

Detection of structural breaks and nonlinear trends in temperature and precipitation in Kermanshah Province

Manuchehr Farajzadeh Asl   ¹ | Faryan Mohammadi Nejad  ²

1. Professor Climatology, Tarbiat Modares University of Tehran

2. PhD candidate of Tarbiat Modares University

Article Info:

Article type:
Research Article

Date:

Received: 2025.06.10

Received: 2025.07.01

Accepted: 2025.07.06

Published:

Keywords:

Climate change, Structural break, Innovative Trend Analysis, SNHT, Pettitt

Abstract: Analysis of climatic changes in semi-arid regions requires the detection of nonlinear behaviors and structural breaks. This study was conducted with the aim of simultaneously detecting uniform trends and regime shifts in temperature and precipitation in Kermanshah Province. Annual mean temperature and precipitation data from 12 synoptic stations were extracted for the period 1989–2018. First, uniform trends were estimated using the Mann–Kendall test and Sen's slope estimator. Then, the Innovative Trend Analysis (ITA) was employed to examine the asymmetry of trends and sub-trends. In a complementary step, the Pettitt and SNHT tests were applied to identify structural breaks. The results showed that annual temperature increased at all stations, with significant structural breaks occurring in the late 1990s and mid-2000s; particularly, Qasr-e Shirin and Sonqor stations showed higher synchrony and significance in temperature breaks. In contrast, precipitation exhibited more scattered and location-dependent behavior, and only in Gilan-e Gharb was a significant break observed in both tests, which was accompanied by a jump in mean precipitation after the break. The before/after analysis showed that temperature increase was evident at most stations after the break points, whereas precipitation changes were heterogeneous in terms of sign and magnitude.

Cite this article: Farajzadeh Asl, M, Mohammadi Nejad, F. (2025). Detection of structural breaks and nonlinear trends in temperature and precipitation in Kermanshah Province. *Climat Change and Climate Disasters*, 4(7), 233-273.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan.



Extended Abstract

Introduction

The most obvious signs of climate change in recent decades are increasing temperatures and changing precipitation patterns, which have far-reaching consequences for food security, hydro-climatic hazards, the water cycle, and the livelihoods of human societies. In the Middle East and Eastern Mediterranean region, evidence shows that the intensity of extreme temperature events and the rate of warming in most regions are faster than the global average, which can increase the fragility of water systems and sensitive ecosystems. Accordingly, the present paper aims to identify and quantify the uniform trend of annual temperature and precipitation at stations in Kermanshah Province.

Data and Methods

The present study aimed to simultaneously analyze monotonic trends and structural breaks in temperature and precipitation variables in Kermanshah Province over the statistical period 1368–1397,

based on data from 12 synoptic stations. In semi-arid regions, merely identifying linear trends is not sufficient to explain climatic behavior, as climate changes often occur in a nonlinear and heterogeneous manner and are accompanied by shifts in statistical regimes. Therefore, in this study, long-term trends were first examined using the Mann–Kendall test and Sen's slope estimator. Subsequently, Innovative Trend Analysis (ITA) was applied to reveal sub-trends and the asymmetric nature of the changes. As a complementary step, the Pettitt and SNHT tests were employed to identify structural breaks, and the reference break year for separating the before-and-after periods was considered to be the Pettitt break year (in cases where the two tests agreed, the robust break year was reported).

Results and Discussion

The results of the Mann–Kendall test showed that the mean annual temperature exhibited an increasing trend at all stations, and among the stations examined, seven experienced statistically significant increases. The

highest value of the Z statistic was observed at Sonqor with $Z=3/05$, indicating a very strong increasing trend at this station. Following that, Kermanshah ($Z=2/93$), Sarpol-e Zahab ($Z = 2/87$), Paveh ($Z = 2/60$), Sahneh ($Z = 2/37$), Qasr-e Shirin ($Z = 2/23$), and Islamabad-e Gharb ($Z = 2/12$) also showed statistically significant temperature increases. In the other five stations, although the temperature trend was increasing, it did not reach statistical significance. This pattern indicates that warming in Kermanshah Province is not only widespread but also more pronounced and intense in certain geographical centers.

In contrast, annual precipitation exhibited a more complex and heterogeneous behavior. The results of the Mann–Kendall test indicated that precipitation showed a decreasing trend at 6 stations and an increasing trend at the other 6 stations; however, none of the decreasing trends were statistically significant. Among the increasing trends, only the Gilan-e Gharb station showed a statistically significant

increase in precipitation with $Z=2/42$. For example, at Sarpol-e Zahab the value was $Z=-1/57$, which, although indicating a decrease in precipitation, was not statistically significant. These results indicate that, unlike temperature, precipitation in Kermanshah Province does not follow a uniform and coherent pattern and, rather than reflecting a stable regional trend, it is influenced by spatial and multi-scale variability. The Innovative Trend Analysis (ITA) also confirmed this behavioral difference. In the precipitation series, the patterns were not uniform and different parts of the province showed different responses. Increasing precipitation trends were observed at the stations of Gilan-e Gharb, Paveh, Sonqor, Harsin, Qasr-e Shirin, and to some extent Kangavar, whereas Islamabad-e Gharb, Sarpol-e Zahab, Sahneh, Kermanshah, Ravansar, and Javanrud were mostly associated with decreasing trends. Nevertheless, the magnitude of these trends was weak and close to the equilibrium line at most stations, and only Gilan-e

Gharb emerged as the most pronounced case of increasing precipitation. For temperature, the ITA results showed that at the stations of Sarpol-e Zahab, Qasr-e Shirin, Sahneh, Kermanshah, Paveh, Sonqor, and Islamabad-e Gharb, a considerable portion of the data points in the second half of the period lies above the 1:1 line, indicating intensified warming in recent years and higher temperature values during the latter half of the study period.

The Pettitt and SNHT tests for detecting structural breaks provided a clearer picture of the climatic evolution of the region. For temperature, significant break points occurred in the late 1990s and the mid-2000s, indicating that the thermal climate of the province diverged from its previous state at two important periods and entered a new regime. The greater simultaneity and statistical significance of the temperature breakpoints at the Qasr-e Shirin and Sonqor stations make these two locations prominent centers of thermal climate change within the

province. After these breakpoints, temperature increases became more pronounced at most stations, and this pattern can be interpreted as evidence of accelerated regional warming.

For precipitation, the results of the structural break analysis were more scattered and, unlike temperature, no single year or uniform break period was identified for the entire province. A statistically significant break was observed only at the Gilan-e Gharb station in both tests, accompanied by a jump in the mean precipitation after the breakpoint. At the other stations, precipitation breakpoints were either weak or did not follow a coherent spatial pattern.

The before–after analysis showed that temperature increases after the breakpoints are evident at most stations, whereas precipitation changes are heterogeneous in both direction and magnitude. The simultaneity of temperature breakpoints indicates a regional signal of accelerated warming, while precipitation breakpoints appear to be more influenced by multi-scale variability.

Conclusion

The results of the study show that temperature and precipitation structural failures are important tools for heating signals and precipitation amount, and the analysis of Mann-Kendall trend and Sen's slope can explain the changes in precipitation

of stations. Also, these analyses can be used to investigate the changes in uniformity and regime changes of water and meteorological elements.

Keywords:

Climate change, Structural break, Innovative Trend Analysis, SNHT, Pettitt



تشخیص شکست‌های ساختاری و روندهای غیرخطی در دما و بارش استان کرمانشاه

منوچهر فرج زاده اصل^۱ | فریان محمدی نژاد^۲ ID

۱. استاد دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانشجوی دکتری دانشگاه تربیت مدرس

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۱۰

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۵

انتشار:

واژگان کلیدی:

تغییر اقلیم، شکست ساختاری،

تحلیل روند نوآورانه، SNHT،

Pettitt

چکیده: تحلیل تغییرات اقلیمی در نواحی نیمه‌خشک نیازمند آشکارسازی رفتارهای غیرخطی و شکست‌های ساختاری است. این پژوهش با هدف تشخیص هم‌زمان روندهای یکنواخت و تغییر رژیم‌های آماری دما و بارش در استان کرمانشاه انجام شد. داده‌های متوسط سالانه دما و بارش ۱۲ ایستگاه سینوپتیک در بازه ۱۳۶۸-۱۳۹۷ استخراج شد. ابتدا روندهای یکنواخت با آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن برآورد گردید. سپس برای بررسی نامتقارن بودن روند و زیرروندها، از تحلیل روند نوآورانه (ITA) استفاده شد. در گام مکمل، برای شناسایی شکست‌های ساختاری، آزمون‌های Pettitt و SNHT به کار رفتند و سال شکست مبنا برای تفکیک دوره‌های قبل/بعد در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد دمای سالانه در همه ایستگاه‌ها افزایش یافته و شکست ساختاری معنی‌دار در اواخر دهه ۱۳۷۰ و میانه دهه ۱۳۸۰ رخ داده است؛ به‌ویژه ایستگاه‌های قصر شیرین و سنقر هم‌زمانی و معنی‌داری بالاتری در شکست دما نشان دادند. در مقابل، بارش رفتاری پراکنده‌تر و مکان‌وابسته‌تر دارد و تنها در گیلان‌غرب شکست معنی‌دار در هر دو آزمون مشاهده شد که با جهش میانگین بارش پس از شکست همراه است. تحلیل قبل/بعد نشان داد افزایش دما پس از نقاط شکست در اکثر ایستگاه‌ها مشهود است، در حالی که تغییرات بارش از نظر علامت و شدت ناهمگن است.

استناد: فرج زاده اصل، منوچهر، محمدی نژاد، فریان. (۱۴۰۴). تشخیص شکست‌های ساختاری و روندهای غیرخطی در دما و بارش استان کرمانشاه. دگرگونی ها و مخاطرات آب و هوایی، ۴(۷)، ۲۳۳-۲۷۳.

© نویسندگان .

Homepage: cccd.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان



۱. مقدمه

تغییرات اقلیمی در دهه های اخیر به عنوان یکی از مهم ترین چالش های محیط زیستی و توسعه ای جهان شناخته می شود. از برجسته ترین نمودهای این پدیده می توان به افزایش دما و تغییر در الگوهای بارش اشاره کرد؛ تحولاتی که پیامدهای گسترده ای بر چرخه آب، امنیت غذایی، مخاطرات هیدرواقلیمی و معیشت جوامع انسانی دارند. شواهد نشان می دهد که در بسیاری از مناطق جهان، به ویژه در خاورمیانه و شرق مدیترانه، شدت رخدادهای حدی دمایی و آهنگ گرمایش سریع تر از میانگین جهانی بوده است؛ مسئله ای که می تواند آسیب پذیری سامانه های آبی و اکوسیستم های حساس را افزایش دهد (Zittis et al., 2022; Malik et al., 2024). از سوی دیگر، افزایش فراوانی رخدادهای حدی جوی و نقش عوامل انسان زا در تشدید آنها،

نگرانی های علمی و مدیریتی را دوچندان کرده است. در این میان، چرخه هیدرولوژیکی به عنوان یکی از مؤلفه های اصلی سامانه اقلیم زمین، نسبت به تغییرات دما و بارش بسیار حساس است و هرگونه اختلال در آن می تواند پیامدهایی همچون خشکسالی، سیلاب و بی ثباتی منابع آب را به همراه داشته باشد (Wu and Qian, 2017). در چنین شرایطی، تحلیل روند متغیرهای اقلیمی یکی از رویکردهای کلیدی برای درک تغییرات بلندمدت در سامانه اقلیم محسوب می شود. تحلیل روند اطلاعات ارزشمندی درباره نوسانات زمانی و جهت تغییرات متغیرهایی مانند دما و بارش ارائه می دهد و امکان تشخیص افزایش یا کاهش آنها را فراهم می سازد (Hussain et al., 2022). این شناخت می تواند در مدیریت منابع آب، کاهش مخاطرات طبیعی و برنامه ریزی سازگار با تغییر اقلیم نقش مهمی ایفا کند

(Sen, 2012; Zhang and Liang, 2020). مکانی ناهمگن باشد. بنابراین بررسی علاوه بر جهت روند، بررسی شدت تغییرات نیز اهمیت دارد، زیرا می‌تواند میزان تحول در سامانه اقلیم و جهت احتمالی تغییرات آینده را نشان دهد. در کنار این موضوع، شناسایی نقاط تغییر در سری‌های زمانی اقلیمی نیز اهمیت زیادی دارد؛ زیرا این نقاط می‌توانند زمان وقوع تغییرات ناگهانی و معنادار در ساختار داده‌ها را آشکار سازند (Dipak et al., 2017; Chakraborty et al., 2014). استان کرمانشاه به‌عنوان بخشی از زاگرس میانی در یک ناحیه گذار اقلیمی قرار گرفته است. این منطقه از یک‌سو تحت تأثیر سامانه‌های مدیترانه‌ای و سودانی و از سوی دیگر تحت تأثیر ناهمگنی توپوگرافی و گرادیان شدید ارتفاعی قرار دارد. چنین شرایطی باعث می‌شود پاسخ متغیرهای اقلیمی، به‌ویژه دما و بارش، به تغییرات اقلیمی در این منطقه از نظر زمانی و

مکانی ناهمگن باشد. بنابراین بررسی دقیق روندها و ناپایداری‌های سری‌های زمانی اقلیمی در این ناحیه می‌تواند نقش مهمی در مدیریت ریسک خشکسالی، سیلاب و برنامه‌ریزی منابع آب ایفا کند. در مطالعات اقلیم‌شناسی، آزمون‌های ناپارامتری مانند من-کندال و تخمین‌گر شیب سن از رایج‌ترین روش‌ها برای شناسایی روندهای یکنواخت در سری‌های زمانی اقلیمی هستند. این روش‌ها به دلیل عدم وابستگی به توزیع آماری داده‌ها و مقاومت در برابر داده‌های پرت، در بسیاری از مطالعات تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این حال، این آزمون‌ها عمدتاً برای شناسایی روندهای کلی و یکنواخت طراحی شده‌اند و در تشخیص روندهای غیرخطی، زیرروندها یا تغییرات رژیمی (regime shifts) توان محدودی دارند. به همین دلیل در سال‌های اخیر رویکردهای نوآورانه‌ای برای

تحلیل روند معرفی شده‌اند که قادرند رفتار پیچیده‌تر سری‌های زمانی را آشکار سازند. یکی از این روش‌ها تحلیل روند نوآورانه (ITA) است که امکان بررسی رفتار روند را در بخش‌های مختلف توزیع داده‌ها، شامل مقادیر کم، متوسط و زیاد، فراهم می‌کند و از طریق نمایش گرافیکی، درک دقیق‌تری از ساختار تغییرات ارائه می‌دهد (Dang et al., 2020; Alifujiang et al., 2023; Körük et al., 2023). علاوه بر تحلیل روند، شناسایی نقاط شکست در سری‌های زمانی اقلیمی نیز برای درک تغییرات ساختاری اهمیت دارد. آزمون‌هایی مانند Pettitt و SNHT از جمله روش‌های رایج برای آشکارسازی تغییرات ناگهانی در میانگین یا ساختار آماری داده‌ها هستند و می‌توانند زمان وقوع تغییرات اقلیمی را مشخص کنند. در مطالعات اخیر نیز بر استفاده هم‌زمان از آزمون‌های روند کلاسیک، روش‌های

نوآورانه و آزمون‌های تشخیص نقطه تغییر تأکید شده است، زیرا این ترکیب می‌تواند تصویری جامع‌تر از تغییرات اقلیمی ارائه دهد (Gaddikeria et al., 2024). در سطح جهانی، پژوهش‌های متعددی به بررسی روندها و نقاط تغییر متغیرهای اقلیمی پرداخته‌اند. Aredo and Dinka (2025) با استفاده از مجموعه‌ای از آزمون‌های آماری شامل CV، آزمون‌های همگنی و آزمون‌های روند، تغییرات اقلیمی در حوضه اولیفانتس آفریقای جنوبی را بررسی کردند و نشان دادند که بارش در بیشتر ایستگاه‌ها دارای نوسانات کم تا متوسط است، در حالی که دما و بارش در بسیاری از ایستگاه‌ها روند افزایشی نشان می‌دهند. et al., Rwema 2025 نیز با بهره‌گیری از آزمون‌های من-کندال، کندال، کندال منطقه‌ای و شیب سن روند بارش در شرق رواندا را تحلیل کردند و کاهش بارش را در بیشتر ایستگاه‌ها طی

برخی مطالعات نشان می‌دهد که سیگنال افزایش دما در بسیاری از مناطق کشور پایدارتر و معنادارتر از تغییرات بارش است، در حالی که بارش اغلب تحت تأثیر نوسانات اقلیمی و عوامل محلی رفتار ناهمگن‌تری دارد (Iranshahi et al., 2022). همچنین نتایج مدل‌های اقلیمی CMIP6 برای حوضه‌های غرب ایران نشان می‌دهد که تغییر اقلیم با افزایش دما و تغییرپذیری بیشتر در الگوهای بارش همراه است (Ghorbani Minaei et al., 2023). با این حال، مطالعاتی که به‌طور هم‌زمان روندهای یکنواخت، زیرروندها و شکست‌های ساختاری متغیرهای دما و بارش را در مقیاس محلی بررسی کنند، به‌ویژه برای استان کرمانشاه، همچنان محدود است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف تحلیل جامع تغییرات دما و بارش در استان کرمانشاه انجام شده است. اهداف اصلی پژوهش عبارت‌اند از: شناسایی و کمی‌سازی روند یکنواخت دما و بارش سالانه با استفاده از آزمون من-کندال و شیب سن؛ بررسی ماهیت نامتقارن و غیرخطی روندها با استفاده از روش تحلیل روند نوآورانه (ITA)؛ تشخیص نقاط شکست ساختاری در سری‌های زمانی با بهره‌گیری از آزمون‌های Pettitt و SNHT؛ و تحلیل تغییرات میانگین و شیب سن در دوره‌های پیش و پس از شکست به‌منظور تفسیر اقلیمی تغییر رژیم‌ها. بر اساس این اهداف، دو فرضیه اصلی در این پژوهش مطرح می‌شود: نخست آن‌که دما در استان کرمانشاه طی دوره مطالعه دارای روند افزایشی معنادار و احتمالاً شتاب‌دار است و شکست‌های دمایی در بازه‌های زمانی مشابه میان ایستگاه‌ها رخ می‌دهد؛ دوم آن‌که بارش در مقایسه با دما رفتار ناهمگن‌تر و مکان‌وابسته‌تری دارد و شکست‌های آن کمتر هم‌زمان و کمتر

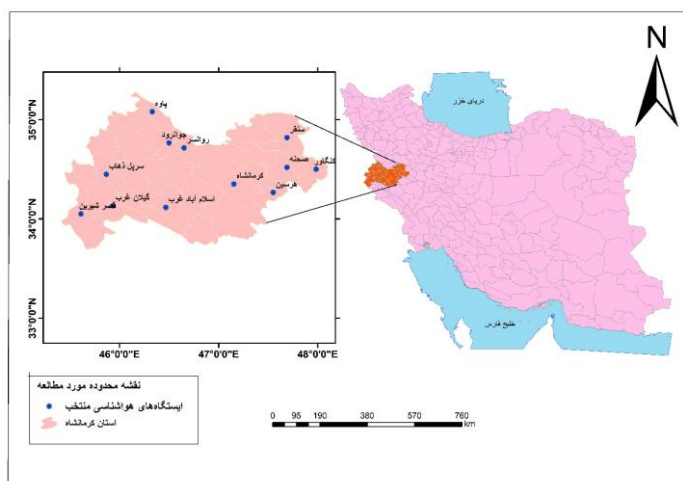
معنادار خواهد بود. نتایج این پژوهش می‌تواند در بهبود سیاست‌گذاری‌های مرتبط با مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی کشاورزی و کاهش مخاطرات اقلیمی، به‌ویژه در مناطق وابسته به منابع آب، نقش مؤثری ایفا کند.

۲. داده‌ها و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

استان کرمانشاه در غرب ایران واقع شده و از نظر جغرافیایی بین طول‌های ۴۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه شرقی و

عرض‌های ۳۳ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۵ درجه شمالی قرار دارد (شکل ۱). مساحت محدوده مورد مطالعه حدود ۲۴۰۸۶۰ کیلومترمربع است. بر اساس شاخص اقلیمی دمارتن، این استان از نظر شرایط اقلیمی در دامنه‌ای از اقلیم خشک تا بسیار مرطوب قرار می‌گیرد که بیانگر تنوع قابل توجه شرایط اقلیمی در سطح منطقه است. در این پژوهش، متغیرهای اقلیمی بارش و دما در مقیاس سالانه مورد بررسی قرار گرفتند.



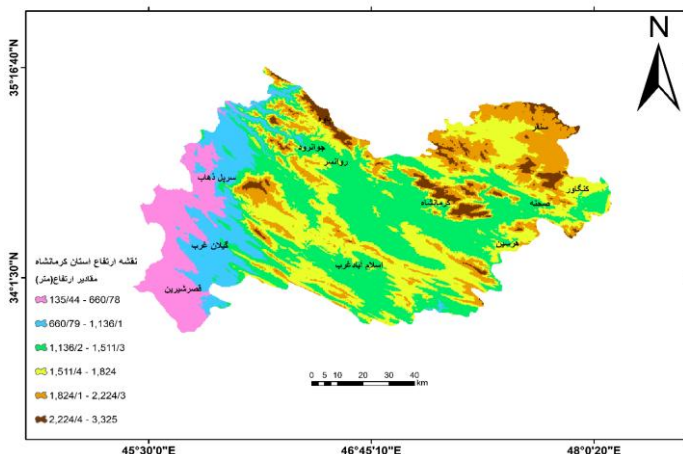
شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمانشاه

۲.۲. توپوگرافی و گرادیان ارتفاعی

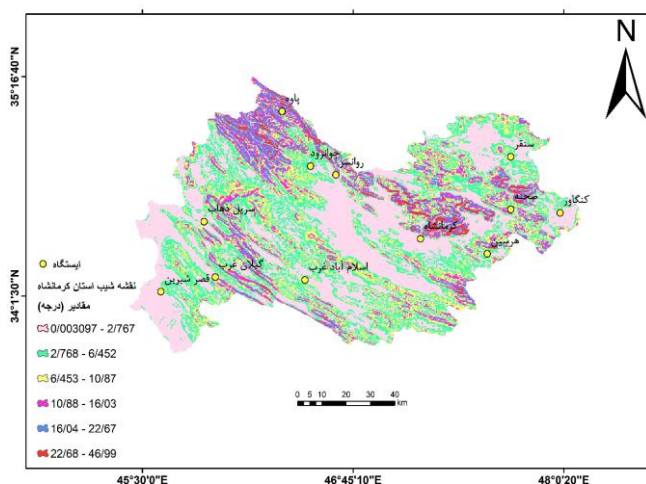
استان کرمانشاه

استان کرمانشاه به عنوان بخشی از زاگرس میانی دارای توپوگرافی ناهمگن و گرادیان ارتفاعی قابل توجهی است که بر الگوهای دما و بارش اثر می‌گذارد. برای نمایش ناهمواری‌ها، نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) و نقشه شیب با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. بر اساس نتایج، ارتفاع استان از حدود ۱۳۵ متر در نواحی پست غرب و جنوب غرب تا بیش از ۳۳۲۵ متر در ارتفاعات شمال و

شمال شرق متغیر است. این توزیع ارتفاعی همسو با امتداد رشته کوه‌های زاگرس بوده و زمینه‌ساز تفاوت‌های مکانی بارش در استان است (شکل ۲). همچنین شیب منطقه بین ۰ تا حدود ۴۷ درجه تغییر کرده و در شش طبقه طبقه‌بندی شده است. در نتیجه، ترکیب ارتفاع و شیب با تقویت صعود اوروگرافیک توده‌های مرطوب، سبب افزایش بارش در ارتفاعات شده و الگوی فضایی بارش استان تا حد زیادی بازتابی از توزیع ارتفاع، شیب و ناهمگنی توپوگرافی منطقه است (شکل ۳).



شکل ۲: نقشه توپوگرافی استان کرمانشاه



شکل ۳: نقشه شیب استان کرمانشاه

۳.۲. داده‌ها و منابع آماری

داده‌های این پژوهش از ۱۲ ایستگاه هواشناسی استان کرمانشاه برای دوره آماری ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷ و از اداره کل هواشناسی استان دریافت شد. تحلیل‌ها در مقیاس سالانه انجام گرفت و پیش از آن داده‌ها از نظر کیفیت، تکمیل و همگن‌سازی بررسی شدند. بررسی سری‌های زمانی نشان داد که تنها مقدار محدودی داده مفقود در برخی ایستگاه‌ها وجود دارد؛ بنابراین نسبت داده‌های مفقود

محاسبه و ناچیز بودن آن تأیید شد. برای شناسایی و اصلاح ناپیوستگی‌ها، همگن‌سازی داده‌ها با استفاده از روش گرافیکی نسبت‌ها و تفاضل‌ها انجام گرفت. در این فرایند، ایستگاه‌های مجاور با بیشترین شباهت اقلیمی از نظر ارتفاع، فاصله مکانی و میانگین بارش و دما به عنوان ایستگاه مرجع انتخاب شدند و مقادیر گم‌شده با استفاده از روابط آماری بازسازی گردید. پس از تکمیل و همگن‌سازی داده‌ها، تحلیل همبستگی

برای بررسی روابط آماری میان متغیرها انجام شد و برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به سطوح پیوسته از روش درونیابی IDW استفاده شد و بر این اساس، نقشه‌های همبارش و همدمای در محیط نرم‌افزاری ArcGIS تهیه گردید. اطلاعات مستند کاملی درباره تغییر مکان فیزیکی همه ایستگاه‌ها در طول دوره مطالعه در دسترس نبود، با این حال بر اساس داده‌های موجود تنها ایستگاه هواشناسی پایه به ایستگاه هواشناسی خودکار تبدیل شده است. دوره ۳۰ ساله ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷ نیز بر اساس توصیه سازمان جهانی هواشناسی به عنوان دوره استاندارد اقلیمی انتخاب شد (۲۰۱۷، WMO). همچنین در این بازه زمانی داده‌های ایستگاه‌ها از نظر تداوم و همگنی نسبت به دوره‌های طولانی‌تر قابل اعتمادتر بوده‌اند. داده‌های پیش از سال ۱۳۶۸ به دلیل گسست زمانی، تغییر مکان

ایستگاه‌ها و تغییر ابزار اندازه‌گیری از یکنواختی کافی برخوردار نبوده‌اند. از این رو در این پژوهش بر استفاده از یک دوره ۳۰ ساله نسبتاً همگن تأکید شده و تفسیر روندها، به‌ویژه برای بارش، با در نظر گرفتن محدودیت طول سری زمانی انجام شده است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی در جدول (۱) و شکل (۱) ارائه شده است.

۴.۲. آزمون‌ها و روش‌های آماری

۴.۲.۱. آزمون ناپارامتری من-کندال

و برآوردگر شیب Sen

برای بررسی روند تغییرات دما و بارش از آزمون ناپارامتری Mann-Kendall و برآوردگر شیب Sen استفاده شد. این دو روش از پرکاربردترین ابزارهای تحلیل روند در مطالعات اقلیم‌شناسی و هیدرولوژی هستند و به‌طور گسترده برای شناسایی جهت و شدت روند در سری‌های

زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به کاربرد وسیع این روش‌ها در مطالعات پیشین، از ارائه توضیحات تفصیلی درباره روابط ریاضی آن‌ها خودداری شده و برای جزئیات بیشتر می‌توان به منابع اصلی (Man, 1945; Kendall, 1975; Sen, 1968; Theil, 1950) مراجعه کرد. در این پژوهش، تشخیص روند با استفاده از شیب سن بر مبنای فاصله اطمینان ۹۵ درصدی برآوردگر شیب انجام شد. بدین صورت که اگر فاصله اطمینان دوطرفه شامل عدد صفر نمی‌شد، روند از نظر آماری معنادار تلقی می‌گردید. در نتیجه، در تفسیر نتایج، هم بزرگی شیب و هم عدم قطعیت همراه آن مورد توجه قرار گرفته است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منتخب

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	طول آماری	دوره بارش (mm)
کرمانشاه	۴۷° ۰۹'	۳۴° ۲۱'	۱۳۰۹	۱۳۹۷-۱۳۶۸	۴۳۹/۴
روانسر	۴۶° ۳۸'	۳۴° ۴۳'	۱۳۸۰	۱۳۹۷-۱۳۶۸	۵۲۵/۴
جوانرود	۴۶° ۳۰'	۳۴° ۴۷'	۱۳۷۱	۱۳۹۷-۱۳۶۸	۵۷۵
پاوه	۴۶° ۲۱'	۳۵° ۳۰'	۱۴۸۵	۱۳۹۷-۱۳۶۸	۸۰۷/۶
سنقر	۴۷° ۳۵'	۳۴° ۴۵'	۱۷۰۰	۱۳۹۷-۱۳۶۸	۴۲۹/۸
هرسین	۴۷° ۳۲'	۳۴° ۱۶'	۱۵۵۷	۱۳۹۷-۱۳۶۸	۳۹۳/۹
صحنه	۴۷° ۴۲'	۳۴° ۲۸'	۱۳۸۲	۱۳۹۷-۱۳۶۸	۴۷۶/۵
گیلان غرب	۴۵° ۵۶'	۳۴° ۸'	۸۲۴	۱۳۹۷-۱۳۶۸	۲۸۹/۲
قصر شیرین	۴۵° ۳۶'	۳۴° ۲'	۳۵۶	۱۳۹۷-۱۳۶۸	۳۵۳/۴
کنگاور	۴۷° ۵۹'	۳۴° ۳۰'	۱۴۵۸	۱۳۹۷-۱۳۶۸	۳۹۰/۱
سرپل ذهاب	۴۵° ۵۲'	۳۴° ۲۷'	۵۴۵	۱۳۹۷-۱۳۶۸	۴۲۷/۶
اسلام‌آباد غرب	۴۶° ۲۷'	۳۴° ۷'	۱۳۴۹	۱۳۹۷-۱۳۶۸	۴۷۱/۷

۲. ۴. ۲. روش تحلیل روند

نوآورانه (ITA)^۱

تحلیل روند نوآورانه ارائه شده توسط سن (a ۲۰۱۲) براساس یک نمودار سری زمانی زیربخشی در یک سیستم مختصات دکارتی است. در این روش یک سری زمانی به دو بخش مساوی تقسیم می شود که به صورت جداگانه به ترتیب صعودی مرتب شده اند. سپس اولین زیرمجموعه روی محور X قرار می گیرد و دومین زیرمجموعه روی محور Y قرار می گیرد. اگر داده های مورد بررسی بر روی خط ۱: ۱ جمع آوری شوند، هیچ روندی وجود ندارد. اگر داده ها بالاتر از خط ۱: ۱ یا زیر خط ۱: ۱ قرار گیرند، آنگاه یک روند رو به بالا یا یک روند رو به پایین در سری های زمانی وجود دارد.

قدر مطلق تفاوت بین مقادیر y و x یک نقطه، فاصله از خط ۱: ۱ است (Wu and Qian, 2017). تفاوت نشان دهنده بزرگی یک روند رو به بالا یا رو به پایین است؛ بنابراین، تفاوت میانگین نشان دهنده روند کلی یک سری زمانی است. شاخص روند به صورت زیر است:

(۱)

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{10(y_i - x_i)}{\bar{x}}$$

که در آن D شاخص روند است، با یک مقدار D مثبت که نشان دهنده یک روند رو به بالا و یک مقدار D منفی که نشان دهنده یک روند رو به پایین است؛ n تعداد هر زیر مجموعه است؛ و x میانگین اولین زیر مجموعه است. شاخص برای مقایسه با آزمون MK در ۱۰ ضرب می شود.

در این پژوهش، روش تحلیل روند نوآورانه (ITA) به عنوان یک ابزار تشخیصی مکمل برای بررسی ساختار درونی روندها و

¹. Innovative trend analysis

۲.۴.۳. آشکارسازی نقطه تغییر

(¹CPD)

تغییرات ناگهانی در سری زمانی بارش با استفاده از آزمون Pettitt، آزمون SNHT شناسایی شد.

۲.۴.۳.۱. آزمون Pettitt

آزمون Pettitt یک روش ناپارامتری پرکاربرد برای تشخیص تغییر ناگهانی در میانگین مجموعه داده‌های سری زمانی بارش است (Pettitt, 1979). این آزمون به‌ویژه در شناسایی نقاط تغییر در سری‌های داده هیدرو-اقلیمی کارایی بالایی دارد.

(۲)

در این رابطه، m سالی را نشان می‌دهد که تغییر (شکست) در آن رخ می‌دهد و t بیانگر طول سری زمانی است. شاخص آزمون Pettitt با $U_{t,m}$ نمایش داده می‌شود. دو نمونه آماری مبتنی بر آمار

احتمال نامتقارن بودن تغییرات در نیمه‌های مختلف سری زمانی به‌کار گرفته شد. در کنار آن، معنی‌داری آماری و بزرگی روندها با استفاده از آزمون من-کندال و برآوردگر شیب سن ارزیابی گردید. روش ITA امکان شناسایی بصری زیرروندها و بررسی تغییرات توزیعی داده‌ها در دامنه‌های مختلف را فراهم می‌کند. استفاده همزمان از این روش با آزمون‌های ناپارامتریک کلاسیک موجب بهبود تفسیر روندهای هیدرو-اقلیمی می‌شود (و و کیان، ۲۰۱۷؛ دونگ و همکاران، ۲۰۲؛ گودوک و همکاران،

$$U_{t,m} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=t+1}^t \text{sgn}(A_i - A_j)$$

۲۰۲۳). بنابراین، کاربرد ITA در این پژوهش در چارچوب رویکردهای روش‌شناختی رایج برای آشکارسازی ویژگی‌های ناهمگن و غیرخطی متغیرهای

اقلیمی قرار می‌گیرد.

¹. Change Point Detection

من- ویتنی از داده‌های سری زمانی بارش
 به صورت $a_1 \dots a_r$ و $a_{r+1} \dots a_n$ تعریف
 می‌شوند و تابع sgn (تابع علامت)
 به صورت زیر تعریف می‌گردد:

(۵)

$$H_s = \max H_n, 1 \leq n \leq m \quad (۳)$$

نقطه تغییر زمانی شناسایی می‌شود که
 مقدار H_s به بیشینه خود در سری داده‌ها
 برسد. مقدار H_m از رابطه زیر محاسبه
 می‌شود:

(۶)

$$H_m = \bar{n} z_1 + (m - n) \bar{z}_1, n = 1, 2, \dots, m$$

که در آن:

(۷)

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(M_i - \bar{M})}{s}$$

در این روابط، $\bar{M}$ میانگین داده‌ها و s
 انحراف معیار سری زمانی را نشان
 می‌دهد.

۲.۴.۶. برآورد روند قبل و بعد از نقاط

تغییر

$$\text{sgn}(A_i - A_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } (A_i - A_j) > 1 \\ 0 & \text{if } (A_i - A_j) = 1 \\ -1 & \text{if } (A_i - A_j) < 1 \end{cases}$$

دو آماره برای تعیین زمانی که بیشترین
 مقدار مطلق U رخ می‌دهد، محاسبه
 می‌شوند:

(۴)

$$Z_T = \max_{1 \leq t \leq m} |U_{t,m}|$$

$$P = 1 - \exp\left(\frac{-6Z_T^2}{K^2 + K^3}\right)$$

۲.۴.۳. آزمون نرمال استاندارد
 همگن (SNHT)^۱

آزمون نرمال استاندارد همگنی برای
 تشخیص نقطه تغییر در داده‌های سری
 زمانی، از جمله داده‌های بارش، به کار
 می‌رود (Alexandersson, 1986).

^۱Standard Normal Homogeneity Test

برای بررسی دقیق‌تر تغییرات زمانی بارش و متغیرهای آگرواقلیمی وابسته، ابتدا نقاط تغییر معنی‌دار در سری‌های زمانی با استفاده از آزمون‌های تشخیص نقطه تغییر شناسایی شد. سپس دوره مطالعاتی برای هر ایستگاه به دو زیردوره «پیش از شکست» و «پس از شکست» تقسیم گردید تا ساختار زمانی تغییرات به‌طور دقیق‌تر بررسی شود. در هر یک از این زیردوره‌ها، شیب سن (Sen's slope) به‌صورت جداگانه محاسبه شد تا جهت و شدت روند در هر فاز اقلیمی مشخص گردد. همچنین میانگین متغیرهای مورد بررسی، به‌طور مثال: بارش فصلی، تعداد روزهای بارانی، تاریخ شروع و پایان فصل بارش و طول فصل، در دوره‌های قبل و بعد از شکست محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد. این رویکرد امکان تفکیک تغییرات سطحی (تغییر در میانگین) از تغییرات گرادیانی (تغییر در شیب روند) را فراهم می‌کند و مانع از هموار شدن اثر شکست‌های زمانی در قالب یک روند یکنواخت برای کل دوره می‌شود. به این ترتیب، رژیم‌های اقلیمی متوالی پیش و پس از شکست برای هر ایستگاه و هر متغیر قابل شناسایی و تفسیر است. در این چارچوب، سال شکست مبنا بر اساس نتایج آزمون Pettitt تعیین شد (این تصمیم بر پایه ویژگی ناپارامتری و مقاومت آماری آزمون Pettitt در برابر داده‌های غیرنرمال و وجود پرت‌ها اتخاذ شد. این ویژگی موجب می‌شود Pettitt در داده‌های اقلیمی که معمولاً دارای نوسانات طبیعی و توزیع‌های نامتقارن‌اند، نتایج قابل اعتمادتر و پایدارتری ارائه دهد) و در مواردی که هر دو آزمون Pettitt و SNHT سال مشترکی را نشان دادند، آن سال به‌عنوان شکست «Robust» در نظر گرفته شد. پس از تعیین نقطه تغییر، میانگین و شیب سن در دو دوره محاسبه

گردید تا نوع تغییرات شامل «پرش سطح» (regime shift) ، «تغییر در آهنگ روند» یا ترکیبی از آن‌ها مشخص شود. لازم به ذکر است که سال‌های شکست در سطح معنی‌داری ۵ درصد برآورد شده و باید به‌عنوان نقاط تغییر تقریبی در سری‌های هیدرواقليمی تفسیر شوند نه مرزهای زمانی کاملاً دقیق و قطعی.

۲.۵. روش‌های آماری تحلیل سری

زمانی بارش و دما

به‌منظور بررسی تغییرات اقلیمی در استان کرمانشاه، داده‌های سالانه بارش و دما در قالب یک چارچوب تحلیلی چندمرحله‌ای مورد تحلیل قرار گرفتند. هدف این مطالعه شناسایی الگوهای زمانی تغییرات، ارزیابی روندهای بلندمدت متغیرهای اقلیمی و تشخیص نقاط تغییر در سری‌های زمانی بود. داده‌های مورد استفاده شامل سری‌های زمانی سالانه

بارش و دما در ۱۲ ایستگاه هواشناسی استان طی دوره آماری ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۷ است. در مرحله نخست، برای شناسایی روند یکنواخت در داده‌ها از آزمون ناپارامتری من-کندال استفاده شد که به دلیل عدم وابستگی به توزیع نرمال داده‌ها کاربرد گسترده‌ای در مطالعات اقلیم‌شناسی دارد. همچنین برای تعیین شدت و جهت روند از برآوردگر شیب سن استفاده شد که نرخ تغییرات متغیرها را در طول زمان برآورد می‌کند. اجرای آزمون من-کندال و محاسبه شیب سن برای داده‌های سالانه ایستگاه‌ها در نرم‌افزار آماری NCSS انجام شد. در مرحله دوم، به‌منظور بررسی دقیق‌تر رفتار روندی داده‌ها از روش تحلیل روند نوآورانه (ITA) معرفی‌شده توسط Şen استفاده گردید. این روش به‌عنوان یک رویکرد تشخیصی مکمل که ذاتاً گرافیکی است برای بررسی ساختار درونی روندها و

احتمال نامتقارن بودن تغییرات بین نیمه اول و نیمه دوم سری زمانی به کار گرفته شد؛ بنابراین با مقایسه نیمه اول و نیمه دوم سری زمانی و تحلیل موقعیت داده‌ها نسبت به خط ۴۵ درجه، امکان بررسی روندهای افزایشی یا کاهشی در بخش‌های مختلف توزیع داده‌ها (کم، متوسط و زیاد) را فراهم می‌کند. تحلیل ITA برای سری‌های زمانی بارش و دما در محیط برنامه‌نویسی R انجام شد. در مرحله سوم، برای شناسایی تغییرات ناگهانی و شکست‌های ساختاری از آزمون‌های Pettitt و SNHT استفاده شد که با زبان Python در محیط Google Colab اجرا گردید. این آزمون‌ها برای تعیین سال‌های احتمالی تغییر در میانگین سری‌های زمانی بارش و دما به کار رفتند. در نهایت، نتایج این روش‌ها به صورت مقایسه‌ای تفسیر شد تا تصویری جامع از روندها و تغییرات ساختاری بارش و دما

در منطقه ارائه شود. این رویکرد ترکیبی امکان بررسی هم‌زمان جهت و شدت روندها، رفتار روندی داده‌ها در بخش‌های مختلف توزیع و همچنین شناسایی تغییرات ساختاری در سری‌های زمانی را فراهم می‌کند.

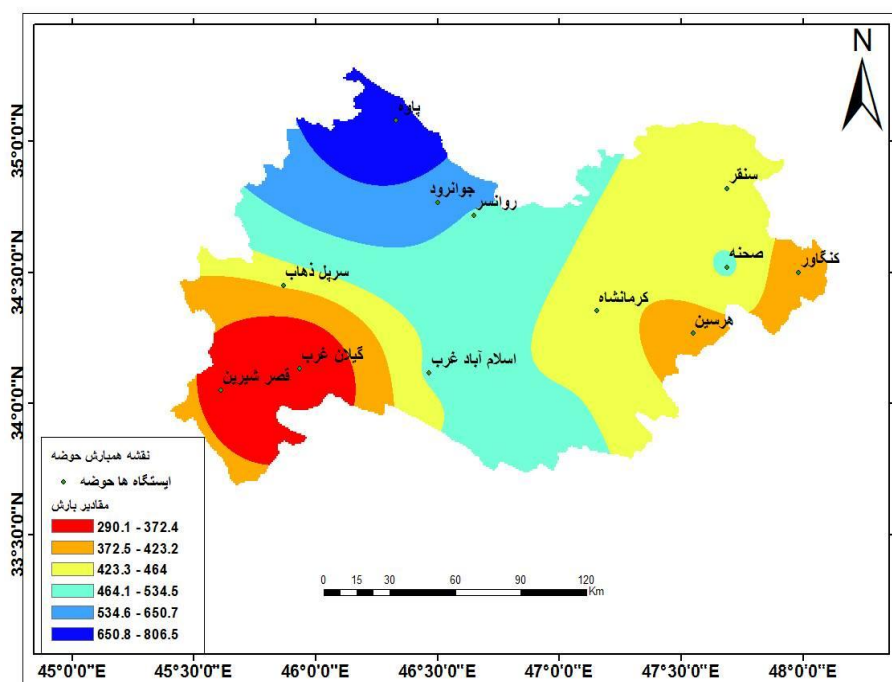
۳. یافته‌ها و نتایج

۳.۱. تحلیل الگوی فضایی بارش

سالانه بر اساس نقشه هم‌بارش

به منظور بررسی الگوی فضایی بارش در استان کرمانشاه، داده‌های بارش سالانه در دوره آماری مورد مطالعه تحلیل شد. نتایج نشان داد توزیع مکانی بارش یکنواخت نبوده و به طور قابل توجهی تحت تأثیر توپوگرافی و تغییرات ارتفاع قرار دارد، به گونه‌ای که با افزایش ارتفاع میزان بارش نیز افزایش می‌یابد. بررسی مقادیر بارش سالانه نشان داد که بارش در منطقه بین ۲۹۰ تا ۸۰۶ میلی‌متر متغیر است. کمترین بارش در بخش‌های غربی و جنوب‌غربی حوضه و بیشترین آن در

نواحی شمال و شمال غرب مشاهده قرار دارد که نشان دهنده غلبه شرایط می شود. همچنین بخش وسیعی از منطقه نسبتاً کم بارش در بسیاری از نواحی استان در محدوده بارشی ۴۶۴ تا ۵۳۴ میلی متر است (شکل ۲).



شکل ۴: نقشه همبارش منطقه مورد مطالعه در طول دوره آماری

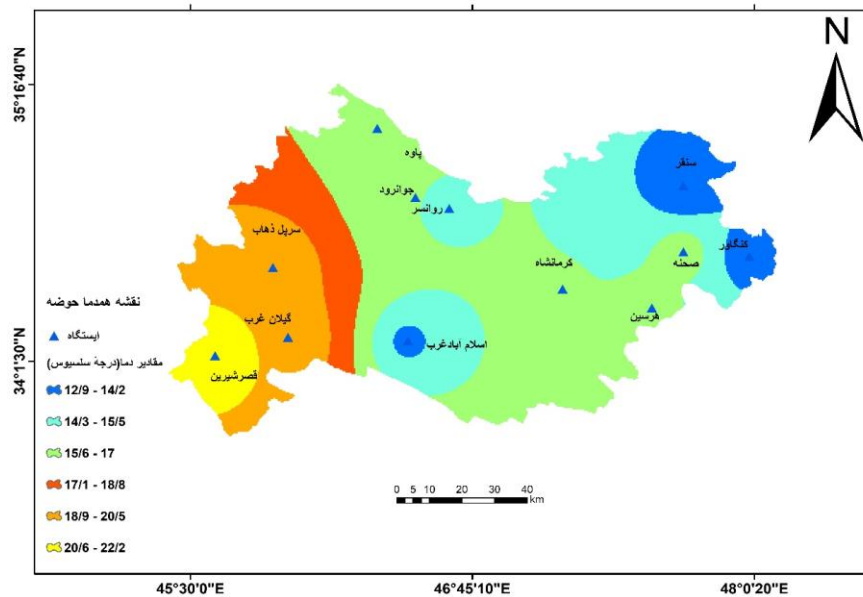
سلسیوس متغیر است. نتایج بیانگر آن است که بخش های غربی و جنوب غربی حوضه، که در نقشه با رنگ های زرد و قهوه ای مشخص شده اند، بیشترین مقادیر دما را در سطح حوضه به خود اختصاص

۲.۳. تحلیل الگوی فضایی دما سالانه

بر اساس نقشه همدمای

توزیع دمای سالانه در سطح منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که مقدار دما در این منطقه بین ۱۲٫۹ تا ۱۹٫۲ درجه

داده‌اند. در مقابل، کمینه دما در نواحی می‌شود که در نقشه با رنگ آبی نمایش داده شده‌اند (شکل ۳).



شکل ۵: نقشه همدم منطقه مورد مطالعه در طول دوره آماری

۳.۳. روند تغییرات دما و بارش سالانه

با استفاده از آزمون‌های ناپارامتریک

نتایج تحلیل روند بارش سالانه طی دوره

۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷، بر اساس آماره Z آزمون

من-کندال در سطح معنی‌داری ۵ درصد،

نشان می‌دهد که در ۶ ایستگاه روند بارش

کاهش یافته است؛ با این حال هیچ یک از

این روندهای منفی از نظر آماری معنی‌دار

نیستند. به عنوان نمونه، در ایستگاه

سرپل ذهاب مقدار آماره منفی $Z = -1/57$

بیانگر کاهش بارش است، اما این مقدار در

سطح ۵ درصد به معنی‌داری نمی‌رسد.

این کاهش نسبی را می‌توان تا حدی

ناشی از افت عمومی نزولات جوی در روند افزایشی معنادار را نشان می‌دهد و منطقه دانست. در ۶ ایستگاه دیگر روند بارش‌ها افزایشی مشاهده شد، اما تنها ایستگاه گیلان غرب با مقدار $Z=2/42$

روند افزایشی معنادار را نشان می‌دهد و در سایر ایستگاه‌ها معنی‌داری روند مثبت تأیید نمی‌شود (جدول ۲).

جدول ۲: نتایج آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن بارش سالانه استان کرمانشاه

ایستگاه	Z test	Q sen	p-value
اسلام‌آباد	۲/۱۲۳۰۸۳	۰/۰۴۱۶۶۷	۰/۰۳
سرپل ذهاب	۲/۸۷	۰/۰۵	۰/۰۰۴
کنگاور	۱/۲۶۶۷۱۳	۰/۰۳	۰/۲
قصر شیرین	۲/۲۳۰۱۲۹	۰/۰۶۲۵	۰/۰۲
صحنه	۲/۳۷	۰/۰۴۹	۰/۰۱
هرسین	۰/۹۹۹۰۹۸	۰/۰۲۱۷۹۵	۰/۳۱
کرمانشاه	۲/۹۳	۰/۰۵۰	۰/۰۰۳
روانسر	۱/۶	۰/۰۳۲۶۹۲	۰/۱
جوانرود	۰/۷۸	۰/۰۱	۰/۴۳
پاوه	۲/۶	۰/۰۶۶۶۶۷	۰/۰۰۹
سنقر	۳/۰۵	۰/۰۵۷	۰/۰۰۲
گیلان غرب	۰/۹۸۱۲۵۷	۰/۰۲۷۳۰۲	۰/۳۲

نتایج آزمون من-کندال برای دوره آماری ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷ در سطح معنی‌داری ۵ درصد نشان می‌دهد که دمای سالانه استان به طور کلی روندی افزایشی داشته است. بیشترین و معنی‌دارترین روند افزایشی در ۷ ایستگاه سنقر، کرمانشاه، سرپل‌ذهاب، پاوه، صحنه، قصرشیرین و اسلام‌آباد غرب با مقادیر آماره Z به ترتیب ۳/۵، ۲/۹۳، ۲/۸۷، ۲/۶، ۲/۳۵، ۲/۲۳ و ۲/۱۲ مشاهده شده است که بیانگر افزایش دما و احتمال تأثیر تغییر اقلیم در منطقه است. در ۵ ایستگاه دیگر نیز روند دما افزایشی بوده، اما از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست (جدول

۳). به‌طور کلی، نتایج آزمون من-کندال غیرخطی و شناسایی شکست‌های و شیب سن برای بارش و دما (جدول‌های ساختاری در سری‌های زمانی فراهم می‌کنند. ۲ و ۳) چارچوبی اولیه برای مقایسه با تحلیل‌های تکمیلی مانند بررسی روندهای

جدول ۳: نتایج آزمون من -کندال و تخمینگر شیب سن دمای سالانه استان کرمانشاه

ایستگاه	Z test	Q sen	p-value
اسلام‌آباد	۲/۱۲۳۰۸۳	۰/۰۴۱۶۶۷	۰/۰۳
سرپل ذهاب	۲/۸۷	۰/۰۵	۰/۰۰۴
کناور	۱/۲۶۶۷۱۳	۰/۰۳	۰/۲
قصر شیرین	۲/۲۳۰۱۲۹	۰/۰۶۲۵	۰/۰۲
صحنه	۲/۳۷	۰/۰۴۹	۰/۰۱
هرسین	۰/۹۹۹۰۹۸	۰/۰۲۱۷۹۵	۰/۳۱
کرمانشاه	۲/۹۳	۰/۰۵۰	۰/۰۰۳
روانسر	۱/۶	۰/۰۳۲۶۹۲	۰/۱
جوانرود	۰/۷۸	۰/۰۱	۰/۴۳
پاوه	۲/۶	۰/۰۶۶۶۶۷	۰/۰۰۹
سنقر	۳/۰۵	۰/۰۵۷	۰/۰۰۲
گیلان غرب	۰/۹۸۱۲۵۷	۰/۰۲۷۳۰۲	۰/۳۲

۴.۳. نتایج ITA

آنالیز روند ITA بر روی متوسط دما و بارش سالانه مورد سنجش قرار گرفت و نتایج آن با آزمون من-کندال و شیب سن مقایسه شد که نتایج مشابهی همانند آزمون‌های ناپارامتریک صورت گرفت.

۴.۳.۱. تحلیل روند نوآورانه بارش

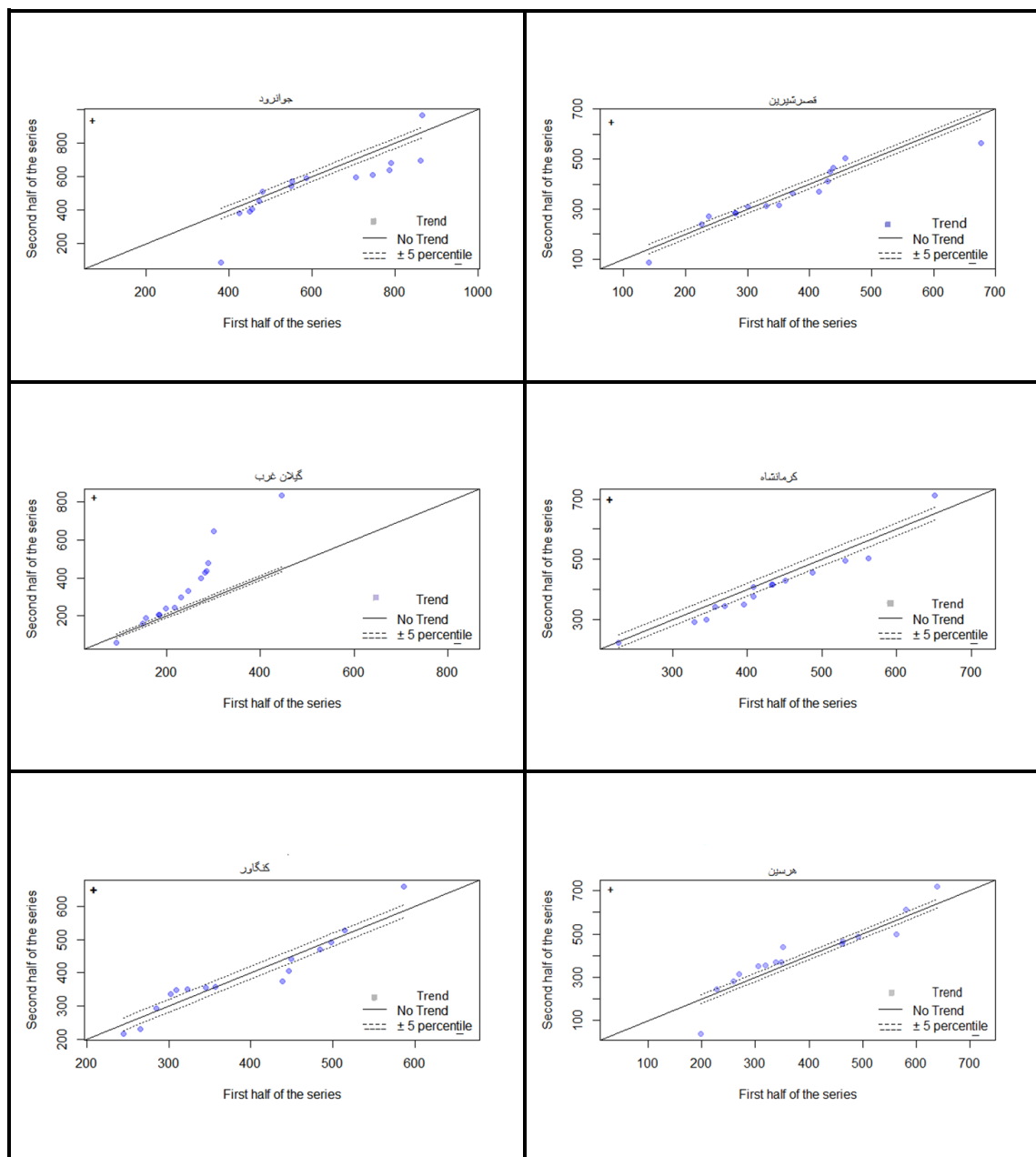
سالانه

نتایج تحلیل ITA بارش سالانه ایستگاه‌های استان کرمانشاه نشان می‌دهد که تغییرات بارش در منطقه از الگوی یکنواختی پیروی نمی‌کند و روندها از ناهمگنی فضایی برخوردارند. در ایستگاه‌هایی مانند گیلان غرب، پاوه، سنقر، هرسین، قصرشیرین و تا حدی کنگاور، قرارگیری نقاط در بالای خط تعادل بیانگر افزایش افزایشی بارش است. در مقابل، در ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، سرپل ذهاب، صحنه، کرمانشاه، روانسر و

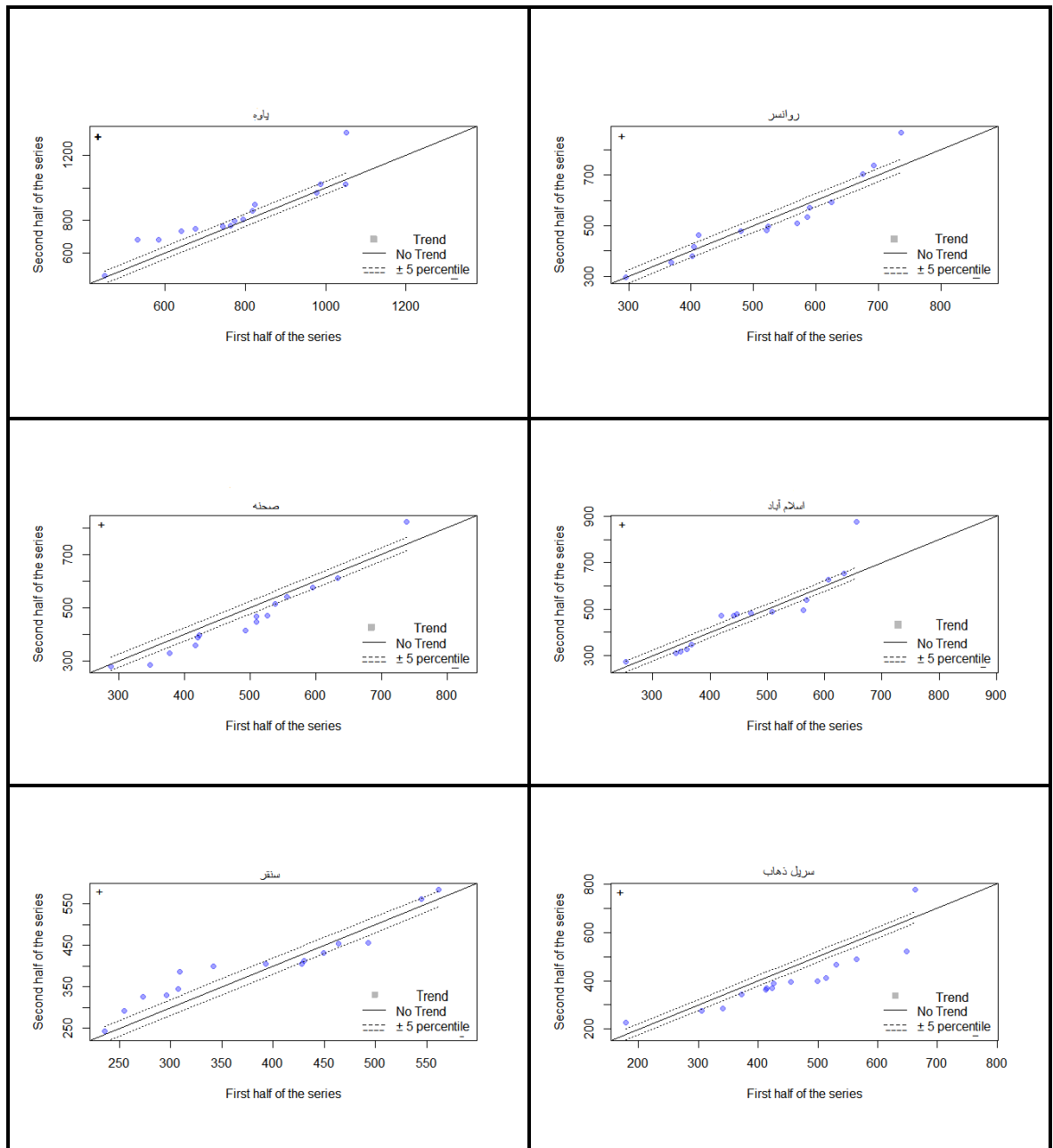
جوانرود بیشتر نقاط در زیر خط تعادل

قرار داشته و نشان‌دهنده گرایش کاهشی بارش هستند. با این حال، نزدیکی اغلب نقاط به خط تعادل حاکی از آن است که شدت روندها در بیشتر ایستگاه‌ها ضعیف و متأثر از نوسانات طبیعی اقلیم است. در این میان، ایستگاه گیلان غرب بارزترین روند افزایشی بارش را نشان می‌دهد که با نتایج آزمون من-کندال نیز همخوانی دارد (شکل ۶).

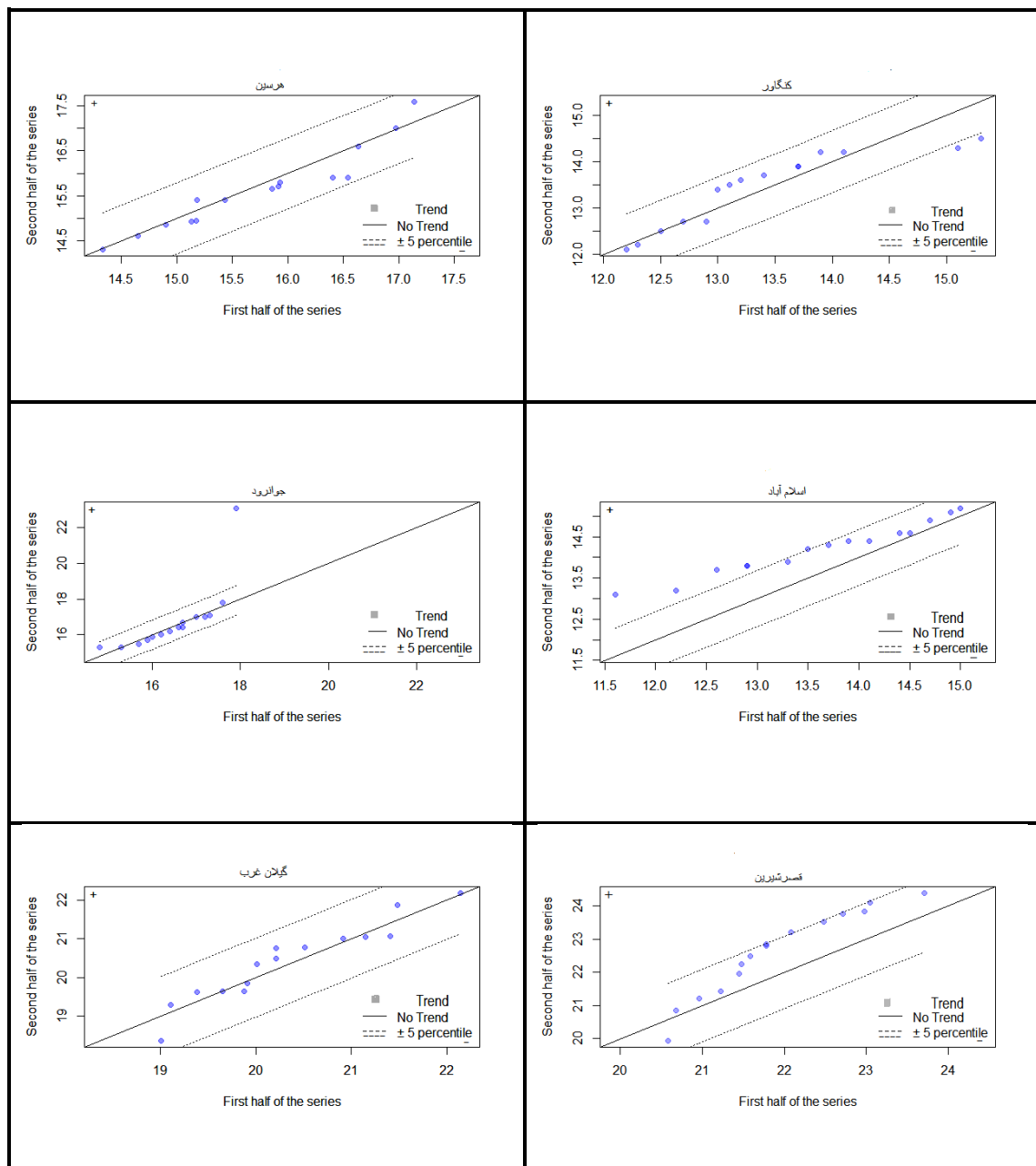
نتایج ITA نشان می‌دهد دما در بیشتر ایستگاه‌ها افزایش یافته و این افزایش در مقادیر بالا شدیدتر است، به‌طوری‌که گرم‌ترین سال‌ها سریع‌تر گرم شده‌اند. در مقابل، بارش الگوی ناهمگنی دارد که می‌تواند بیانگر تغییر در ساختار رخدادهای کم‌بارش و پربارش باشد (دونگ و همکاران، ۲۰۲؛ گوروک و همکاران، ۲۰۲۳).



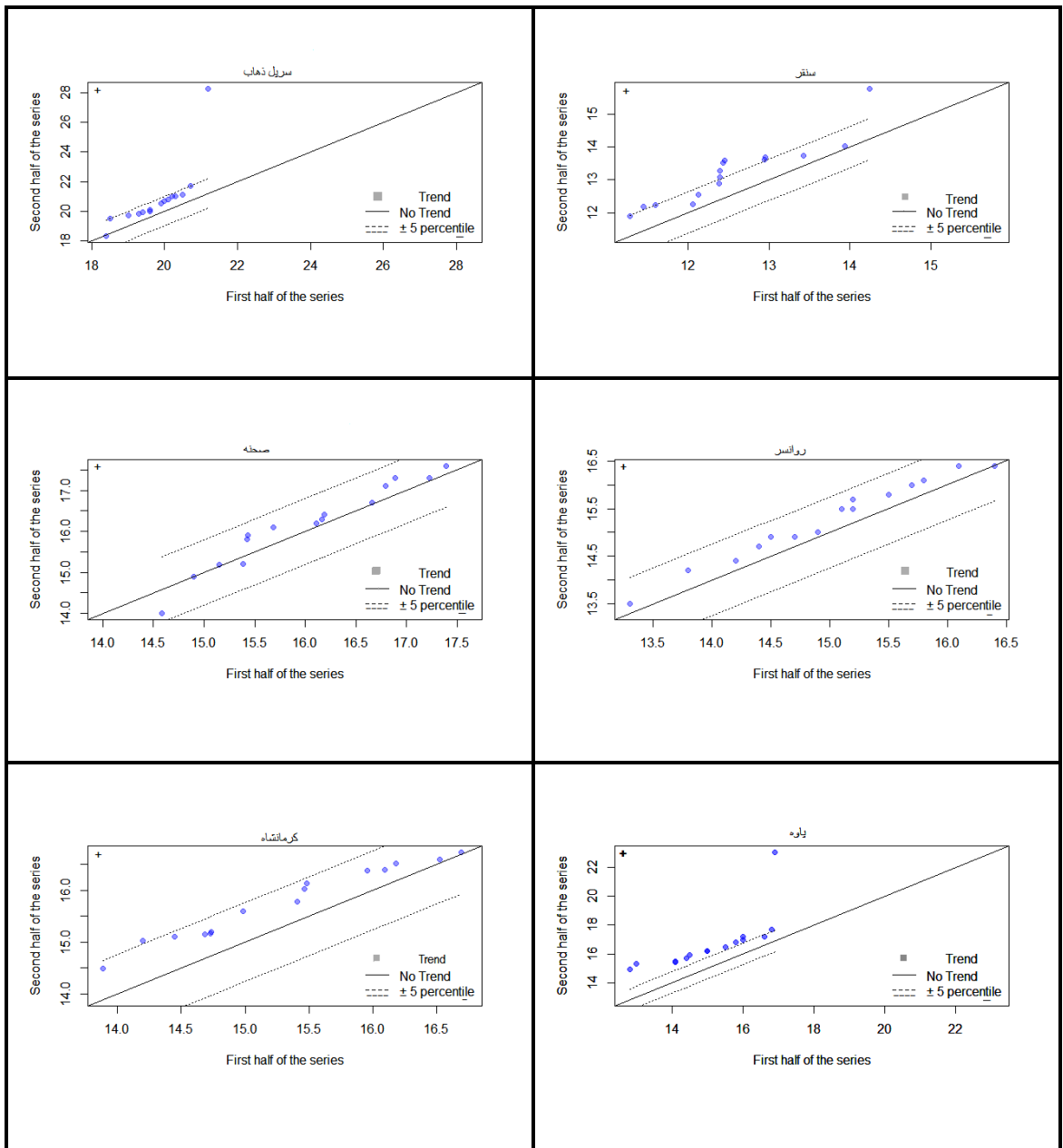
شکل ۶: نمودار توزیع روند تحلیل نوآورانه بارش سالانه در طی دوره آماری ۱۳۶۸-۱۳۹۷



شکل ۶: ادامه نمودار توزیع روند تحلیل نوآورانه بارش سالانه در طی دوره آماری ۱۳۹۷-



شکل ۷: نمودار توزیع روند تحلیل نوآورانه دمای سالانه در طی دوره آماری ۱۳۹۷-۱۳۹۶



شکل ۷: ادامه نمودار توزیع روند تحلیل نوآورانه دمای سالانه در طی دوره آماری ۱۳۹۷-

۳.۵. نتایج آزمون Pettitt و SNHT

دما و بارش سالانه

۳.۵.۱. نتایج آزمون‌های Pettitt و

SNHT بارش سالانه

نتایج آزمون‌های Pettitt و SNHT نشان داد که شکست‌های بارشی در ایستگاه‌های استان کرمانشاه از الگوی مکانی یکنواختی برخوردار نیستند و عمدتاً تحت تأثیر نوسانات طبیعی و چندمقیاسی اقلیم قرار دارند. با این حال، در ایستگاه گیلان غرب شکست معنی‌دار و هم‌زمان در هر دو آزمون مشاهده شد که با افزایش میانگین بارش پس از نقطه شکست همراه بوده و می‌تواند بیانگر تغییر نسبی در رژیم بارش این ناحیه باشد. از نظر فیزیکی، بارش‌های غرب ایران عمدتاً تحت تأثیر سامانه‌های مدیترانه‌ای و کم‌فشار سودان قرار دارند و تغییر در فراوانی، شدت یا مسیر حرکت این سامانه‌ها می‌تواند موجب تغییر در الگوهای بارش و بروز شکست‌های آماری

در سری‌های زمانی شود (مفیدی و زرین، ۱۳۸۴). همچنین نوسانات اقلیمی بزرگ‌مقیاس مانند ENSO از طریق سازوکارهای دورپیوندی می‌توانند الگوهای گردش جوی و بارش در ایران را تحت تأثیر قرار دهند (اسفرجانی و همکاران، ۱۴۰۲). علاوه بر این، تغییرات در شاخص‌هایی مانند NAO و MO با تعدیل الگوهای فشار و مسیر جت‌استریم‌ها بر شدت و مسیر سیکلون‌های مدیترانه‌ای مؤثر هستند. همچنین تغییرات در برهم‌کنش جت‌استریم قطبی و جنب‌حاره‌ای می‌تواند شرایط دینامیکی لازم برای تقویت سامانه‌های بارشی را فراهم کند (Faroghi, 2025). در مجموع، برهم‌کنش این عوامل با ناهمگنی توپوگرافی زاگرس سبب می‌شود پاسخ بارش به این محرک‌های اقلیمی در مقیاس ایستگاهی متفاوت بوده و

شکست‌های بارشی به‌صورت پراکنده و می‌توان حاصل برهم‌کنش پیچیده مکان‌وابسته ظاهر شوند (Gholami et al., 2024; Nistani et al., 2024) نوسانات اقلیمی بزرگ‌مقیاس، تغییرات در دینامیک سامانه‌های بارشی غرب کشور و این اساس، ناهمگنی مکانی شکست‌های بارشی در ایستگاه‌های استان کرمانشاه را اثرات تعدیل‌کننده توپوگرافی زاگرس دانست (جدول ۴).

جدول ۴: نتایج آزمون‌های SNHT و Pettitt برای بارش سالانه

ایستگاه	سال شکست	P-value	سال شکست	P-value	تفسیر اقلیمی
	Pettitt		SNHT		
اسلام‌آباد غرب	۱۳۷۶	۰/۳۸۲	۱۳۹۳	۰/۱۳۵	بدون شکست معنی‌دار
سرپل‌ذهاب	۱۳۷۶	۰/۰۷۴	۱۳۷۶	۰/۲۳۹	شکست ضعیف
کنگاور	۱۳۹۳	۰/۴۹۲	۱۳۹۳	۰/۱۶۱	تغییر تدریجی
قصرشیرین	۱۳۷۸	۰/۶۵۷	۱۳۹۵	۰/۹۷۲	بدون شکست
صحنه	۱۳۸۳	۰/۵۶۴	۱۳۹۳	۰/۲۸۵	نوسان بالا
هرسین	۱۳۹۱	۰/۳۵۹	۱۳۹۳	۰/۰۹۲	شکست ضعیف
کرمانشاه	۱۳۷۶	۰/۲۱۴	۱۳۷۶	۰/۳۹۰	بدون شکست
روانسر	۱۳۷۶	۰/۴۸۰	۱۳۹۳	۰/۱۸۳	بدون شکست
جوانرود	۱۳۷۶	۰/۴۴۱	۱۳۷۶	۰/۶۵۰	بدون شکست
سنقر	۱۳۸۰	۰/۷۳۹	۱۳۷۰	۰/۵۴۶	ناپایدار
پاوه	۱۳۹۳	۰/۶۰۰	۱۳۹۳	۰/۲۲۱	نوسان چندمقیاسی
گیلان‌غرب	۱۳۹۰	۰/۰۰۶	۱۳۹۱	۰/۰۰۰	شکست بارشی Robust

۳.۵.۲. نتایج آزمون‌های Pettitt و

SNHTدمای سالانه

نتایج آزمون‌های Pettitt و SNHT برای دمای سالانه نشان می‌دهد که در بخش قابل‌توجهی از ایستگاه‌های استان کرمانشاه، شکست‌های ساختاری در بازه زمانی اواخر دهه ۱۳۷۰ و اواسط دهه ۱۳۸۰ رخ داده است. هم‌زمانی سال شکست و معنی‌دار بودن هر دو آزمون در ایستگاه‌هایی مانند قصرشیرین، کرمانشاه و

یک بازه گذار اقلیمی است، نه یک تاریخ نقطه‌ای کاملاً قطعی.

۳.۵.۳. نتایج شیب سن بارش سالانه

قبل و بعد از نقطه شکست (مبنای

Pettitt

تحلیل شیب سن بارش سالانه در دوره‌های قبل و بعد از نقطه شکست (بر مبنای آزمون Pettitt) نشان می‌دهد که تغییرات بارش در بسیاری از ایستگاه‌ها نه صرفاً به صورت یک پرش ناگهانی در میانگین، بلکه عمدتاً به صورت تغییر در آهنگ روند رخ داده است. در تعدادی از ایستگاه‌ها مانند گیلان غرب، پاره و کنگاور، تغییر شیب سن از مقادیر منفی یا نزدیک به صفر در دوره قبل به مقادیر مثبت و بزرگ در دوره بعد، بیانگر تقویت روند افزایشی بارش و وقوع تغییر رژیم بارشی است. در مقابل، در ایستگاه‌هایی مانند قصرشیرین و سرپل ذهاب، هرچند سال شکست شناسایی شده است، اما شیب

سنقر بیانگر وقوع شکست‌های دمایی Robust و وجود یک سیگنال منطقه‌ای

گرمایش است. در این ایستگاه‌ها، تغییر ناگهانی در ساختار آماری دما را می‌توان به عنوان نشانه‌ای از گذار از یک رژیم

حرارتی نسبتاً پایدار به دوره‌ای با گرمایش سریع‌تر تفسیر کرد. در مقابل، در

ایستگاه‌هایی که تنها یکی از آزمون‌ها سال شکست معنی‌دار را گزارش کرده یا مقادیر p-value بزرگ‌تر از سطح خطا هستند،

رفتار دما بیشتر تدریجی و فاقد تغییر رژیم مشخص است. این تفاوت مکانی

نشان می‌دهد که اگرچه گرمایش در مقیاس استانی یک پدیده غالب است، اما

شدت و زمان‌بندی شکست‌های دمایی تحت تأثیر شرایط محلی و توپوگرافی

ناهمگن منطقه قرار دارد (جدول ۵). لازم به تأکید است که ارجاع به دهه‌ها،

به منظور کاهش حساسیت به عدم قطعیت سال دقیق شکست انجام شده و بیانگر

سن پس از شکست همچنان ضعیف یا بدون بررسی هم‌زمان نقاط شکست و نزدیک به صفر باقی مانده که نشان شیب روند قبل/بعد می‌تواند ناقص یا می‌دهد تغییرات بارش بیشتر به نوسانات گمراه‌کننده باشد و استفاده از رویکرد کوتاه‌مدت محدود بوده و به تغییر پایدار ترکیبی Pettitt-Sen برای درک دقیق‌تر در روند منجر نشده است. این نتایج تأکید دینامیک بارش در مناطق گذار اقلیمی می‌کند که تفسیر اقلیمی تغییرات بارش ضروری است (جدول ۶).

جدول ۵: نتایج آزمون‌های Pettitt و SNHT برای دمای سالانه

ایستگاه	سال	P-value	سال	P-value	تفسیر اقلیمی
	شکست		شکست		
	Pettitt		SNHT		
اسلام‌آباد غرب	۱۳۸۶	۰/۱۶۸	۱۳۸۳	۰/۲۴۷	شکست ضعیف؛ سیگنال گرمایش تدریجی
سرپل‌دهاب	۱۳۷۶	۰/۰۱۱	۱۳۸۶	۰/۲۳۵	شکست معنی‌دار (pettitt)، آغاز گرمایش
کنگاور	۱۳۸۶	۰/۲۲۵	۱۳۶۹	۰/۰۱۶	اختلاف آزمون‌ها؛ شکست ناپایدار
قصرشیرین	۱۳۸۶	۰/۰۰۲	۱۳۸۶	۰/۰۰۱	شکست Robust و بسیار قوی
صحنه	۱۳۷۶	۰/۰۵۸	۱۳۹۰	۰/۰۲۷	شکست متوسط
هرسین	۱۳۷۶	۰/۳۴۸	۱۳۹۲	۰/۲۲۷	بدون شکست معنی‌دار
کرمانشاه	۱۳۷۶	۰/۰۰۲۵	۱۳۷۶	۰/۰۰۲	شکست Robust منطقه‌ای
روانسر	۱۳۷۶	۰/۲۰۹	۱۳۷۶	۰/۲۵۸	شکست ضعیف
جوانرود	۱۳۷۶	۰/۶۲۶	۱۳۸۶	۰/۵۶۸	بدون شکست معنی‌دار
سنقر	۱۳۷۸	۰/۰۰۹	۱۳۷۸	۰/۰۳۴	شکست قوی و هم‌زمان
پاوه	۱۳۸۶	۰/۰۰۲۵	۱۳۸۶	۰/۰۷۰	شکست قوی Pettitt
گیلان‌غرب	۱۳۸۶	۰/۲۹۷	۱۳۸۶	۰/۴۰۷	شکست نامطمئن

جدول ۶: شیب سن بارش سالانه قبل و بعد از نقطه شکست مبنای (Pettitt)

ایستگاه	سال شکست	شیب قبل (mm/yr)	شیب بعد (mm/yr)	تغییر رژیم
اسلام‌آباد غرب	۱۳۷۶	-۱۱/۴	+۴/۹	بازیابی ضعیف ← کاهش
سرپل‌ذهاب	۱۳۷۶	-۳۲/۳	+۲/۵	تثبیت ← افت شدید
کنگاور	۱۳۹۳	-۱/۹	+۶۱/۱	جهش بارشی
قصرشیرین	۱۳۷۸	-۱۴/۴	-۱/۲	تداوم خشکی
صحنه	۱۳۸۳	+۱/۲	+۹/۱	تقویت ملایم
هرسین	۱۳۹۱	-۳/۳	+۴۷/۰	تغییر رژیم
کرمانشاه	۱۳۷۶	-۳/۸	+۳/۴	نوسان ← کاهش
روانسر	۱۳۷۶	-۲/۵	+۵/۷	بهبود محدود
جوانرود	۱۳۷۶	+۴/۶	+۳/۳	تغییر اندک
سنقر	۱۳۸۰	-۵/۸	+۱/۶	تثبیت
پاوه	۱۳۹۳	-۲/۵	+۱۵۶/۶	جهش بسیار قوی
گیلان‌غرب	۱۳۹۰	-۰/۴	+۷۸/۵	تغییر رژیم بارشی قوی

۴.۵.۳. نتایج شیب سن دمای سالانه

قبل/بعد از نقطه شکست (مبنای

(Pettitt)

بررسی شیب سن دمای سالانه در دوره‌های قبل و بعد از سال شکست (بر اساس آزمون Pettitt) نشان می‌دهد که تغییرات دما در ایستگاه‌های استان کرمانشاه یکنواخت نیست و الگوی رژیمی و ناهمگن فضایی دارد. در ایستگاه‌هایی

مانند کنگاور، قصرشیرین، روانسر و گیلان‌غرب تغییر علامت شیب سن از منفی در دوره پیش از شکست به مثبت در دوره پس از آن، نشان‌دهنده گذار به یک رژیم حرارتی جدید و آغاز دوره‌ای با گرمایش فعال‌تر است؛ به‌طوری‌که نقطه شکست نه‌تنها میانگین دما، بلکه آهنگ افزایش دما را نیز تغییر داده است. در مقابل، ایستگاه‌هایی مانند صحنه، کرمانشاه و سنقر علی‌رغم تداوم روند

افزایشی در هر دو دوره، کاهش مقدار شیب سن پس از شکست را نشان می‌دهند که بیانگر تعدیل شدت گرمایش و کندشدن آهنگ افزایش دما در دوره جدید است. در ایستگاه هرسین نیز تغییر شیب سن از مقادیر مثبت قابل توجه در دوره قبل به مقادیر منفی در دوره پس از شکست، حاکی از آن است که شکست ساختاری شناسایی شده الزاماً به تقویت گرمایش منجر نشده و رفتار دما پس از آن به سمت ایستایی یا نوسانات ضعیف‌تر متمایل شده است. در مجموع، نتایج (جدول ۷) بیانگر آن است که گرمایش در استان کرمانشاه از ناهمگنی فضایی بالا برخوردار است و مجموعه‌ای از تشدید گرمایش، تضعیف روند و تغییر رژیم حرارتی در ایستگاه‌های مختلف مشاهده می‌شود؛ موضوعی که ضرورت تحلیل یکپارچه سال شکست و شیب سن در دو دوره را برای تفسیر صحیح پویایی‌های اقلیمی منطقه برجسته می‌کند (جدول ۷).

۵.۵.۳. نتایج نمودارهای بارش سالانه و نقاط شکست

تحلیل سری‌های زمانی بارش سالانه، همراه با نقاط شکست شناسایی شده توسط آزمون‌های Pettitt (خط قرمز) و SNHT (خط سبز)، نشان می‌دهد که رفتار بارش در ایستگاه‌های استان کرمانشاه به مراتب ناهمگن‌تر و پیچیده‌تر از دما است. در بیشتر ایستگاه‌ها، نقاط شکست شناسایی شده توسط دو آزمون با یکدیگر هم‌زمان نیستند و مقادیر p -value در بسیاری از موارد از سطح معنی‌داری فراتر می‌روند؛ امری که بیانگر غلبه نوسانات طبیعی، بین‌سالی و چندمقیاسی بر ساختار بارش سالانه است. با این حال، در برخی ایستگاه‌ها مانند گیلان‌غرب و پاوه، وجود شکست‌های معنی‌دار و نسبتاً هم‌زمان در

هر دو آزمون، همراه با تغییر محسوس در مقابل، ایستگاه‌هایی نظیر کرمانشاه، دامنه و سطح بارش پس از سال شکست، سرپل‌ذهاب و جوانرود، هرچند نوسانات نشان‌دهنده وقوع یک تغییر واقعی در شدیدی را تجربه کرده‌اند، نبود شکست رژیم بارشی است. در این ایستگاه‌ها، افزایش یا کاهش ناگهانی مقادیر بارش پس از نقطه شکست، حاکی از تغییر در الگوی رخدادهای بارشی (از نظر فراوانی یا شدت بارش‌های تر و خشک) است. در.

جدول ۷: شیب سن دمای سالانه قبل و بعد از نقطه شکست مبنای آزمون (Pettitt)

ایستگاه	سال شکست	شیب قبل (C°/سال)	شیب بعد (C°/سال)	تغییر رژیم
اسلام‌آباد غرب	۱۳۸۶	۰/۰۴۰	۰/۰۵۵	تشدید گرمایش
سرپل‌ذهاب	۱۳۷۶	۰/۰۳۷	۰/۰۳۳	تضعیف جزئی گرمایش
کنگاور	۱۳۸۶	-۰/۰۳۸	۰/۱۰۰	تغییر رژیم (افزایش شدید → کاهش)
قصرشیرین	۱۳۸۶	-۰/۰۲۰	۰/۰۳۶	تغییر رژیم (گرمایش → سردشدگی ضعیف)
صحنه	۱۳۷۶	۰/۱۱۴	۰/۰۲۵	کاهش آهنگ گرمایش
هرسین	۱۳۷۶	۰/۱۱۴	-۰/۰۱۰	ایستایی/کاهش → گرمایش
کرمانشاه	۱۳۷۶	۰/۱۱۴	۰/۰۲۵	کاهش آهنگ گرمایش
روانسر	۱۳۷۶	-۰/۰۴۶	۰/۰۲۷	تغییر رژیم (افزایش → کاهش)
جوانرود	۱۳۷۶	-۰/۰۴۶	۰/۰۱۱	تغییر رژیم ضعیف
سنقر	۱۳۷۸	۰/۱۰۰	۰/۰۵۱	تداوم گرمایش با شدت کمتر
پاوه	۱۳۸۶	-۰/۰۵۶	۰/۰۰۵	تغییر رژیم بسیار ضعیف
گیلان غرب	۱۳۸۶	-۰/۰۲۰	۰/۰۷۱	تغییر رژیم و تشدید گرمایش



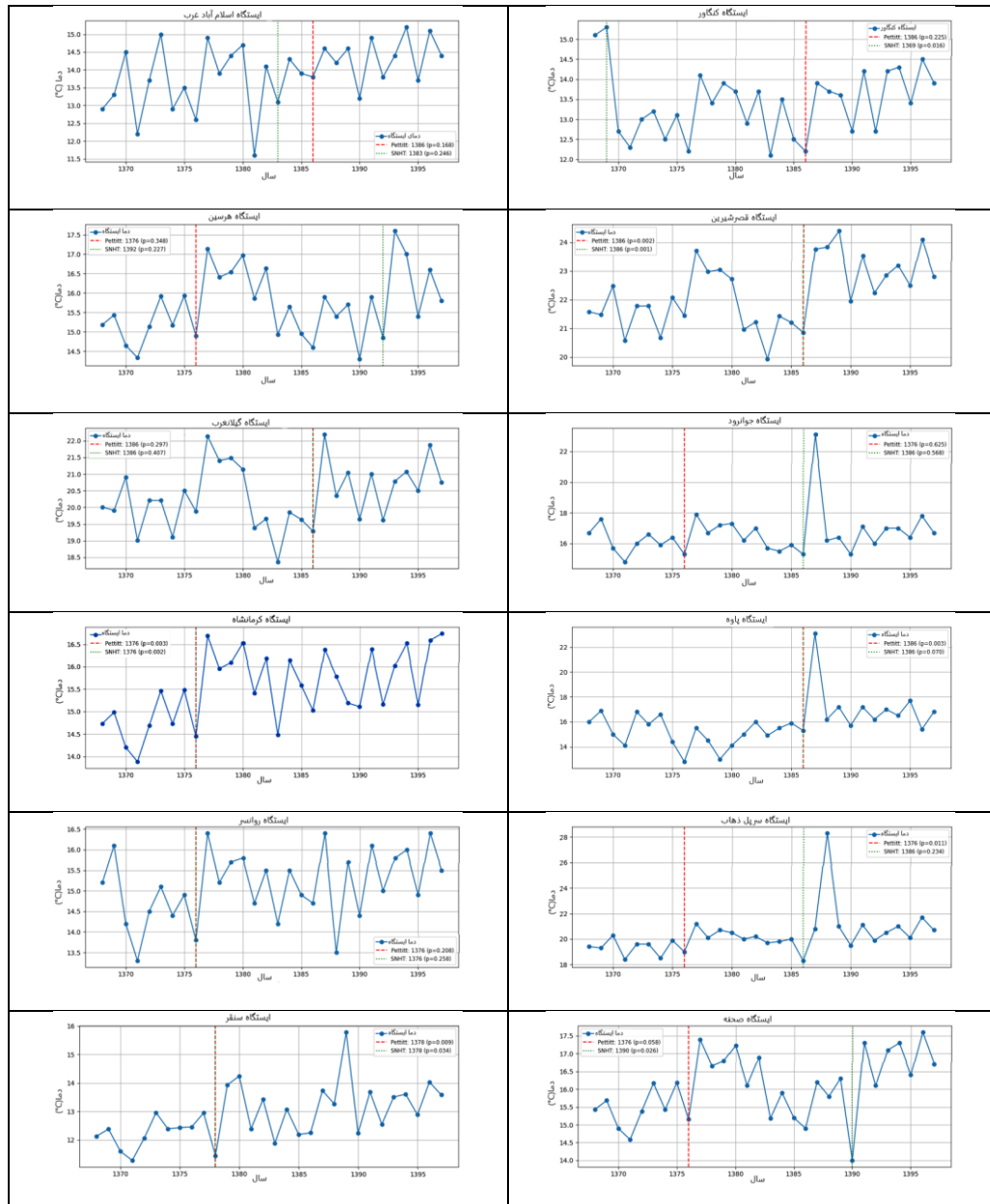
شکل ۸: نمودار سری زمانی بارش سالانه و نقاط شکست

۶.۵.۳. نتایج نمودارهای دمای سالانه

و نقاط شکست

بررسی سری‌های زمانی دمای سالانه ایستگاه‌های استان کرمانشاه همراه با نقاط شکست شناسایی شده توسط آزمون‌های Pettitt و SNHT نشان می‌دهد که رفتار دما در اغلب ایستگاه‌ها از الگوی یکنواختی پیروی نکرده و در طول دوره مطالعه دچار تغییرات ساختاری شده است. در برخی ایستگاه‌ها، به‌ویژه قصرشیرین، کرمانشاه، سنقر و پاوه، هم‌زمانی یا نزدیکی سال شکست در دو آزمون همراه با معنی‌داری آماری آن‌ها بیانگر وقوع شکست‌های حرارتی قوی است که با افزایش سطح میانگین دما در سال‌های پس از شکست همراه بوده‌اند. در این ایستگاه‌ها، تغییر ناگهانی سطح دما و تغییر شیب روند پس از سال شکست نشان‌دهنده گذار از یک رژیم حرارتی نسبتاً پایدار به دوره‌ای با گرمایش فعال‌تر است. در مقابل، در

ایستگاه‌هایی مانند هرسین، صحنه و روانسر، اگرچه سال شکست توسط یکی از آزمون‌ها شناسایی شده است، اما نبود هم‌زمانی کامل میان آزمون‌ها یا بالا بودن مقادیر p -value نشان می‌دهد که تغییرات دما در این ایستگاه‌ها بیشتر ماهیتی تدریجی داشته و تا حد زیادی تحت تأثیر نوسانات بین‌سالی قرار دارد. به‌طور کلی، الگوی فضایی نقاط شکست دمایی نشان می‌دهد که گرمایش در استان کرمانشاه ماهیتی منطقه‌ای دارد، اما شدت و زمان وقوع آن به‌طور محسوسی تحت تأثیر شرایط محلی، ارتفاع و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها قرار گرفته است. این نتایج تأکید می‌کند که بررسی صرف روند کلی دما بدون توجه به نقاط شکست می‌تواند به برداشت ناقص از پویایی‌های حرارتی منطقه منجر شود (شکل ۹)



شکل ۹: نمودار سری زمانی دما سالانه و نقاط شکست

به‌طورکلی، مقایسه نمودارهای بارش با نتایج دما نشان می‌دهد که برخلاف گرمایش نسبتاً منسجم دمایی، تغییرات بارش در استان کرمانشاه فاقد الگوی یکنواخت منطقه‌ای بوده و به‌شدت مکان‌وابسته است؛ نتیجه‌ای که بر ضرورت استفاده هم‌زمان از تحلیل روند، آشکارسازی نقطه شکست و تفسیر اقلیمی محتاطانه در مطالعات بارش تأکید دارد.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از ایستگاه‌های مورد مطالعه استان کرمانشاه در طی بازه زمانی ۱۳۶۸-۱۳۹۷ نشان داد که تنها ایستگاه گیلان غرب روند افزایش معنی دار را در متغیر بارش نشان داده است ($Z=2/4$)، دیگر ایستگاه‌ها روند معنی داری را نشان ندادند. همچنین از ۱۲ ایستگاه مورد بررسی ۷ ایستگاه روند افزایشی معنی داری را در دما نشان

دادند؛ نتایج تغییرات دما و بارش سالانه براساس روش تحلیل روند نوآورانه با نتایج آزمون MK و Sen همخوانی داشته و تایید کننده آن‌ها بوده است. نتایج آزمون های Pettitt و SHNT برای بارش سالانه نشان داد رفتار بارش در استان کرمانشاه به مکان وابسته است و سال‌های شکست به دست آمده از هر دو آزمون متفاوت بوده و معنی‌داری را نشان ندادند، همچنین شکست‌های ساختاری دمایی معنی‌دار در ایستگاه‌های قصرشیرین، کرمانشاه و سنقر رخ داده که بیانگر سیگنال قوی گرمایش بوده است؛ تحلیل شیب سن بارش سالانه، قبل و بعد شکست نشان داد تغییرات بارش در ایستگاه‌ها به صورت تغییر در آهنگ روند رخ داده است نه به صورت پرش نگرانی در میانگین، تحلیل تغییرات شیب سن دمای سالانه قبل و بعد شکست نشان داد که در ایستگاه‌های استان کرمانشاه،

تغییرات به صورت افزایش یکنواخت رخ نداده است بلکه بیشتر به صورت ماهیت رژیم می بوده است. اگرچه شناسایی نقاط شکست آماری در این پژوهش انجام شد، اما بررسی کمی این ارتباطها به دلیل محدودیت داده ها و تمرکز این مطالعه بر تحلیل های آماری در این پژوهش انجام نشد و می تواند موضوع مطالعات آتی در مقیاس منطقه ای باشد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان های تأمین مالی دریافت نکرده است.
تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.
برگرفته از پایان نامه / رساله: این مقاله برگرفته از پایان نامه / رساله نبوده است.

References

- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6(6), 661-675.
- Alifujiang, Y., Abuduwaili, J., Maihemuti, B., & others. (2023). Precipitation trend identification with a modified innovative trend analysis method. *Journal of Water and Climate Change*, 14(6), 1798–1816.
- Chakraborty D, Saha S, Singh RK, Sethy BK, Kumar A, Saikia US, Das SK, Makdoh B, Borah TR, Nomita Chanu A, Walling I, Rolling Anal PS, Chowdhury S, Daschadhuri D. (2017). Spatiotemporal trends and change point detection in rainfall in different parts of North-eastern Indian states. *Journal of*

- Agrometeorology*, 19(2):160-163.
- Dipak B, Chatterjee S, Khan A, Barman N. (2014). Application of Sequential Mann-Kendall Test for Detection of Approximate Significant Change Point in Surface Air Temperature for Kolkata Weather Observatory, West Bengal India. *International Journal of Current Research*, 6(2):5319–5324.
 - Dong, Z., Jia, W., Sarukkalige, P. R., Fu, G., & others. (2020). Innovative trend analysis of air temperature and precipitation in the Jinsha River Basin, China. *Water*, 12(11), 3293.
 - Farooqi, A., Ghavidel Rahimi, Y., & Farajzadeh Asl, M. (2025). Analysis of the merger of the polar jet stream and subtropical jet stream and its impact on precipitation in western Iran (Case study: 12–15 December 2010). *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 25(78), 362–375.
 - Gaddikeria, V., Sarangi, A., Singh, D. K., Jatav, M. S., Rajput, J., & Kushwaha, N. L. (2024). Trend and change-point analyses of meteorological variables using Mann–Kendall family tests and innovative trend assessment techniques in New Bhubania command (India). *Journal of Water and Climate Change*, 15(5), 2033–2056.
 - Gholami, V. K., Salahi, B., & Mohammadi, G. H.

- (2024). Analysis of the effect of simultaneous occurrence of some Northern Hemisphere teleconnection indices on winter temperature of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 50(1, Spring), 165–184.
- Ghorbani Minaei, L., Mosaedi, A., Zakerinia, M., Kolbali, E., & Ghobaei Souq, M. (2024). Investigating climate change impact on future temperature and precipitation trends in the Qarah Su basin using CMIP6 models. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55, 245–268.
- Hussain A, Cao J, Ali S, Muhammad S, Ullah W, Hussain I, Akhtar M, Wu X, Guan Y, Zhou J. (2022). Observed trends and variability of seasonal and annual precipitation in Pakistan during 1960–2016. *International Journal of Climatology*, 42(16), 8313-8332.
- Iranshahi, M., Ebrahimi, B., Yousefi, H., & Moridi, A. (2022). Investigating the effects of climate change on temperature and precipitation using neural networks and the IPCC Sixth Assessment Report (Case study: Aleshtar and Khorramabad stations). *Water and Irrigation Management*, 12, 821–845.
- Körük, A. E., Kankal, M., Yıldız, M. B., Akçay, F., Şan, M., & Nacar, S. (2023). Trend analysis of precipitation using innovative approaches in northwestern Turkey. *Physics and Chemistry of the Earth*,

- Parts A/B/C*, 131, 103416.
- Koycegiz, C. (2024). Spatiotemporal analysis of precipitation variability in an endorheic basin of Turkey with coordinated regional climate downscaling experiment data. *Alexandria Engineering Journal*, 91, 368–381.
 - Kumar, S., Ahmad, S. A., Karkala, J. (2023). Time series data and rainfall pattern subjected to climate change using non-parametric tests over a vulnerable region of Karnataka, India. *Journal of Water and Climate Change*, Vol 14 No 5, 1532.
 - Malik, A., Stenchikov, G., Mostamandi, S., Lelieveld, J., Zittis, G., Sheraz Ahesan, M., Atique, L., Usman, M. (2024). Accelerated Historical and Future Warming in the Middle East and North Africa. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, Volume129, pp. 1-31.
 - Nistani, A. (2025). Temporal variability analysis of teleconnection signals affecting Iran's climate. *Journal of the Earth and Space Physics*, 51(3, Autumn), 613–633.
 - Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28(2), 126–135.
 - Rwema, M., Bamba Sylla, M., Safari, B., Roininen, L., Laine, M. (2025). Trend analysis and change point detection in precipitation

- time series over the Eastern Province of Rwanda during 1981–2021. *Theoretical and Applied Climatology*, 156(2), 98.
- Şan, M. (2025). Combined innovative trend analysis methods for seasonal trend testing. *Journal of Hydrology*, Volume 649, 132418.
 - Şen, Z. (2012). Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 1042–1046.
 - Thile, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, Part 3. *Proceedings of Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. A. 53*: 1397-1412.
 - Wu, H. & Qian, H. (2017). Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall and extreme values in Shaanxi, China, since the 1950s. *International Journal of Climatology*, 37, 2582–2592.
 - Zhang Y, Liang C. (2020). Analysis of annual and seasonal precipitation variation in the Qinba Mountain area, China. *Scientific Reports*, 10(1), p 961.
 - Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y., et al. (2022). Climate change and weather extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Reviews of Geophysics*, 60, e2021RG000762.