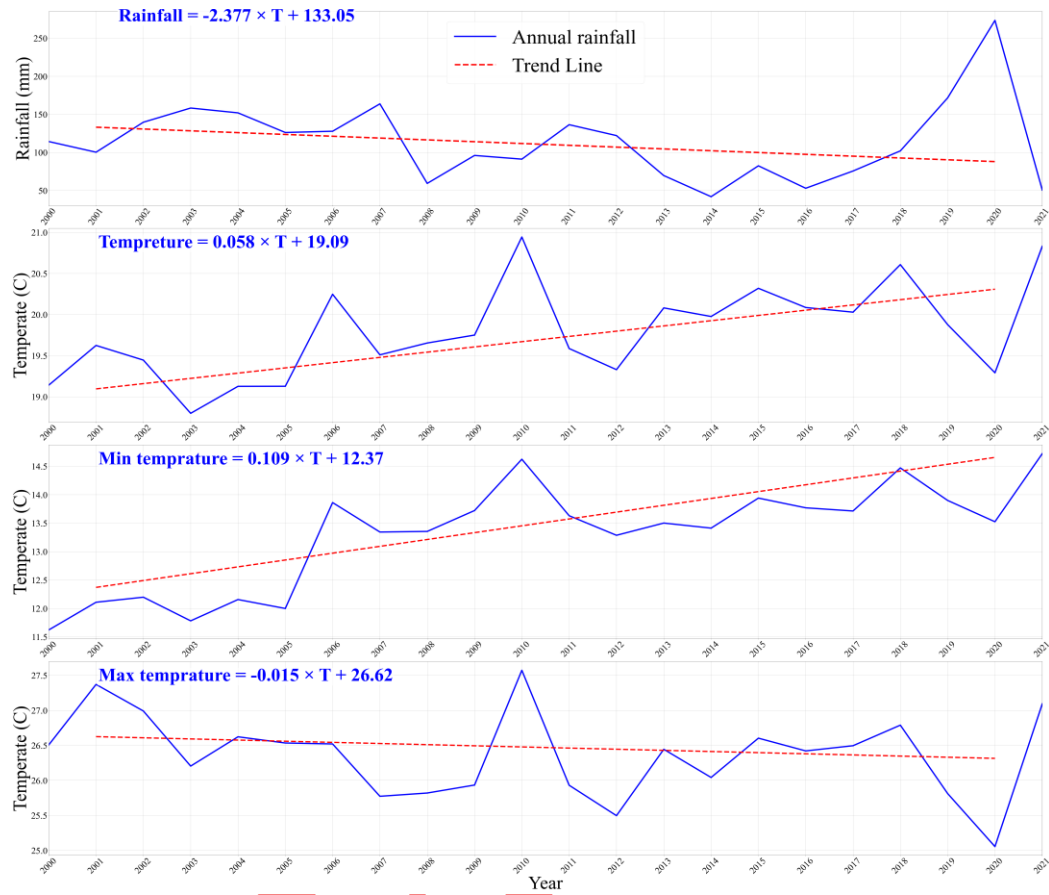
ایستگاه	متغیر	p-value	شدت روند	شیب	عرض از مبدأ
سمنان Semnan	بارش (میلی‌متر) Rainfal (mm)	0.113	-0.241	-2.238	148.384
	حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Tmax (C)	0.712	0.059	0.011	24.411
	حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) Tmin (C)	0.245	0.178	0.022	12.937
	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) Tavg (C)	0.081	0.265	0.034	18.318
دامغان Damghan	بارش (میلی‌متر) Rainfal (mm)	0.215	-0.2	-1.88	118.9620
	حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Tmax (C)	0.238	0.142	0.037	22.813
	حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) Tmin (C)	0.694	0.066	0.0073	10.843
	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) Tavg (C)	0.525	0.104	0.021	17.910
گرمسار Garmsar	بارش (میلی‌متر) Rainfal (mm)	0.194	-0.203	-2.377	133.048
	حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Tmax (C)	0.310	0.160	0.014	26.624
	حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) Tmin (C)	0.001	0.575	0.108	26.5
	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) Tavg (C)	0.006	0.419	0.075	19.94
میامی Meyami	بارش (میلی‌متر) Rainfal (mm)	0.350	0.236	6.662	63.967
	حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Tmax (C)	0.436	0.2	0.135	21.591
	حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) Tmin (C)	0.640	0.127	0.052	9.296
	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) Tavg (C)	0.275	0.270	0.145	16.389

به‌منظور ارائه یک ارزیابی بصری از تحلیل روند و نتایج به دست آمده، مصورسازی یافته‌های در قالب سری زمانی مؤلفه‌های اقلیمی همراه با خط روند و شیب تغییرات به ترتیب برای ایستگاه‌های سمنان، گرمسار، دامغان و میامی در اشکال (۴) الی (۷) نیز ارائه شده است. در این اشکال، در ردیف اول توالی زمانی بارش سالانه (خط آبی) نشان‌دهنده نوسانات قابل توجه بین سال‌های مرطوب و خشک است، اما روند خطی (خط چین قرمز)، به‌صورت پیوسته شیبی نزولی دارد که بیان‌گر کاهش تدریجی بارش در بلندمدت است. نمودار مندرج در ردیف دوم تا چهارم نیز یک توصیف از تغییرات زمانی دمای سالانه (میانگین، حداقل و حداکثر) را نشان می‌دهد. در این نمودار، علی‌رغم نوسانات حرارتی (کاهش‌های کوتاه‌مدت در برخی سال‌ها)، خط روند خطی افزایشی نشان از گرم‌تر شدن تدریجی اقلیم سمنان است. نتایج این پژوهش در خصوص افزایش دما با یافته‌های گزارش‌شده توسط Kamali et al, (2025) نیز همخوانی دارد.

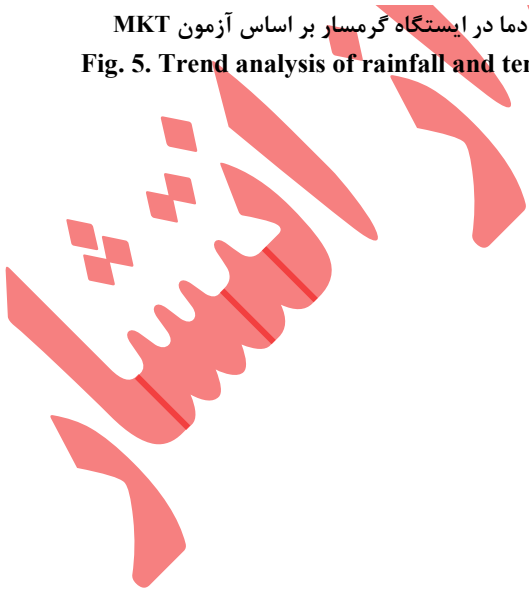
آن‌ها در بررسی داده‌های دمای حداکثر و حداقل در استان خراسان رضوی نشان دادند که هر دو متغیر دارای روند افزایشی معنادار بوده و شدت افزایش دمای کمینه بیشتر از دمای بیشینه است. اگرچه در مطالعه حاضر روندهای دمایی ایستگاه سمنان از نظر آماری معنادار نیستند، اما الگوی افزایشی مشاهده‌شده با الگوی گرم‌شدن منطقه‌ای گزارش‌شده توسط (Kamali et al, 2025) سازگاری دارد. از سوی دیگر، آن‌ها کاهش بارش سالانه (اغلب غیرمعنادار) را در بسیاری از ایستگاه‌ها گزارش کردند که این موضوع نیز با نتایج بارش ایستگاه سمنان (جدول ۵) تطابق کامل دارد.

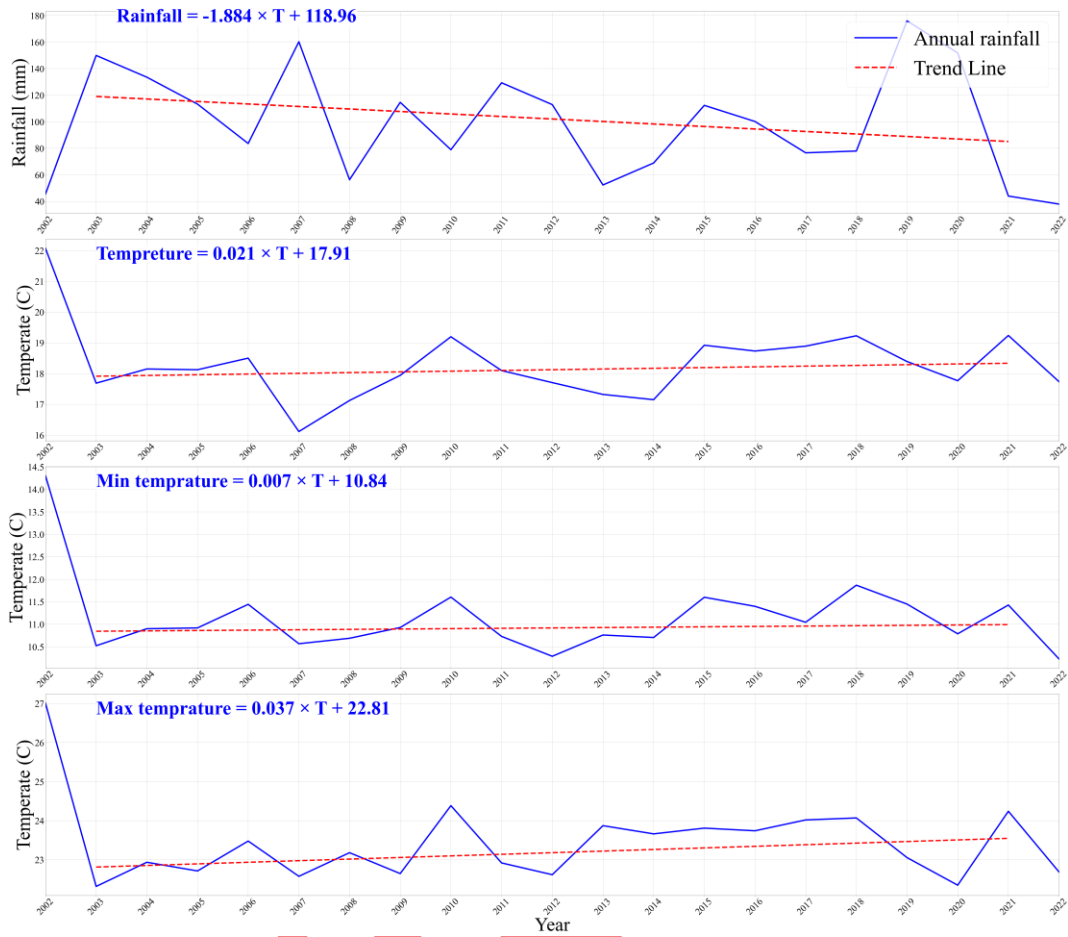


شکل ۴. نمایشی تصویری از مشخصات روند تغییرات بارش و دما در ایستگاه سمنان بر اساس آزمون MKT
Fig. 4. Trend analysis of rainfall and temperature at Semnan station using the MKT test.

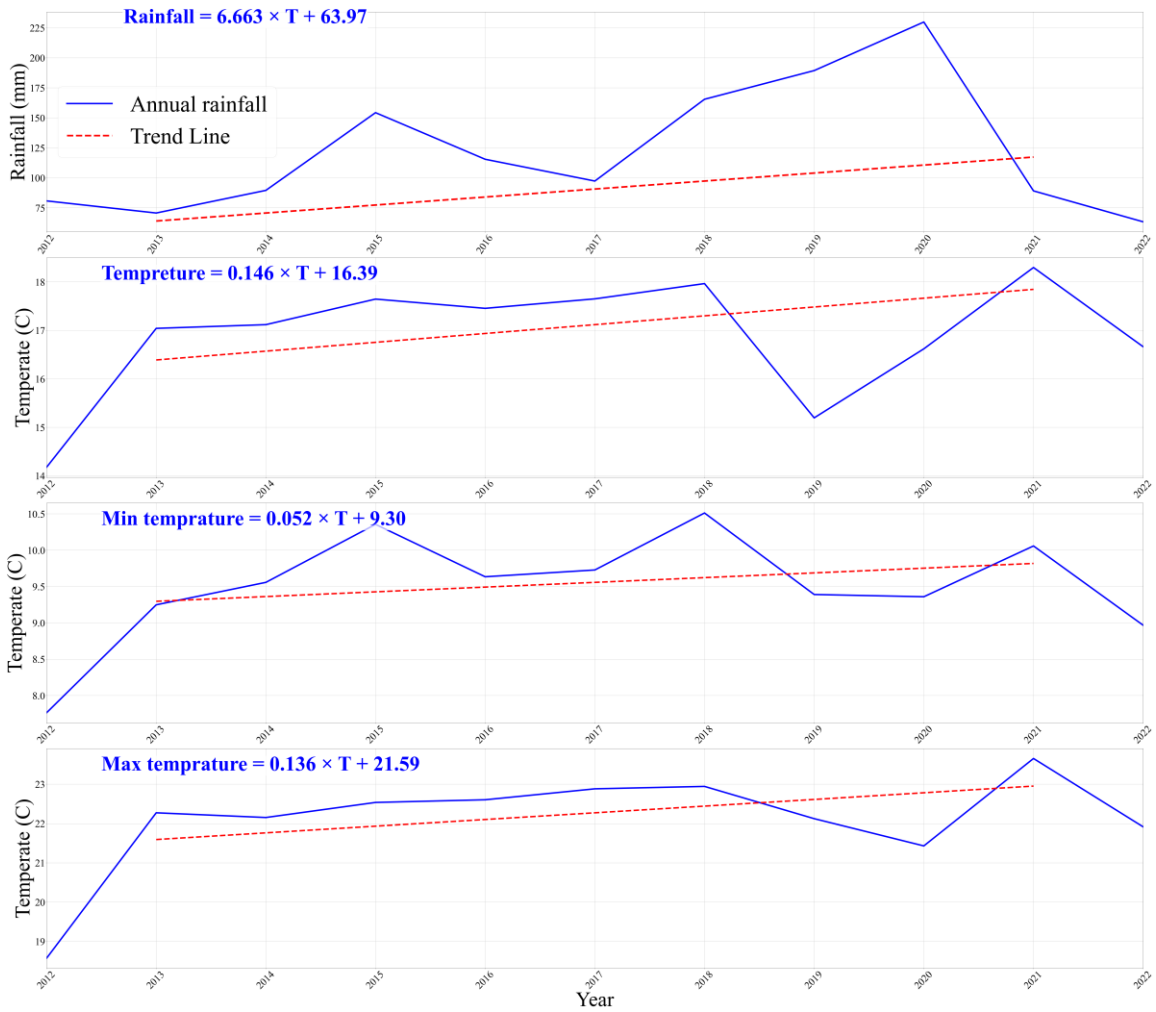


شکل ۵. نمایشی تصویری از مشخصات روند تغییرات بارش و دما در ایستگاه گرمسار بر اساس آزمون MKT
 Fig. 5. Trend analysis of rainfall and temperature at Garmsar station using the MKT test.

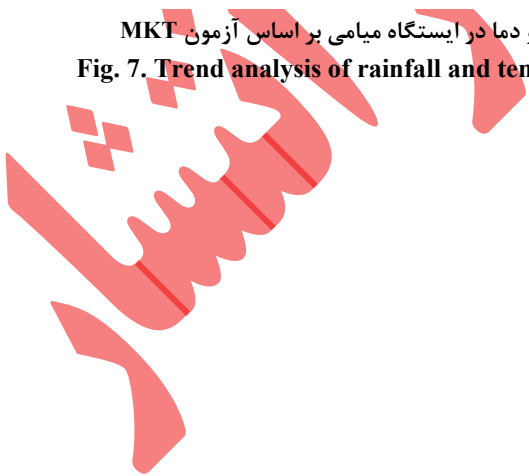




شکل ۶. نمایشی تصویری از مشخصات روند تغییرات بارش و دما در ایستگاه دامغان بر اساس آزمون MKT
 Fig. 6. Trend analysis of rainfall and temperature at Damghan station using the MKT test.



شکل ۷. نمایشی تصویری از مشخصات روند تغییرات بارش و دما در ایستگاه میامی بر اساس آزمون MKT
 Fig. 7. Trend analysis of rainfall and temperature at Mayamey station using the MKT test.



مقایسه آزمون SPT و MKT

نتایج به دست آمده از آزمون SPT برای تحلیل روند در جدول (۶) به تفکیک مؤلفه‌های و ایستگاه‌های مختلف ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده کاملاً مشخص است که تحلیل روند مؤلفه‌های بارش و دما به ترتیب به صورت کاهشی و افزایشی است. بر اساس نتایج این آزمون مشخص می‌شود که صرفاً دمای میانگین و در ایستگاه گرمسار دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح پنج درصد است.

جدول ۶. نتایج آزمون SPT برای متغیرهای اقلیمی در ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه

Table 6. Results of SPT test for climate components across synoptic stations

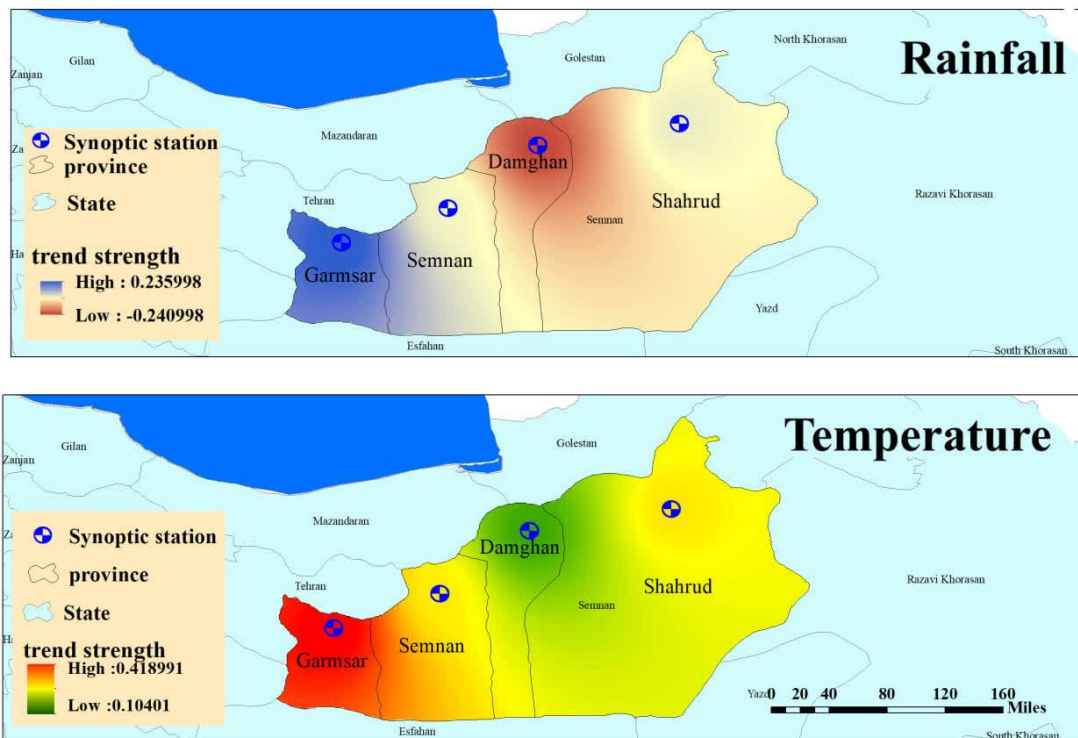
p-value	ضریب همبستگی رتبه‌ای Rank Correlation	متغیر Variable	ایستگاه Station
0.107	-0.344	بارش Rainfall	
0.819	0.050	حداکثر دما Tmax	سمنان Semnan
0.297	0.226	حداقل دما Tmin	
0.068	0.388	میانگین دما Tavg	
0.309	-0.232	بارش Rainfall	
0.501	0.154	حداکثر دما Tmax	دامغان Damghan
0.823	0.051	حداقل دما Tmin	
0.491	0.158	میانگین دما Tavg	
0.210	-0.277	بارش Rainfall	
0.285	0.237	حداکثر دما Tmax	
0.708	0.351	حداقل دما Tmin	گرمسار Garmsar
0.005	0.574	میانگین دما Tavg	
0.557	0.2	بارش Rainfall	

0.653	0.154	حداکثر دما Tmax میامی
0.653	0.154	محدافل دما Tmin Meyami
0.574	0.190	میانگین دما Tavg

بر اساس نتایج به دست آمده مشخص می‌شود که نتایج تحلیل روند آزمون SPT با گزاره‌های خروجی آزمون MKT مشابهت دارد. با این وجود باید توجه داشت که از نظر دقت و جزئیات آماری (مشخصات روند)، آزمون SPT در سطح پایین‌تری قرار دارد. آزمون MKT شاخص‌های متعددی همچون p-value، آماره Z، مقدار Tau و همچنین شیب روند و عرض از مبدأ را ارائه می‌دهد که امکان تفسیر عمیق‌تر و دقیق‌تر روند، جهت و شدت تغییرات را فراهم می‌کند. در مقابل، آزمون SPT تنها مقادیر p-value و ضریب همبستگی رتبه‌ای را ارائه می‌کند و فاقد قابلیت تعیین شدت روند بر اساس شیب واقعی سری زمانی است. علاوه بر این، سنجش روند با استفاده از شیب تغییرات (در آزمون MKT)، امکان بیان کمی و فیزیکی شدت تغییرات را در طول بازه مطالعاتی فراهم می‌کند. مضاف بر این، در آزمون MKT برای تحلیل روند مؤلفه‌های اقلیمی در شرایطی که خودهمبستگی وجود دارد، راهکارهای عملیاتی مشخصی ارائه شده است؛ بنابراین، مقایسه دو روش نشان می‌دهد که اگرچه آزمون SPT می‌تواند یک تحلیل فوری و اولیه از وضعیت روند ارائه دهد، اما آزمون MKT به دلیل جامعیت آماری بیشتر، حساسیت بالاتر به تغییرات یکنواخت و امکان برآورد شیب واقعی روند، قابلیت اعتمادپذیری بیشتری برای تحلیل روند اقلیمی فراهم می‌کند (Xing et al, 2018). با توجه به گزاره فوق، نتایج ارائه شده در قسمت‌های پیشروی، صرفاً بر اساس نتایج آزمون MKT صورت گرفته است.

ارزیابی مکانی-زمانی در تحلیل روند

به‌منظور ارائه یک درک بهتر از تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی، نقشه تغییرات مکانی-زمانی شدت تغییر روند (بر اساس پارامتر τ در آزمون MKT) برای مؤلفه‌های بارش و دمای میانگین سالانه در محدوده استان سمنان به دست آمد و به‌صورت یک ارزیابی مصور در شکل (۷) ارائه شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان استنباط کرد که تغییرات فضایی دما در دوره مطالعاتی با یک روند ضعیف افزایشی همراه بوده است. با این وجود، روند افزایشی دما در گرمسار (۰/۴۲) قوی‌تر از سایر نواحی و ایستگاه دامغان روند افزایشی بسیار ضعیفی (۰/۱۰۴) برای دما دارد. در خصوص روند بارش و مطابق با شکل (۹) مشخص شد که کل منطقه مورد مطالعه به‌صورت همگن با یک روند ضعیف کاهش‌ی همراه است (تغییرات شدت در محدوده ۰/۲ در کل منطقه)؛ بنابراین، به‌طور کلی می‌توان گفت که بروز تغییرات زمانی در رفتار مؤلفه‌های اقلیمی (هم بارش و دما) در نواحی غربی بسیار محتمل‌تر از سایر بخش‌های استان است. در این بین روند افزایشی دما به‌طور کلی از روند کاهش‌ی بارش قوی‌تر و احتمال وقوع بیشتری دارد.



شکل ۸. ارزیابی مکانی-زمانی تغییرات بارش و دما در محدوده منطقه مورد مطالعه طی دوره ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۲ میلادی.
Fig 8. Spatial-Temporal examination of Rainfall and Temperature's variability across case study during 2000-2022

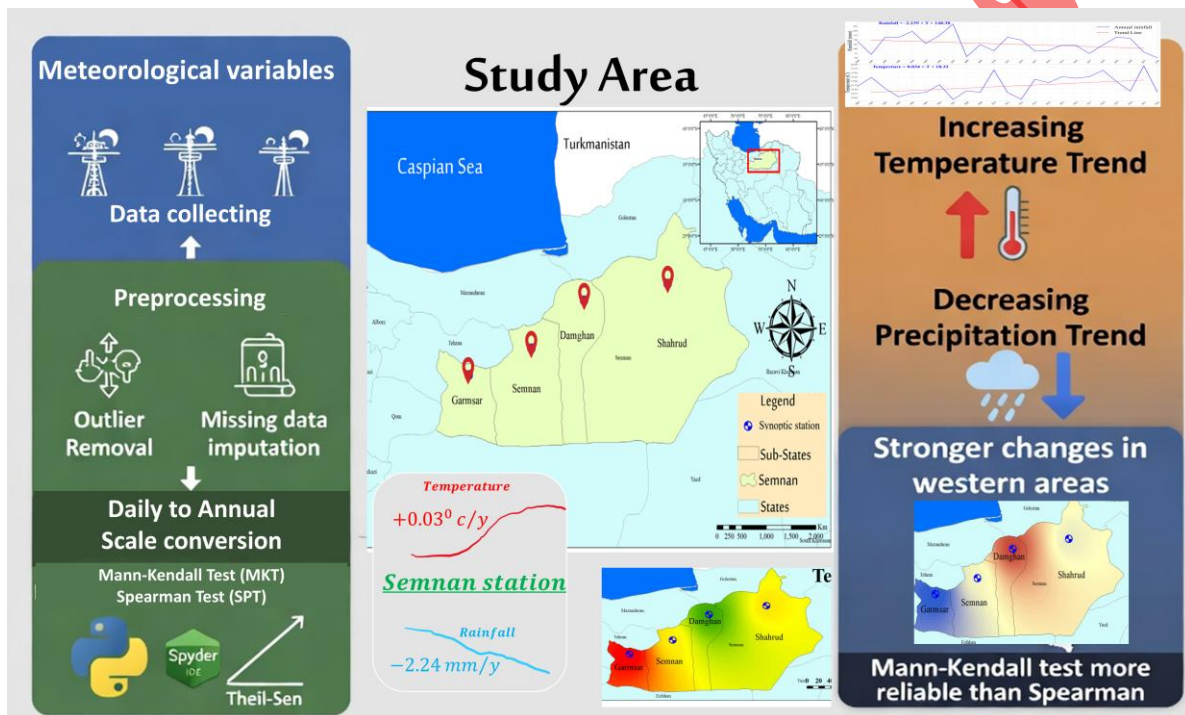
نتیجه گیری

این پژوهش با هدف تشخیص روند متغیرهای اقلیمی بارش و دما در بازه زمانی ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۲ میلادی (۱۳۸۰ الی ۱۴۰۲) برای ایستگاه‌های سینوپتیک استان سمنان و بررسی تغییرات مکانی-زمانی انجام شد. داده‌های روزانه از سازمان هواشناسی گردآوری شد و پس از انجام اقدامات اولیه، مبادرت به تحلیل روند با استفاده از دو آزمون MKT و SPT (من کندال و اسپیرمن) شد. همچنین، بررسی اثر خودهمبستگی به تفکیک ایستگاه‌های مختلف و برای هر متغیر به صورت مجزا انجام شد. در این بخش مهم‌ترین یافته‌های پژوهش، در کنار محدودیت‌ها و اهداف پژوهش آینده به تفکیک بخش‌های مختلف ارائه شده است.

بر اساس یافته‌های این پژوهش در خصوص ارزیابی اثر خودهمبستگی می‌توان ادعان داشت که بیشتر متغیرها در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای استقلال زمانی هستند و تحلیل روند برای این دسته از متغیرها با مشکل خاصی روبرو نخواهد بود. یافته‌های این مطالعه ثابت کرد که اثر خودهمبستگی صرفاً برای دو متغیر حداقل و میانگین دما در ایستگاه گرمسار و بارش در ایستگاه‌های دامغان و میامی قابل توجه (بیش از ۳۰ درصد) بود و برای تحلیل روند بایستی از آزمون‌های با قابلیت حذف این اثر استفاده کرد.

مطابق با ارزیابی تحلیل روند با دو آزمون MKT و SPT می‌توان استنباط کرد که از نظر معنی‌داری، در طول بازه مطالعاتی (۲۰۰۰ الی ۲۰۲۲) صرفاً دمای میانگین و حداقل ایستگاه گرمسار دارای روند معنی‌دار افزایشی بوده و تغییرات زمانی دمای میانگین و حداقل در این ایستگاه به ترتیب افزایش ۰/۰۶ و ۰/۱ درجه سانتی‌گراد در هر سال را نشان داد. در دو ایستگاه دامغان و سمنان، روند کلی بارش در منطقه به صورت غیرمعنی‌دار و کاهشی بود. بیشترین و کمترین میزان کاهش بارش در سال به ترتیب برای ایستگاه‌های گرمسار و دامغان و با شیب کاهشی ۲/۴ و ۱/۸ میلی‌متر در سال بدست آمد (کاهش سالانه ۲/۴ میلی‌متری بارش در ایستگاه گرمسار). این در حالی است که روند تغییرات بارش در ایستگاه میامی به صورت غیرمعنی‌دار و افزایشی به دست آمد. به طوری که در این ایستگاه میزان بارش در هر سال ۶/۶۶ میلی‌متر افزایش داشته است. در خصوص دما نیز نتایج بدست آمده حاکی از آن است که روند

کلی دما در تمام ایستگاه‌های در حال مطالعه افزایشی است. بیشترین و کمترین میزان افزایش دما به ترتیب در ایستگاه‌های میامی (۰/۱۴ درجه سانتی‌گراد در سال) و دامغان (۰/۰۲ درجه سانتی‌گراد) اتفاق افتاده است. مقایسه هم‌زمان کاربرد دو آزمون MKT و SPT در تحلیل روند مؤلفه‌های اقلیمی نیز اثبات کرد که آزمون MKT به دلیل جامعیت آماری بیشتر، حساسیت بالاتر به تغییرات سری زمانی (در نظر گرفتن اثر خودهمبستگی) و امکان برآورد شیب واقعی روند، قابلیت اعتمادپذیری بیشتری برای تحلیل روند اقلیمی فراهم می‌کند. یافته‌های این مطالعه در مورد بررسی تحلیل مکانی-زمانی روند اثبات کرد که روند افزایشی دما قوی‌تر و محتمل‌تر از روند کاهش بارش در منطقه است. همچنین، بر اساس نتایج به دست آمد می‌توان بیان کرد که روند تغییرات بارش و دما در نواحی غربی استان سمنان بسیار قوی‌تر از سایر مناطق است.



شکل ۹. نمایشی چکیده از مراحل و نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر با هدف تحلیل روند مؤلفه‌های اقلیمی استان سمنان.
Fig 9. Schematic overview of the analytical approach and major results of the trend analysis of precipitation and temperature in Semnan Province, Iran.

با وجود یافته‌های گزارش شده در فوق، بایستی به برخی محدودیت‌های موجود در مسیر پژوهش این تحقیق نیز اشاره کرد. نخست، محدودیت دسترسی به داده‌ها باعث شد تا تعداد ایستگاه‌های مورد بررسی به چهار ایستگاه کاهش یابد. از این رو، توصیه مؤکد می‌شود که پژوهش‌های آینده با تقویت مجموعه داده‌های اولیه غنای بیشتری به تحلیل روند اضافه کنند. محدودیت دوم در مطالعه حاضر، تنوع کم اقلیم‌های متفاوت در ایستگاه‌های مورد مطالعه است که یکنواختی در بیان نتایج را تشدید می‌کند؛ بنابراین، قویاً توصیه می‌شود که به جهت افزایش جذابیت نتایج و انعکاس بیشتر یافته‌ها، تلاش مضاعفی جهت اضافه کردن تنوع اقلیمی و جغرافیایی (ضمن رعایت تمایز آماری) در انتخاب ایستگاه‌های مورد مطالعه ایجاد شود.

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental science and pollution research*, 29(28), 42539-42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Aghsaei, H., Dinan, N. M., Moridi, A., Asadolahi, Z., Delavar, M., Fohrer, N., & Wagner, P. D. (2020). Effects of dynamic land use/land cover change on water resources and sediment yield in the Anzali wetland catchment, Gilan, Iran. *Science of the Total Environment*, 712, 136449. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136449>
- Ahmad, H., Zafar, S. A., Naeem, M. K., Shokat, S., Inam, S., Rehman, M. A. U.,... & Khan, M. R. (2022). Impact of pre-anthesis drought stress on physiology, yield-related traits, and drought-responsive genes in green super rice. *Frontiers in Genetics*, 13, 832542. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.832542>
- Ataei, H. and Yosefi far, B. (2015). Study the Trend of Overnight Temperature Changes of Kerman Province and its Impressibility from Total Solar Irradiance (TSI) During the Past Half Century. *Geography and Development*, 13(40), 195-212. <https://doi.org/10.22111/gdij.2015.2106>. [In Persian]
- Beaulieu, C., & Killick, R. (2018). Distinguishing trends and shifts from memory in climate data. *Journal of Climate*, 31(23), 9519-9543. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0863.1>
- Behzad, A. M., Babayeemehr, A., Rohani, K., & Darabi, M. (2023). Resolving the Water Crisis with an International Law Approach-Case Study: Middle East. *Emergency Management*, 11, 165-178. https://www.joem.ir/article_702188.html. [In Persian]
- Bharathkumar, L., & Mohammed-Aslam, M. A. (2018). Long-term trend analysis of water-level response to rainfall of Gulbarga watershed, Karnataka, India, in basaltic terrain: hydrogeological environmental appraisal in arid region. *Applied Water Science*, 8(4), 112. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0723-9>
- Destouches, C., Diedhiou, A., Anquetin, S., Hingray, B., Pierre, A., Boisson, D., & Joseph, A. (2024). Changes in extreme precipitation patterns over the greater Caribbean and teleconnection with large-scale sea surface temperature. *Earth System Dynamics Discussions*, 2024, 1-23. <https://doi.org/10.5194/esd-16-497-2025>
- Di Cecco, G. J., & Gouhier, T. C. (2018). Increased spatial and temporal autocorrelation of temperature under climate change. *Scientific reports*, 8(1), 14850. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33217-0>
- Esit, M., Yuce, M. I., Deger, I. H., & Yasa, I. (2024). Trend and variability analysis in rainfall and temperature records over Van Province, Türkiye. *Theoretical & Applied Climatology*, 155(1). <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04644-5>
- Faquseh, H., & Grossi, G. (2024). Trend analysis of precipitation, temperature and snow water equivalent in Lombardy region, northern Italy. *Sustainable water resources management*, 10(1), 18. <https://doi.org/10.1007/s40899-023-00992-2>
- Fattah, M. A., Hasan, M. M., Dola, I. A., Morshed, S. R., Chakraborty, T., Kafy, A. A.,... & Shohan, A. A. A. (2024). Implications of rainfall variability on groundwater recharge and sustainable management in South Asian capitals: An in-depth analysis using Mann Kendall tests, continuous wavelet coherence, and innovative trend analysis. *Groundwater for Sustainable Development*, 24, 101060. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101060>
- Ghareh Chayi, H. R., Salajegheh, A., Noorolahi, M., & Khosravi, H. (2015). Effects excluding the effect of autocorrelation in analysis trend of hydro-climatic variables (Fars Province). *Desert Management*, 3(6), 13-24. <https://doi.org/10.22034/jdmal.2015.21669>
- Ghazi, B., Salehi, H., Cheshami, M., Zeydalinejad, N., & Linh, N. T. T. (2025). Projection of climate change impact on main climate variables and assessment of the future of Köppen–Geiger climate classification in Iran. *Acta Geophysica*, 73(2), 2017-2027. <https://doi.org/10.1007/s11600-024-00599-2>
- Hamed, K. H., & Rao, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated 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)

- Herzschuh, U., Böhmer, T., Chevalier, M., Hébert, R., Dallmeyer, A., Li, C.,... & Zheng, Z. (2023). Regional pollen-based Holocene temperature and precipitation patterns depart from the Northern Hemisphere mean trends. *Climate of the Past*, 19(7), 1481-1506. <https://doi.org/10.5194/cp-19-1481-2023>
- Hussain et al., (2019). pyMannKendall: a Python package for non-parametric Mann-Kendall family of trend tests.. *Journal of Open Source Software*, 4(39), 1556, <https://doi.org/10.21105/joss.01556>
- Jamali, M., Gohari, A., & Akhavan Saraf, G. (2024). Spatiotemporal evaluation of temperature and precipitation extremes indices over Iran under the influence of climate change. *Water and Irrigation Management*, 14(3), 743-752. <https://doi.org/10.22059/jwim.2024.374814.1156> [In Persian]
- Kabir, M., Habiba, U. E., Khan, W., Shah, A., Rahim, S., De los Rios-Escalante, P. R.,... & Shafiq, M. (2023). Climate change due to increasing concentration of carbon dioxide and its impacts on environment in 21st century; a mini review. *Journal of King Saud University-Science*, 35(5), 102693. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102693>
- Kamali, S. , GHAHREMAN,N. and Bannayan,M. (2025). Evaluation of quantile mapping correction methods on AgMERRA and ERA5 precipitation and air temperature reanalysis data in Khorasan Razavi Province. *Journal of Agricultural Meteorology*, 13(1), 3-21. <https://doi.org/10.22125/agmj.2025.481865.1175>
- Kendall, M. G., & Gibbons, J. D. (1962). Rank correlation methods. Khanmohammadi, N., Rezaie, H., & Behmanesh, J. (2021). The effect of autocorrelation on the meteorological parameters trend. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 133(3), 565-577. <https://doi.org/10.1007/s00703-020-00762-1>
- Klaus, J., Chun, K. P., & Stumpp, C. (2015). Temporal trends in $\delta^{18}\text{O}$ composition of precipitation in Germany: Insights from time series modelling and trend analysis. *Hydrological Processes*, 29(12), 2668-2680. <https://doi.org/10.1002/hyp.10395>
- Lam, Q. D., Meon, G., & Pätzsch, M. (2021). Coupled modelling approach to assess effects of climate change on a coastal groundwater system. *Groundwater for Sustainable Development*, 14, 100633. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100633>
- Lanzante, J. R. (2021). Testing for differences between two distributions in the presence of serial correlation using the Kolmogorov–Smirnov and Kuiper's tests (NOAA Technical Memorandum NWS NCEP-PM-174). National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/32266>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Mazidi, A., & Toofani, H. (2021). investigation of temperature change trend of Urmia synoptic station by Menandal. *Geography and Human Relationships*, 4(2), 357-370. DOR: [20.1001.1.26453851.1400.4.2.20.4](https://doi.org/10.26453851.1400.4.2.20.4) [In Persian]
- Mishra, A. K., Özger, M., & Singh, V. P. (2011). Association between uncertainties in meteorological variables and water-resources planning for the state of Texas. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(12), 984-999. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000150](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000150).
- Moghtaderi, G. (2025). Investigating the possibility of climate change in Sepidan city using the non-parametric Mann-Kendall test. *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 6(1), 175-190. <https://doi.org/10.22034/gsma.2025.2041793.1024> [In Persian]
- Mudelsee, M. (2019). Trend analysis of climate time series: A review of methods. *Earth-science reviews*, 190, 310-322. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.12.005>
- Muia, V. K., Opere, A. O., Ndunda, E., & Amwata, D. A. (2024). Rainfall and temperature trend analysis using Mann-Kendall and Sen's slope estimator test in Makueni County, Kenya. *Journal of Material Environmental Sciences.*, 15 (3), 349, 367. https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol15/vol15_N3/JMES-2024-150322-Muia.pdf
- Nazeri Tahroudi, M., & Khozaymeh Nejad, H. (2017). Evaluation the trend of South-West of Asia precipitations. *Water and Soil*, 31(5), 1511-1525. <https://doi.org/10.22067/jsw.v31i5.62604> [In Persian]

- Noroozi, A. A., Homaei, M., & Torkaman, M. (2023). Analysis of the trends of climate parameters using Mann Kendal test (TFPW-MK) in Khuzestan province. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(2), 6510-6521. <https://doi.org/10.22034/jess.2022.174474.1130>
- Pathak, A. A., & Dodamani, B. M. (2019). Trend analysis of groundwater levels and assessment of regional groundwater drought: Ghataprabha River Basin, India. *Natural Resources Research*, 28(3), 631-643. <https://doi.org/10.1007/s11053-018-9417-0>
- Sa'adi, Z., Shahid, S., Ismail, T., Chung, E. S., & Wang, X. J. (2019). Trends analysis of rainfall and rainfall extremes in Sarawak, Malaysia using modified Mann–Kendall test. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 131(3), 263-277. <https://doi.org/10.1007/s00703-017-0564-3>
- Sen, PK. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *Journal of the American statistical association*, 63(324),1379-1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Teresa, B. (2021). Impact of climate change on food availability—A review. *Int J Food Sci Agric*, 5, 465-470. <https://doi.org/10.26855/ijfsa.2021.09.017>
- Theil, H. 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, 3; confidence regions for the parameters of polynomial regression equations, *Indagationes Mathematicae*, 1(2), 467-482. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2546-8_20
- Vafakhah, M., Bakhshi Tirgani, M., & Khazaei, M. (2013). Trend analysis of precipitation and streamflow in the Keshfroud watershed. *Quarterly Journal of Geography and Development*, 29, 77–90. <https://doi.org/10.22111/gdij.2013.123> [In Persian]
- Valian, T., Mofidi Shemirani, S. M., & Mahdavi Zarandi, M. (2021). Explaining the physical features of wind catchers in the architecture of Semnan. *Indigenous City and Architecture*, 12, 99-126. <https://doi.org/10.22075/ceasr.2024.32405.1023> [In Persian]
- Wang, X. L. (2008). Accounting for autocorrelation in detecting mean shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test. *Journal of applied meteorology and climatology*, 47(9), 2423-2444. <https://doi.org/10.1175/2008JAMC1741.1>
- Xing, L., Huang, L., Chi, G., Yang, L., Li, C., & Hou, X. (2018). A dynamic study of a karst spring based on wavelet analysis and the Mann-Kendall Trend Test. *Water*, 10(6), 698. <https://doi.org/10.3390/w10060698>
- Yousefi Mobarhan, E., & Khaleghi, A. (2024). Analyzing the Trend of Changes in the Dust Storm Index (DSI) and Its Relationship with the Meteorological Drought in the Arid Climate (Case Study: Semnan Province). <https://doi.org/10.48308/envs.2024.1369>