

Detection of Asymmetric Warming Signals and Intensification of Extreme Precipitation at the Sardasht Synoptic Station During 1986–2025

Ehsan Soreh ¹ | Bahareh Batmani ² | Majid Rezaei Banafshe ³ 

1. Ph.D. Student in Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2. PhD Candidate in Climatology, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3. Professor of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Article Info:

Article type:

Research Article

Date:

Received: 2025.06.02

Received: 2025.06.22

Accepted: 2025.06.26

Published:

Keywords:

Climate change, Extreme indices, Asymmetric warming, Precipitation intensity, Sardasht

Abstract: Changes in extreme climatic patterns, as the most prominent consequence of global warming, have created serious hydrological and ecological challenges in mountain ecosystems. This study analyzes the trends of extreme climate indices at the Sardasht synoptic station by examining downscaled temporal trends of 10 temperature and precipitation extreme indices (ETCCDI) over a 40-year period (1986–2025). After daily data quality control, the Mann–Kendall test and Sen's slope estimator were applied. The findings reveal a structural transformation in the region's climate regime, as a warming signal is observed across all temperature indices with statistical certainty (95% to 99.9%). The warm spell duration index has increased with a slope of +3.115 days/year, and tropical nights with a rate of +1.081 days/year, indicating intensified heat stress and disruption of nocturnal cooling. Conversely, frost days and ice days have decreased at rates of –1.259 and –1.059 days/year, respectively, confirming the decline of harsh winters and shortening of the cold season. Regarding precipitation, although the annual total shows no significant trend, the increase in the simple daily intensity index (+0.062 mm/day per year) suggests a shift toward short, intense downpours. Overall, the climate of Sardasht is transitioning from a temperate mountain phase toward conditions with compound extreme hazards (flash floods and heatwaves).

Cite this article: Soreh, E, Batmani, B, Saligheh, M, Rezaei Banafshe, M. (2025). Detection of Asymmetric Warming Signals and Intensification of Extreme Precipitation at the Sardasht Synoptic Station During 1986–2025. *Climat Change and Climat Disasters*, 4(7), 198–232.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan.



Extended Abstract

Introduction

Changes in extreme climate patterns, as a prominent consequence of global warming, have created serious hydrological and ecological challenges, particularly in mountainous ecosystems. This study aimed to investigate the trend of extreme climate indices at the Sardasht synoptic station by analyzing the temporal trends of temperature and precipitation extreme indices (ETCCDI) over a 40-year statistical period (1986-2025). Due to its location in the high-precipitation belt of the northern Zagros and its critical role in supplying water to the Little Zab river basin, Sardasht possesses specific sensitivity, making the precise analysis of extreme events essential.

Materials and Methods

This study utilized daily meteorological data, including total precipitation, minimum temperature, and maximum temperature, from the Sardasht synoptic station (elevation 1480 meters) spanning from January 1, 1986, to November 16, 2025.

Following quality control of the daily data, the non-parametric Mann-Kendall test and Sen's slope estimator were employed to determine the trend and magnitude of changes in the indices.

Results

The research findings revealed a structural transformation in the regional climate regime, with a warming signal observed across all temperature indices with statistical certainty (95% to 99.9%). Quantitative results indicated that the Warm Spell Duration Index (WSDI) increased at a steep rate of +3.115 days per year, and Tropical Nights (TR20) increased at a rate of +1.081 days per year, signifying the intensification of thermal stress and disruption of nighttime cooling mechanisms. Conversely, a significant decrease in frost days and ice days at rates of -1.259 and -1.059 days per year, respectively, confirmed the decline in harsh winters and the shortening of the cold season. Regarding precipitation, although the total annual precipitation lacked a significant trend, the Simple Daily

Intensity Index (SDII) increased by +0.062 mm/day per year, indicating a shift in the nature of precipitation towards severe, short-duration downpours.

Conclusion

This study demonstrates that the climate of Sardasht, influenced by asymmetric warming and the intensification of the hydrological

cycle, is transitioning from a temperate mountainous phase toward conditions characterized by compounding extreme hazards, such as flash floods and heatwaves

.

Keywords: Climate change, Extreme indices, Asymmetric warming, Precipitation intensity, Sardasht.



آشکار سازی سیگنال‌های گرمایش نامتقارن و تشدید بارش‌های حدی در ایستگاه

سینوپتیک سردشت طی دوره ۱۹۸۶-۲۰۲۵

احسان سوره^۱ | بهاره باتمانی^۲ | مجید رضایی بنفشه درق^۳

۱. دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳. استاد آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۵

انتشار:

واژگان کلیدی:

تغییر اقلیم، شاخص‌های حدی، گرمایش نامتقارن، شدت بارش، سردشت

چکیده: تغییر در الگوهای حدی اقلیمی، به عنوان بارزترین پیامد گرمایش جهانی، چالش‌های جدی هیدرولوژیک و اکولوژیک در اکوسیستم‌های کوهستانی ایجاد کرده است. پژوهش حاضر با هدف واکاوی روند شاخص‌های حدی اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک سردشت، به بررسی ریزمقیاس روندهای زمانی ۱۰ شاخص حدی دما و بارش (ETCCDI) طی دوره ۴۰ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۵) پرداخته است. پس از کنترل کیفی داده‌های روزانه، از آزمون من-کندال و برآوردگر شیب سن استفاده شد. یافته‌ها نشان‌دهنده دگردسی ساختاری در رژیم اقلیمی منطقه است؛ به طوری که سیگنال گرمایش در تمامی شاخص‌های دمایی با قطعیت آماری (۹۵ تا ۹۹/۹ درصد) دیده می‌شود. شاخص تداوم امواج گرمایی با شیب ۳/۱۱۵+ روز در سال و شاخص شب‌های گرمسیری با نرخ ۱/۰۸۱+ روز در سال افزایش یافته‌اند که بیانگر تشدید استرس حرارتی و اختلال در خنک‌سازی شبانه است. در مقابل، روزهای یخبندان و یخی به ترتیب با نرخ ۱/۲۵۹- و ۱/۰۵۹- روز در سال کاهش یافته‌اند. در بخش بارش، افزایش شاخص شدت بارش با شیب ۰/۰۶۲+ میلی‌متر در روز نشان‌دهنده تغییر ماهیت بارش به رگبارهای شدید است. در مجموع، اقلیم سردشت به سوی مخاطرات حدی مرکب (سیل و امواج گرمایی) در حال گذار است.

استناد: سوره، احسان، باتمانی، بهاره، رضایی بنفشه، مجید. (۱۴۰۴). آشکار سازی سیگنال‌های گرمایش نامتقارن و تشدید بارش‌های حدی در ایستگاه سینوپتیک سردشت طی دوره ۱۹۸۶-۲۰۲۵. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، ۴(۷)، ۱۹۸-۲۳۲.

© نویسندگان.

Homepage: cccd.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان



۱. مقدمه

تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط‌زیستی و توسعه‌ای در مقیاس جهانی بدل شده است؛ چالشی که پیامدهای آن فراتر از تغییر در میانگین عناصر اقلیمی، به‌طور مستقیم در قالب دگرگونی الگوهای رخدادهای حدی بروز می‌یابد. این رخدادها، به دلیل شدت، فراوانی و آثار ناگهانی خود، تأثیرات عمیق‌تری بر سامانه‌های طبیعی و انسانی برجای می‌گذارند و از همین‌رو در کانون توجه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی معاصر قرار گرفته‌اند. گزارش‌های علمی نشان می‌دهد که افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و برهم‌کنش آن با سامانه جو-اقیانوس، نقش تعیین‌کننده‌ای در تشدید ناپایداری‌های اقلیمی و بروز رویدادهای حدی ایفا کرده است (Trenberth et al., 2007; Poortinga et al., 2011). مشاهدات ابزاری و داده‌های بازتحلیل

اقلیمی حاکی از آن است که دمای متوسط سطح زمین در مقیاس جهانی طی قرن بیست‌ویکم با آهنگی فزاینده افزایش یافته و شدت این روند به‌ویژه در نیم‌قرن اخیر تشدید شده است. این گرمایش گسترده، زمینه‌ساز افزایش احتمال وقوع رخدادهای شدید اقلیمی، از جمله موج‌های گرمایی، تغییر در رژیم بارش و ناپایداری سامانه‌های آبی شده است. پیامدهای این تغییرات نه‌تنها در سطح زیست‌محیطی، بلکه در ابعاد اجتماعی و اقتصادی نیز قابل‌توجه بوده و می‌تواند با افزایش مخاطرات بهداشتی، تشدید تنش‌های حرارتی و تغییر الگوهای کشاورزی همراه باشد (Yan & Zheng, 2015). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که گرمایش جهانی یکی از محرک‌های اصلی تغییرات هیدرولوژیکی و افزایش فراوانی و شدت بارش‌های حدی و سیلاب‌های ناگهانی است. بررسی روند در سری‌های زمانی متغیرهای آب‌وهواشناسی،

ابزاری کلیدی برای تفکیک سیگنال تغییر اقلیم از نوسانات طبیعی به‌شمار می‌رود. در این چارچوب، تحلیل روند بارش و رخدادهای حدی، امکان ارزیابی پیامدهای هیدرولوژیکی نظیر خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها را فراهم کرده و اطلاعات ارزشمندی برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، کاهش ریسک مخاطرات طبیعی و افزایش تاب‌آوری در برابر تغییر اقلیم ارائه می‌دهد (Serrano et al., 1999).

شناخت علمی پدیده تغییر اقلیم مستلزم بررسی دقیق سری‌های زمانی بلندمدت عناصر اقلیمی، به‌ویژه دما و بارش است. بخش عمده‌ای از مطالعات اقلیمی، بر تحلیل تغییرات زمانی این عناصر و شناسایی وجود یا عدم وجود روندهای معنادار متمرکز بوده‌اند. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که پارامترهای جوی به‌شدت تحت تأثیر عوامل متعددی نظیر افزایش گازهای گلخانه‌ای، تغییرات سطح زمین، گرم‌شدن اقیانوس‌ها، شهرنشینی و پدیده جزایر حرارتی شهری قرار دارند و واکنش آن‌ها به تغییر اقلیم از نظر مکانی و زمانی ناهمگون است (Ben-Gai et al., 2001).

در این میان، شاخص‌های حدی اقلیمی که بر اساس پارامترهای هواشناسی مرتب‌شده در قالب سری‌های زمانی محاسبه می‌شوند، نقش مهمی در تحلیل رفتار اقلیم در مقیاس‌های مختلف ایفا می‌کنند. بررسی وجود روند معنادار در این شاخص‌ها می‌تواند متأثر از تغییرات تدریجی طبیعی، تغییر اقلیم و یا فعالیت‌های انسانی باشد. با این حال، شناسایی روند در یک سری زمانی به‌تنهایی به‌منزله اثبات قطعی وقوع تغییر اقلیم در یک منطقه نیست، بلکه شواهدی در جهت تقویت فرض آن محسوب می‌شود؛ امری که ناشی از پیچیدگی و چندعاملی بودن سامانه اقلیم است. از این رو، شاخص‌های حدی نه‌تنها ابزار تحلیلی مؤثری برای مطالعات

اقلیمی‌اند، بلکه در مدلسازی اقلیم و پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی نیز کاربرد گسترده‌ای دارند (Alavinia & Zarei, 2021). بر اساس تعریف سازمان جهانی هواشناسی^۱، رخدادهای حدی اقلیمی به وقایعی اطلاق می‌شود که مقادیر متغیرهای اقلیمی در آن‌ها از حدود آستانه‌های آماری مشخص فراتر رفته یا فروتر می‌ماند. این رخدادها معمولاً کمیاب، با شدت بالا و دارای احتمال وقوع پایین هستند و می‌توانند نظم معمول اکوسیستم‌ها و فعالیت‌های انسانی را به‌طور جدی مختل کنند. از جمله این پدیده‌ها می‌توان به موج‌های گرما و سرما، بارش‌های حدی، سیلاب‌ها، خشکسالی‌ها و توفان‌های شدید اشاره کرد (Zhu & Toth, 2001; IPCC², 2012). از آنجا که اکوسیستم‌ها و ساختارهای فیزیکی جوامع انسانی عموماً بر اساس شرایط اقلیمی بهنجار شکل گرفته‌اند، بروز رخدادهای حدی اغلب با پیامدهایی به‌مراتب شدیدتر از تغییر در شرایط متوسط جوی همراه است. تغییر در زمان، شدت یا فراوانی این رخدادهای می‌تواند آثار چشمگیری بر سامانه‌های طبیعی و انسانی بر جای بگذارد و ظرفیت سازگاری آن‌ها را با چالش‌های اقلیمی تضعیف کند (Koozehgaran & Mousavibaygi, 2015). بخش‌هایی نظیر منابع آب و کشاورزی از آسیب‌پذیرترین سامانه‌ها در برابر رخدادهای حدی اقلیمی به‌شمار می‌روند، به‌گونه‌ای که تغییر در الگوی این رویدادها می‌تواند کیفیت و کمیت تولیدات کشاورزی، امنیت غذایی و معیشت جوامع محلی را به‌طور مستقیم تحت تأثیر قرار دهد. گزارش‌های بین‌المللی نشان می‌دهد

². Intergovernmental Panel on Climate Change

¹. World Meteorological Organization

که افزایش فراوانی و شدت رخداد‌های حدی، خساراتی به مراتب شدیدتر از تغییرات تدریجی میانگین اقلیمی به همراه دارد (IPCC, 1995؛ Zwiers et al., 2013). در همین راستا، سازمان جهانی هواشناسی با همکاری نهادهایی نظیر NOAA¹، از طریق پروژه‌های مشترک بین کمیسیون اقلیم‌شناسی (CCL)، برنامه CLIVAR و برنامه تحقیقات جهانی اقلیم (WCRP)، چارچوب‌های استاندارد برای پایش و آشکارسازی تغییر اقلیم و شاخص‌های حدی آن توسعه داده است. حاصل این تلاش‌ها، ارائه روابط استاندارد محاسبه شاخص‌های حدی و توسعه ابزارهایی همچون نرم‌افزارهای Climdex و RClimdex بوده است که امروزه به‌ویژه در مناطقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران که وابستگی شدیدی به منابع آب و شرایط جوی دارند، به‌طور گسترده در مطالعات اقلیم‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند (IPCC, 2012).

در دهه‌های اخیر، رخداد‌های حدی اقلیمی به‌عنوان بارزترین نمایه‌های تغییر اقلیم، کانون توجه پژوهش‌های جهانی قرار گرفته‌اند؛ چراکه تغییر در ویژگی‌های آماری این رخدادها (شدت، فراوانی و تداوم) در قیاس با تغییرات میانگین، پیامدهای اکولوژیک و هیدرولوژیک عمیق‌تری را بر جای می‌گذارد. در همین راستا، واکاوی شاخص‌های استاندارد حدی (ETCCDI²) در جغرافیای ایران و جهان، الگوهای پیچیده‌ای را آشکار ساخته است. در مطالعات انجام شده در ایران، Zand et al. (2023) در استان لرستان، ضمن تأیید روند کاهشی در مجموع بارش سالانه، بر

² Expert Team on Climate Change Detection and Indices

¹ National Oceanic and Atmospheric Administration

افزایش شدت و فراوانی بارش‌های حدی در کنار غلبه‌ی مطلق روندهای گرمایشی تأکید کردند که هشدار برای مدیریت منابع آب در زاگرس میانی بود. Eskandari et al. (2024) نیز با تحلیل فضایی شاخص‌های حدی بارش در اردبیل، اگرچه روندهای کاهشی را غالب دانستند، اما بر عدم یکنواختی مکانی و اهمیت تحلیل‌های ایستگاهی صحنه گذاشتند. هم‌سو با این یافته‌ها، Ebrahimi Khorramabadi et al. (2024) در حاشیه‌ی کویر مرکزی، سیگنال گرمایش را در تمامی شاخص‌های دمایی مشاهده کردند، در حالی که شاخص‌های بارشی عمدتاً فاقد روند معنادار بودند؛ یافته‌ای که نقش ارتفاعات (مانند البرز) را در تعدیل تغییرات حدی برجسته ساخت. در جدیدترین مطالعه داخلی، Hejazizadeh et al. (2025) با رویکرد آینده‌نگری و بهره‌گیری از سناریوهای SSP¹ در آذربایجان شرقی، چشم‌اندازی ناهمگون از بارش‌های حدی آینده را ترسیم کردند که لزوم برنامه‌ریزی محلی را گوشزد می‌کند. در مقیاس جهانی نیز مطالعات هم‌راستا با یافته‌های داخلی، بر تغییر ساختار رخدادهای حدی دلالت دارند. Jayawardena et al. (2018) در سریلانکا نشان دادند که نرخ افزایش دمای کمینه سریع‌تر از دمای بیشینه بوده و منجر به کاهش دامنه شبانه‌روزی دما شده است؛ ضمن آنکه بارش کل، عمدتاً متأثر از تشدید بارش‌های سنگین افزایش یافته است. Felix et al. (2021) در حوضه رودخانه گئوم، تغییرات فصلی را مورد واکاوی قرار داده و ضمن تأیید تشدید گرمایش، به جابجایی زمانی فصل‌ها (طولانی‌تر شدن تابستان) و افزایش توأمان شدت دوره‌های خشک و مرطوب اشاره کردند. Guan et

¹. Shared Socio-economic Pathways

al. (2022). در منطقه سین‌کیانگ چین با ترکیب داده‌های مشاهداتی و مدل‌های CMIP6^۱، ضمن آشکارسازی روند صعودی شاخص‌های گرمایی و بارشی، هشدارهایی جدی در خصوص تهدید امنیت اکولوژیکی در نواحی کوهستانی صادر کردند. (Ruamba et al. (2023) در اقلیم نیمه‌خشک آفریقا، با وجود عدم مشاهده روند مشخص در بارش، بر کوتاه‌تر شدن دوره‌های بازگشت رخداد‌های حدی و افزایش ریسک مخاطرات تأکید نمودند. نهایتاً، (Kalita et al. (2023) حتی در یکی از مرطوب‌ترین نقاط جهان (چراپونجی)، افزایش روزهای خشک متوالی و تنش حرارتی را گزارش کردند که نشان‌دهنده فراگیری پدیده تغییر اقلیم حتی در میکروکلیم‌های خاص است.

مرور پیشینه پژوهشی نشان می‌دهد که اگرچه مطالعات ارزشمندی در مقیاس‌های حوضه‌ای (مانند دریاچه ارومیه) و استانی (آذربایجان شرقی) صورت گرفته است، اما خلاء یک مطالعه‌ی متمرکز و جامع بر روی ایستگاه سینوپتیک سردشت به‌عنوان یکی از کلیدی‌ترین ایستگاه‌های غرب کشور کاملاً مشهود است. سردشت به دلیل موقعیت استراتژیک مرزی، قرارگیری در کمربند پربارش زاگرس شمالی و نقش حیاتی آن در تأمین منابع آب حوضه رودخانه «زاب کوچک»، دارای حساسیت اکولوژیکی و هیدرولوژیکی ویژه‌ای است. با این وجود، تاکنون هیچ پژوهشی به‌طور اختصاصی به واکاوی ریزمقیاس شاخص‌های حدی دما و بارش (ETCCDI) و تحلیل رفتار رخداد‌های فرین در این منطقه نپرداخته است. این

^۱. Coupled Model Intercomparison Project Phase

پژوهش با هدف پر کردن این شکاف مطالعاتی، برای نخستین بار تلاش دارد با بهره‌گیری از داده‌های بلندمدت و به‌روز، تصویر دقیقی از تغییر اقلیم حدی در این منطقه ارائه دهد تا مبنایی برای مدیریت ریسک بلایای جوی و منابع آب در این شهرستان مرزی باشد.

داده‌ها و روش‌ها

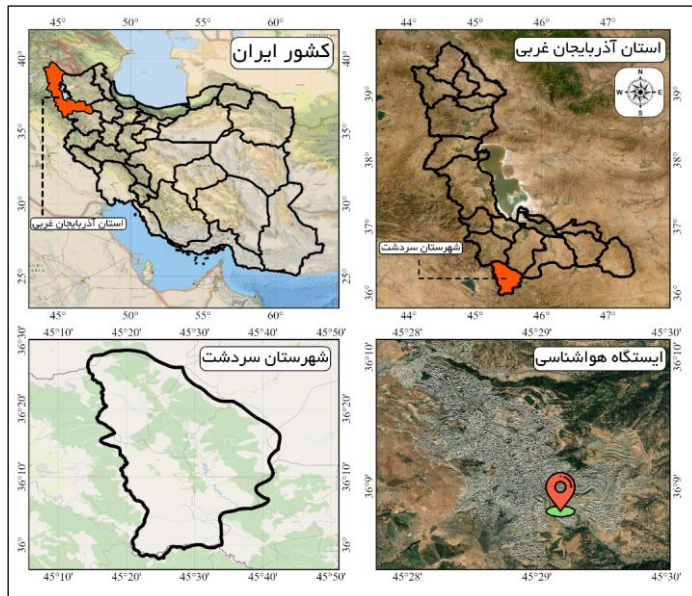
۱-۲ - منطقه مورد مطالعه

شهرستان سردشت در پهنه‌ی جنوبی استان آذربایجان غربی واقع شده و مرکز آن، شهر سردشت، از نظر موقعیت ریاضی بین عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۷ دقیقه و ۴۱ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه و ۴۸ ثانیه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۵ درجه ۲۷ دقیقه ۳۳ ثانیه تا ۴۵ درجه و ۲۹ دقیقه و ۴۸ ثانیه شرقی استقرار یافته است. این شهر که ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه در آن واقع شده، در ارتفاع ۱۴۸۰ متری از سطح دریا قرار دارد. منطقه مورد

مطالعه به لحاظ موقعیت نسبی، در نوار مرزی غرب ایران واقع شده و از نظر تقسیمات سیاسی، از شمال با شهرستان پیرانشهر، از شرق و شمال‌شرق با شهرستان‌های بوکان و مهاباد، و از جنوب‌شرق با شهرستان بانه (استان کردستان) هم‌جوار است؛ همچنین مرزهای غربی و جنوبی آن به کشور عراق محدود می‌گردد. از منظر فیزیوگرافی و هیدرولوژی، سردشت در حوضه آبریز رودخانه زاب کوچک قرار داشته و دارای ساختاری کوهستانی با کشیدگی شمالی- جنوبی است (Ahmadi, 2018; Hasanzadeh et al., 2021). موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و پراکنش ناهمواری‌های آن در سطح استان آذربایجان غربی، در شکل (۱) به تصویر کشیده شده است. همچنین، مختصات جغرافیایی، ارتفاع و دوره آماری ایستگاه

سینوپتیک مبنای تحقیق (سردشت) در

جدول (۱) ارائه گردیده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱: مشخصات ایستگاه منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	دوره آماری
ایستگاه سینوپتیک سردشت	۴۵/۴۹	۳۶/۱۵	۱۵۵۶/۸	۲۰۲۵ - ۱۹۸۶

۲.۲. داده‌ها

دمای کمینه و دمای بیشینه ایستگاه

سینوپتیک سردشت برای یک دوره آماری ۴۰ ساله (از ۱ ژانویه ۱۹۸۶ تا ۱۶ نوامبر ۲۰۲۵) از اداره کل هواشناسی استان

به منظور انجام محاسبات و تحلیل‌های آماری این پژوهش، داده‌های هواشناسی روزانه شامل پارامترهای مجموع بارش،

بیشینه روزانه (TX) در این روزها از صدک نودم فراتر رود. اگر TX_{ij} نشان دهنده دمای بیشینه روزانه در روز i از دوره j باشد و TX_{in90} نمایانگر صدک نودم روز تقویمی (که با استفاده از یک پنجره متحرک ۵ روزه برای دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ محاسبه شده است) در نظر گرفته شود؛ آنگاه مقدار این شاخص از مجموع تعداد روزهایی در هر دوره به دست می‌آید که در بازه‌های زمانی با تداوم حداقل ۶ روز پی‌درپی، شرط زیر برقرار باشد:

$$TX_{ij} > TX_{in90} \quad (1)$$

۲.۳.۲. شاخص روزهای تابستانی

(SU)

شاخص روزهای تابستانی (SU) بیانگر شمارش سالانه تعداد روزهایی است که دمای بیشینه روزانه (TX) از آستانه 25°C فراتر می‌رود. اگر TX_{ij} نشان دهنده دمای بیشینه روزانه در روز i از سال j باشد، این شاخص از طریق شمارش تعداد

آذربایجان غربی اخذ گردید. این پایگاه داده خام، به عنوان ورودی اصلی جهت اعمال فرآیندهای کنترل کیفیت و سپس محاسبه شاخص‌های حدی اقلیمی مورد استفاده قرار گرفت. اگرچه در این پژوهش کلیه ۲۸ شاخص حدی دمایی و بارشی معرفی شده توسط تیم تخصصی ETCCDI برای ایستگاه سردشت محاسبه گردید، اما به منظور رعایت اختصار و تمرکز بر یافته‌های کلیدی، صرفاً شاخص‌هایی که دارای روند معنی‌دار آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ یا بالاتر بودند در این مقاله گزارش شده‌اند. مابقی شاخص‌ها فاقد روند معنی‌دار بوده و از ارائه آن‌ها صرف‌نظر گردید.

۲.۳.۲. روش‌ها

۲.۳.۲.۱. شاخص تداوم امواج گرمایی

(WSDI)

شاخص تداوم امواج گرمایی (WSDI)

بیانگر شمارش سالانه روزهایی است که بخشی از یک دوره گرم با تداوم حداقل ۶ روز متوالی می‌باشند؛ به‌طوری‌که دمای

۴.۳.۲. شاخص درصد شب‌های گرم (TN90p)

شاخص درصد شب‌های گرم (TN90p) بیانگر درصد روزهایی در یک دوره زمانی (معمولاً سال) است که دمای کمینه روزانه (TN) آن‌ها فراتر از صدک نودم دمای کمینه همان روز تقویمی در دوره پایه باشد. اگر TN_{ij} نشان‌دهنده دمای کمینه روزانه در روز i از دوره j باشد و TN_{in90} نمایانگر صدک نودم روز تقویمی (که با استفاده از یک پنجره متحرک ۵ روزه برای دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ محاسبه شده است) در نظر گرفته شود، آنگاه درصد شب‌های گرم از طریق تعیین میزان زمانی محاسبه می‌گردد که شرط زیر در آن برقرار است:

$$TN_{ij} > TN_{in90} \quad (۴)$$

روزهایی که شرط زیر در آن‌ها برقرار است، محاسبه می‌گردد:

$$TX_{ij} > 25^{\circ}C \quad (۲)$$

۳.۳.۲. شاخص شب‌های گرمسیری (TR20)

شاخص شب‌های گرمسیری (TR20) بیانگر شمارش سالانه تعداد روزهایی است که دمای کمینه روزانه (TN) از آستانه $20^{\circ}C$ فراتر می‌رود. این آستانه، دمای بحرانی برای آسایش حرارتی شبانه محسوب می‌شود. اگر TN_{ij} نشان‌دهنده دمای کمینه روزانه در روز i از سال j باشد، این شاخص از طریق شمارش تعداد روزهایی که شرط زیر در آن‌ها برقرار است، محاسبه می‌گردد:

$$TX_{ij} > 20^{\circ}C \quad (۳)$$

۵.۳.۲. شاخص درصد روزهای گرم

(TX90p)

شاخص درصد روزهای گرم (TX90p)

بیانگر درصد روزهایی در یک دوره زمانی

(معمولاً سال) است که دمای بیشینه

روزانه (TX) آن‌ها فراتر از صدک نودم

دمای بیشینه همان روز تقویمی در دوره

پایه باشد. اگر TX_{ij} نشان‌دهنده دمای

بیشینه روزانه در روز i از دوره j باشد و

TX_{in90} نمایانگر صدک نودم روز تقویمی

(که با استفاده از یک پنجره متحرک ۵ روزه

برای دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ محاسبه شده

است) در نظر گرفته شود، آنگاه درصد

روزهای گرم از طریق تعیین میزان زمانی

محاسبه می‌گردد که شرط زیر در آن برقرار

است:

$$TX_{ij} > TN_{in90} \quad (۵)$$

۶.۳.۲. شاخص حداکثر دمای مطلق

ماهیانه

شاخص حداکثر دمای مطلق ماهیانه

(TX_x) بیانگر بالاترین دمای ثبت شده در

یک ماه معین است. این شاخص، شدت

فرین‌های گرمایشی را اندازه‌گیری می‌کند.

اگر TX نمایانگر دمای بیشینه روزانه در

ماه k از دوره j باشد، حداکثر دمای

بیشینه ثبت شده در آن ماه به صورت زیر

تعیین می‌شود:

$$TX_{xkj} = \text{Max} (TX_{xkj}) \quad (۶)$$

۷.۳.۲. شاخص درصد روزهای سرد

(TX10p)

شاخص درصد روزهای سرد (TX10p)

بیانگر درصد روزهایی در یک دوره زمانی

(معمولاً سال) است که دمای بیشینه

روزانه (TX) آن‌ها پایین‌تر از صدک دهم

دمای بیشینه همان روز تقویمی در دوره

پایه باشد. اگر TX_{ij} نشان‌دهنده دمای

بیشینه روزانه در روز i از دوره j باشد و

TX_{in10} نمایانگر صدک دهم روز تقویمی

(که با استفاده از یک پنجره متحرک ۵ روزه

برای دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ محاسبه شده

است) در نظر گرفته شود، آنگاه درصد

روزهای سرد از طریق تعیین میزان زمانی محاسبه می‌گردد که شرط زیر در آن برقرار است:

$$TX_{ij} < TX_{in10} \quad (۷)$$

روز i از سال j باشد، این شاخص از طریق شمارش تعداد روزهایی که شرط زیر در آن‌ها برقرار است، محاسبه می‌گردد:

$$TN_{ij} < C^0 \quad (۹)$$

۲.۳.۸. شاخص روزهای یخبندان

(سرماي روزانه) (ID)

شاخص روزهای یخبندان (ID) بیانگر شمارش سالانه تعداد روزهایی است که دمای بیشینه روزانه (TX) در آن‌ها پایین‌تر از نقطه انجماد ($0^{\circ}C$) قرار می‌گیرد. اگر TX_{ij} نشان‌دهنده دمای بیشینه روزانه در روز i از سال j باشد، این شاخص از طریق شمارش تعداد روزهایی که شرط زیر در آن‌ها برقرار است، محاسبه می‌گردد:

$$TX_{ij} < C^0 \quad (۸)$$

۲.۳.۱۰. شاخص شدت بارش (SDII)

شاخص شدت متوسط بارش (SDII) که به عنوان شاخص شدت بارش ساده نیز شناخته می‌شود، با هدف اندازه‌گیری میزان تمرکز بارش و پدیده رگباری شدن محاسبه می‌گردد. این شاخص عبارت است از نسبت مجموع بارش کل در یک دوره زمانی (معمولاً سال) به تعداد روزهای بارانی آن دوره. اگر RR_{wj} نشان‌دهنده میزان بارش

روزانه در روزهای بارانی (w) یک دوره j باشد (روزهای بارانی به روزهایی اطلاق می‌شود که میزان بارش آن‌ها $\geq 1mm$ است و اگر W نمایانگر تعداد روزهای

۲.۳.۹. شاخص روزهای یخبندان

(سرماي شبانه) (FD)

شاخص روزهای یخبندان (FD) بیانگر شمارش سالانه تعداد روزهایی است که دمای کمینه روزانه (TN) در آن‌ها پایین‌تر

بارانی در دوره j باشد، فرمول این شاخص (۱۰)

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$$

به شرح زیر است:

جدول ۲: مشخصات و تعریف شاخص های حدی اقلیمی (ETCCDI) مورد استفاده

نمایه	تعریف	واحد
WSDI	شمارش روزهایی در سال که حداکثر دما در حداقل ۶ روز متوالی از صدک ۹۰ام تجاوز کند.	روز/سال
SU25	شمارش سالانه روزهایی که حداکثر دما از آستانه ثابت ۲۵°C فراتر رود.	روز/سال
TR20	شمارش سالانه روزهایی که کمینه دما از آستانه ثابت ۲۰°C فراتر رود.	روز/سال
TN90p	درصد روزهایی در سال که کمینه دما بیشتر از صدک ۹۰ام است.	سال/%
TX90p	درصد روزهایی در سال که بیشینه دما بیشتر از صدک ۹۰ام است.	سال/%
TXx	مقدار حداکثر مطلق بیشینه دمای روزانه ثبت شده در طول سال.	سال/°C
TX10p	درصد روزهایی در سال که بیشینه دما کمتر از صدک ۱۰ام است.	سال/%
ID0	شمارش سالانه روزهایی که بیشینه دما پایین تر از نقطه انجماد (0°C) است.	روز/سال
FD0	شمارش سالانه روزهایی که کمینه دما پایین تر از نقطه انجماد (0°C) است.	روز/سال
SDII	شدت متوسط بارش در روزهای بارانی (نسبت مجموع بارش کل به تعداد روزهای با بارش $\leq 1 \text{ mm}$).	روز/سال/mm
WSDI	شمارش روزهایی در سال که حداکثر دما در حداقل ۶ روز متوالی از صدک ۹۰ام تجاوز کند.	روز/سال

منبع: Karl et al., 1999

۴.۲. روش های تحلیل آماری

در مواردی کاربرد عملی دارد که داده ها از

توزیع نرمال تبعیت نمی کنند

(ناپارامتریک). این آزمون به طور

گسترده ای در سطح جهانی برای تحلیل

روند متغیرهای هواشناسی استفاده می شود

۴.۲.۱. آزمون من-کندال^۱

تحلیل روند ناپارامتریک من-کندال تنها

برای داده های قابل اعتماد به کار گرفته

می شود. آزمون من-کندال (MK) عموماً

^۱. Mann-Kendall Test

که در آن X_j و X_k به ترتیب مقادیر سالانه در سال‌های J و k هستند، و $j > k$.
آمار آزمون τ (تاو) نیز می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود:

$$\tau = \frac{s}{n - (n - 1)/2} \quad (۱۲)$$

برای کمی‌سازی معنی‌داری آماری روند، محاسبه احتمال مرتبط با S و اندازه نمونه n ضروری است. فرمول محاسبه واریانس S ($VAR(S)$) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$(۱۳)$$

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

که در آن q تعداد گروه‌های گره خورده و t_p تعداد داده‌ها در گروه p ام است. مقادیر S و $VAR(S)$ برای محاسبه آمار آزمون Z استفاده می‌شوند که از توزیع نرمال تبعیت می‌کند و به صورت زیر است:

(Tabari et al., 2015). سازمان جهانی هواشناسی استفاده از این آزمون را برای عموم به منظور ارزیابی روندها و تشخیص روندهای دارای معنی‌داری آماری در داده‌های بلندمدت، به طور گسترده توصیه کرده است (Shi et al., 2013). در آزمون من-کندال باید دو فرضیه مورد بررسی قرار گیرد: فرضیه صفر (H_0) و فرضیه جایگزین (H_a). فرضیه صفر بیان می‌کند که هیچ روندی در سری زمانی مورد نظر وجود ندارد، در حالی که فرضیه جایگزین بیانگر وجود یک روند معنی‌دار در سری زمانی است. در آزمون من-کندال مقادیر $(X_j - X_k)$ اندازه‌گیری می‌شوند، که در آن $j > k$ است، و آمار آزمون S با استفاده از فرمول (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$(۱۱)$$

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k)$$

$\alpha: 0.001$ ، $\alpha: 0.05$ و $\alpha: 0.1$ بررسی

(۱۴)

می کنند.

۲.۴.۲. برآوردگر شیب سن^۱

برآوردگر شیب سن یک روش ناپارامتریک

است که در این مطالعه برای نمایش

الگوهای خطی در سری های زمانی به کار

گرفته شد. این روش در مقایسه با معادله

رگرسیون، کارایی بالاتری دارد. در صورتی

که یک روند خطی در سری زمانی وجود

داشته باشد، شیب واقعی آن را می توان با

استفاده از یک فرآیند ساده ناپارامتریک

محاسبه کرد. در این حالت، مدل خطی

$f(t)$ را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$f(t) = Qt + B \quad (۱۵)$$

که در آن Q نشان دهنده شیب، B یک

مقدار ثابت (عرض از مبدأ) و t زمان است.

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

در صورت انتخاب سطح معنی داری

۰/۰۵ (بازه اطمینان ۹۵٪) و فرضیه

جایگزین دوطرفه، مقادیر بحرانی ۰/۰۲۵

برابر با ۱/۹۶- تا ۱/۹۶+ هستند. در صورتی

که Z منفی باشد و مقدار مطلق آن

بزرگتر از سطح معنی داری باشد، روند

کاهشی است، و اگر Z مثبت و بزرگتر از

سطح معنی داری باشد، روند افزایشی است.

اگر $n \leq 10$ باشد، آزمون نرمال تقریب یافته

استفاده می شود و روند دارای معنی داری

آماري با استفاده از نمره Z محاسبه

می گردد. آزمون من-کندال و برآوردگر

شیب سن، سطح معنی داری نمره Z را در

^۱ Sen's Slope Estimator

برای به دست آوردن برآورد شیب Q ، شیب‌های تمامی جفت داده‌ها با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شوند:

(۱۶)

بصری و تفسیر این نمودارها، ضمن تأیید نتایج آزمون‌های آماری، امکان شناسایی نوسانات بین‌سالی، نقاط شکست احتمالی و شدت تغییرات در سال‌های اخیر را فراهم

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k}, i = 1, 2, 3, \dots, N, j > k$$

می‌آورد. در این بخش، هر یک از شاخص‌های دما و بارش به تفکیک و با رویکردی کمی و کیفی تفسیر شده‌اند تا ابعاد مختلف رخداد‌های فرین و پیامدهای آن‌ها بر اقلیم ایستگاه سردشت تبیین گردد.

بررسی روند تغییرات زمانی میانگین بارش سالانه در ایستگاه سینوپتیک سردشت طی دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۸۶ تا ۲۰۲۵) که در شکل (۲) ترسیم شده است، حاکی از وجود نوسانات شدید بین‌سالی و تغییرپذیری قابل‌توجه در الگوی بارش ایستگاه منطقه می‌باشد. واکاوی کمی داده‌ها نشان می‌دهد که الگوی بارش از یک

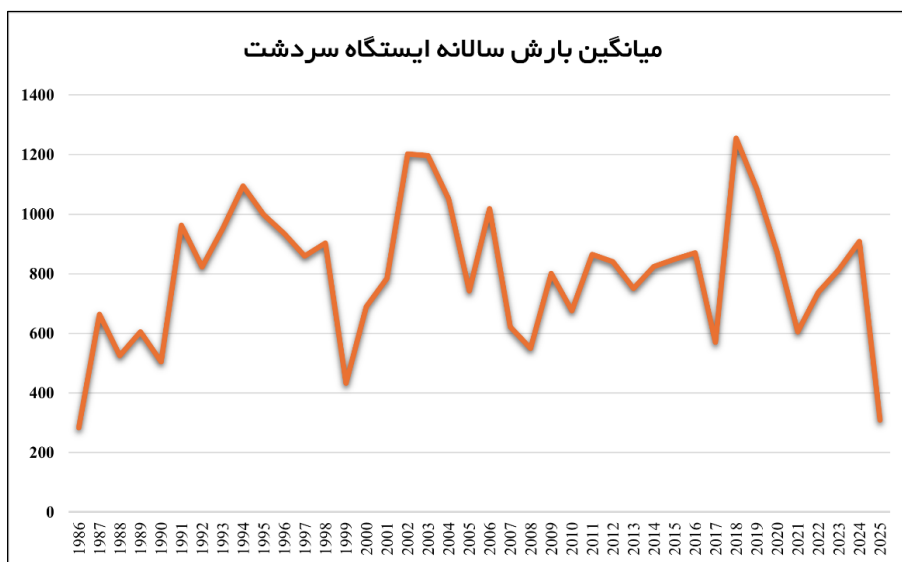
اگر n مقدار X_j در سری زمانی وجود داشته باشد، به تعداد $N = n(n-1)/2$ برآورد شیب Q_i وجود خواهد داشت. برای برآورد مقدار B در معادله، n مقدار از اختلاف $X_i - Q_t$ محاسبه می‌شود. برآورد B از میانگین مقادیر به دست می‌آید (Salami et al., 2002).

۲. یافته‌ها و نتایج

پس از آشکارسازی جهت و معنی‌داری آماری روندها، واکاوی دقیق رفتار زمانی و پویایی‌های حاکم بر این شاخص‌ها برای درک عمیق‌تر تغییر اقلیم ضروری است. بدین منظور، در ادامه نمودارهای سری زمانی شاخص‌های حدی منتخب ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. بررسی

رفتار سینوسی نامنظم تبعیت کرده است؛ با مقادیری در حدود ۳۰۰ میلی‌متر، به‌طوری‌که بیشینه مطلق بارش در سال ۲۰۱۸ با ثبت مقداری فراتر از ۱۲۵۰ میلی‌متر و دوره‌های پربارش دیگری در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ (۱۲۰۰ میلی‌متر) رخ داده‌اند که بیانگر وقوع سال‌های فراتر نرمال (ترسالی) می‌باشد. در مقابل، کمینه‌های بارشی در سال‌های ۱۹۸۶، ۱۹۹۸ و به ویژه افت شدید مشاهده شده در سال‌های انتهایی دوره (۲۰۲۴-۲۰۲۵).

نشان‌دهنده رخداد خشکسالی‌های هواشناسی شدید است. این دامنه‌ی تغییرات گسترده و توزیع نمودار، مبین عدم وجود یک روند خطی پایدار و حاکمیت بی‌هنجاری‌های اقلیمی بر منطقه است که لزوم مدیریت منابع آب را در برابر این نوسانات حدی بیش‌ازپیش آشکار می‌سازد.

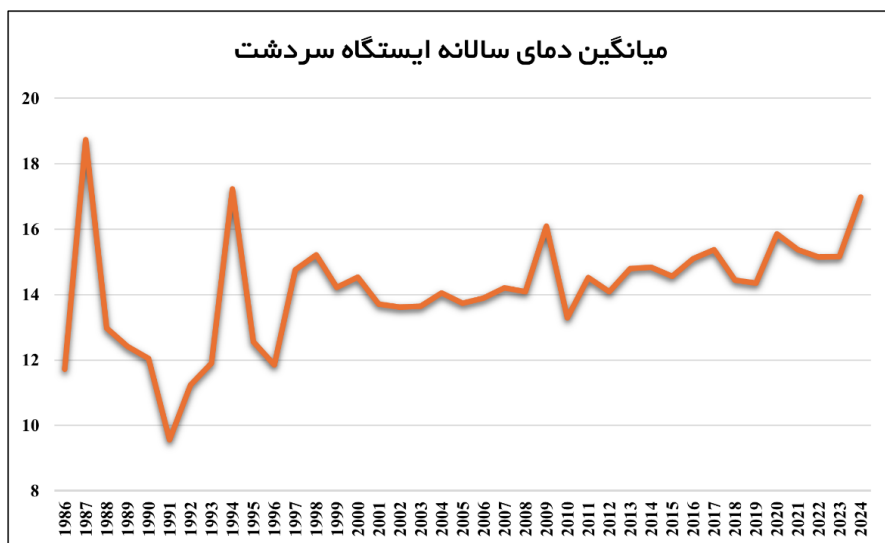


شکل ۲: نمودار میانگین بارش سالانه ایستگاه سردشت طی دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۵

واکاوای رفتار زمانی پارامتر دما در ایستگاه سردشت طی بازه ۴۰ ساله (۱۹۸۶ تا ۲۰۲۵) در شکل (۳) نشان‌دهنده تغییرات فازهای اقلیمی و وجود بی‌هنجاری‌های حرارتی قابل‌توجه در این منطقه است. تحلیل کمی نمودار حاکی از آن است که دهه اول دوره آماری (۱۹۸۶ تا ۱۹۹۵) با شدیدترین نوسانات همراه بوده است؛ به‌طوری‌که میانگین دما از مقادیر فراتر از ۱۹ درجه سلسیوس در سال‌های آغازین، با افتی ناگهانی و شدید به کمینه مطلق دوره آماری ۹/۶ درجه سلسیوس (در سال ۱۹۹۱) تنزل یافته که بیانگر یک شوک حرارتی سرد در آن مقطع زمانی است. پس از گذر از این دوره پرتلاطم، از اواخر دهه ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۱۵، روند تغییرات نسبتاً تعدیل شده و حول میانگین درازمدت ۱۴ تا ۱۵ درجه سلسیوس نوسان داشته است. با این‌حال، ویژگی بارز نیمه دوم نمودار، به‌ویژه در دهه اخیر (۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵)، شکل‌گیری یک الگوی صعودی و تثبیت دما در سطوح بالاتر است؛ چنانکه در سال‌های انتهایی (۲۰۲۴ و ۲۰۲۵) میانگین دما مجدداً به تراز ۱۷ درجه سلسیوس نزدیک شده است. این افزایش تدریجی دما در سال‌های اخیر و کاهش دامنه نوسانات نزولی، می‌تواند نشانگر تأثیرپذیری اقلیم منطقه از پدیده گرمایش جهانی و تغییر الگوهای همدیدی باشد.

نتایج حاصل از تحلیل روند شاخص‌های حدی منتخب دما و بارش در ایستگاه سینوپتیک سردشت طی دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۵ در جدول (۲) ارائه شده است. در این تحلیل، از آزمون ناپارامتری من-کندال جهت ارزیابی معنی‌داری آماری روندها در سطح اطمینان ۹۵ درصد و از برآوردگر شیب سن برای تعیین بزرگی و جهت تغییرات سالانه استفاده گردید.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، این جدول شامل ۹ شاخص دمایی و ۱ شاخص بارشی است که همگی دارای تغییرات معنی‌دار آماری هستند.



شکل ۳: نمودار میانگین دمای سالانه ایستگاه سردشت طی دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۵

بررسی کمی و کیفی نتایج آزمون من-کندال و برآوردگر شیب سن ارائه شده در جدول (۲)، تصویری روشن از تغییرات ساختاری در رژیم‌های حدی اقلیمی منطقه سردشت طی دوره ۱۹۸۶-۲۰۲۵ را ترسیم می‌کند. نتایج حاکی از آن است که الگوی اقلیمی منطقه تحت سیطره‌ی یک سیگنال گرمایش قدرتمند قرار گرفته است، به‌طوری‌که تمامی شاخص‌های دمایی (هم گرمایشی و هم سرمایشی) تغییرات معنی‌دار آماری را در سطح اطمینان ۹۵ تا ۹۹/۹ درصد نشان می‌دهند. در دسته شاخص‌های گرمای حدی، شدیدترین نرخ تغییر مربوط به شاخص تداوم امواج گرمایی با شیب مثبت ۳/۱۱۵ روز در سال است؛ این یافته‌ی نگران‌کننده بیانگر آن

است که در طول چهار دهه اخیر، طول دوره‌های گرم غیرمترقبه در منطقه به شدت افزایش یافته است. همسو با این پدیده، شاخص‌های تواتر گرما نظیر شب‌های گرمسیری و روزهای تابستانی به ترتیب با آهنگ رشد سالانه ۱/۰۸۱ و ۰/۹۹۵ روز افزایش یافته‌اند که نشان‌دهنده‌ی گسترش قلمرو زمانی فصل گرماست. علاوه بر این، افزایش توأمان درصدی روزهای گرم با شیب ۱/۰۰۱ و شب‌های گرم با شیب ۰/۷۲۶ درصد در سال، به همراه صعود میانگین دمای حداکثر مطلق به میزان ۰/۰۸۶ درجه سلسیوس در سال، تأییدی بر گرمایش همگن در چرخه‌ی شبانه‌روزی دما می‌باشد. در تقابل با روند افزایشی شاخص‌های گرما، شاخص‌های سرمای حدی با افول معناداری مواجه شده‌اند. کاهش تعداد سرمای شبانه و روزهای یخبندان به ترتیب با نرخ‌های ۱/۲۵۹- و

۱/۰۵۹- روز در سال، به وضوح عقب‌نشینی شرایط زمستانه و کاهش پتانسیل سرمازدگی در منطقه را بازتاب می‌دهد. همچنین، کاهش درصد روزهای سرد با شیب ۰/۵۴۴- درصد در سال، گواهی دیگر بر تعدیل شرایط دمایی در فصول سرد است. در نهایت، در بخش بارش‌های حدی، اگرچه تغییرات گسترده‌ای مشاهده نشد، اما روند افزایشی معنی‌دار در شاخص شدت بارش با شیب ۰/۰۶۲ میلی‌متر در روز به ازای هر سال، از تغییر ماهیت بارش‌ها خبر می‌دهد. این افزایش شدت، علی‌رغم عدم تغییر معنی‌دار در مجموع بارش، نشانگر تمرکز بارش در بازه‌های زمانی کوتاه‌تر و افزایش پتانسیل هیدرولوژیکی برای وقوع سیلاب‌های ناگهانی در منطقه کوهستانی سردشت است. شکل (۴)، تغییرات سری زمانی شاخص تداوم امواج گرمایی ایستگاه سردشت را در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۵ به تصویر می‌کشد. همان‌طور که در نمودار

مشهود است، یک روند صعودی پر قدرت و فزاینده بر رفتار زمانی این شاخص حاکم است که با نتایج آزمون من-کندال (جدول ۱) همخوانی کامل دارد. خط روند برازش شده بر داده‌ها، شیب مثبت و بسیار تندی معادل ۳/۱۱۵ روز در سال را نشان می‌دهد که از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۹/۹ ($P\text{-Value} < 0.001$) درصد معنی‌دار است. این نرخ تغییر شتابان بیانگر آن است که مدت زمان ماندگاری توده‌های هوای گرم در منطقه، طی چهار دهه اخیر دستخوش تحولات اساسی شده است. با وجود نوسانات بین سالی که ذات داده‌های اقلیمی است، تمرکز نقاط داده‌ای در بالای خط روند به‌ویژه در دو دهه‌ی انتهایی دوره آماری، نشان‌دهنده‌ی افزایش تواتر و شدت رخدادهای گرمایی فرین است. به عبارت دیگر، اقلیم سردشت نه تنها گرم‌تر شده، بلکه پایداری زمانی رویدادهای گرم در آن به شدت افزایش یافته است که این امر می‌تواند نشانگر گذار منطقه به فاز جدیدی از تنش‌های حرارتی اقلیمی باشد.

شکل (۵)، تغییرات سری زمانی شاخص روزهای یخبندان را به عنوان نماینده‌ای از شرایط سرمای حدی در ایستگاه سردشت به تصویر می‌کشد. برخلاف روند صعودی شاخص‌های گرما، این نمودار گویای یک روند نزولی آشکار و معنی‌دار ($P=0.028$) در فراوانی رخدادهای یخبندان است. خط روند برازش شده نشان می‌دهد که تعداد روزهای با حداقل دمای کمتر از صفر درجه سلسیوس، با آهنگ متوسط ۱/۲۵۹- روز در سال در حال کاهش است. این نرخ کاهش به معنای آن است که در طول دوره ۴۰ ساله مورد مطالعه، منطقه سردشت حدود ۵۰ روز یخبندان را از دست داده است. تحلیل این نمودار، فرضیه‌ی فرسایش فصل سرما را در منطقه تأیید می‌کند؛ پدیده‌ای که در آن شروع فصل یخبندان به تأخیر افتاده و خاتمه آن زودتر رخ می‌دهد.

جدول ۲: نتایج آزمون روند من-کندال و شیب سن برای شاخص‌های حدی منتخب اقلیمی سردشت (۱۹۸۶-۲۰۲۵)

دسته‌بندی	اسامی شاخص‌ها	شاخص	واحد	شیب سن	انحراف معیار	P-Value	معنی‌داری
گرمای حدی	شاخص تداوم امواج گرمایی	wsdi	روز/سال	۳/۱۱۵	۰/۴۱۵	۰/۰۰۱	***
	شب‌های گرمسیری	tr20	روز/سال	۰/۰۸۱	۰/۲۳۷	۰	***
	درصد روزهای گرم	tx90p	سال/%	۱/۰۰۱	۰/۱۳۹	۰	***
	روزهای تابستانی	su25	روز/سال	۰/۹۹۵	۰/۱۸۹	۰	***
	درصد شب‌های گرم	tn90p	سال/%	۰/۷۲۶	۰/۱۷۲	۰	***
سرمای حدی	حداکثر دمای مطلق سالانه	txx	سال/C	۰/۰۸۶	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱	***
	روزهای یخبندان (سرمای شبانه)	fd0	روز/سال	-۱/۲۵۹	۰/۵۳۲	۰/۰۲۸	*
	روزهای یخبندان (سرمای روزانه)	id0	روز/سال	-۱/۰۵۹	۰/۱۹۱	۰	***
	درصد روزهای سرد	tx10p	سال/%	-۰/۵۴۴	۰/۰۸۷	۰	***
	شاخص شدت متوسط بارش روزانه	sdii	روز/سال/mm	۰/۰۶۲	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	*
(معنی‌داری در سطح ۹۹/۹٪) *** (معنی‌داری در سطح ۹۹٪) ** (معنی‌داری در سطح ۹۵٪) *							

اگرچه نوسانات بین سالی قابل‌توجهی در نمودار مشاهده می‌شود که ناشی از تغییرپذیری طبیعی سامانه‌های جبهه‌ای است، اما شیب منفی غالب بر نمودار، بیانگر کاهش پتانسیل سرمازدگی‌های سنتی و تغییر اقلیم منطقه به سمت زمستان‌های معتدل‌تر می‌باشد.

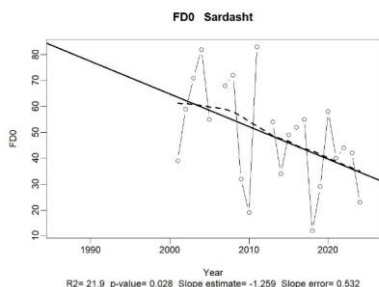
شکل (۶)، پویایی زمانی شاخص شدت بارش را در بازه مطالعاتی ۱۹۸۶-۲۰۲۵ نمایش می‌دهد. این نمودار، تنها سیگنال معنی‌دار تغییرات در رژیم بارش منطقه سردشت را آشکار می‌سازد. برخلاف شاخص‌های مجموع بارش سالانه که فاقد روند مشخصی بودند، تحلیل سری زمانی

SDII بیانگر یک الگوی صعودی با شیب سن ۰/۰۶۲ میلی‌متر در روز در هر سال است که از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P = 0.027$) معنی‌دار می‌باشد. این روند افزایشی حاکی از وقوع پدیده تغییر ماهیت بارش در منطقه است؛ بدین معنی که سهم بارش‌های ملایم و سبک کاهش یافته و در مقابل، بارش‌ها در بازه‌های زمانی کوتاه‌تر و با شدت لحظه‌ای بیشتر رخ می‌دهند. تمرکز نقاط داده‌ای با مقادیر بالا در سال‌های اخیر نمودار، مؤید تشدید چرخه‌ی هیدرولوژیکی در منطقه است. این تغییر رفتار بارش، علیرغم عدم افزایش در حجم کل منابع آب جوی، به دلیل ماهیت رگباری و تمرکز زمانی، پتانسیل تولید رواناب‌های سریع و وقوع سیلاب‌های ناگهانی و شلاقی را در حوضه‌ی کوهستانی سردشت به طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش داده است.

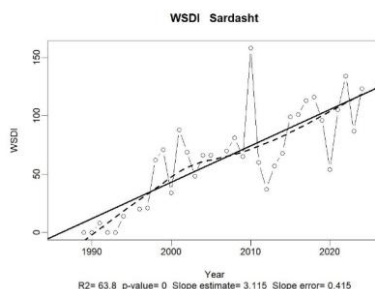
شکل (۷)، روند تغییرات زمانی شاخص روزهای یخی را در ایستگاه سردشت طی دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۲۵ نمایش می‌دهد. این شاخص که بیانگر تعداد روزهایی است که دمای حداکثر محیط نیز از نقطه انجماد فراتر نمی‌رود، معیاری حیاتی برای سنجش شدت و تداوم سرمای روزانه محسوب می‌شود. تحلیل سری زمانی ارائه شده، حاکی از یک سقوط شدید و معنی‌دار آماری ($P < 0.001$) در رخداد این پدیده جوی است. خط روند نزولی با شیب تند ۱/۰۵۹- روز در سال، نشان می‌دهد که اقلیم منطقه به سرعت در حال از دست دادن روزهای با سرمای پایدار شبانه‌روزی است. با تعمیم این نرخ تغییر به کل دوره مطالعاتی، مشاهده می‌شود که سردشت طی چهار دهه اخیر، بالغ بر ۴۲ روز از روزهای کاملاً یخبندان خود را از دست داده است. این تغییر ساختاری نشان می‌دهد که حتی در اوج فصل سرما،

نوع بارش منطقه از برف به باران در فصل زمستان شده است.

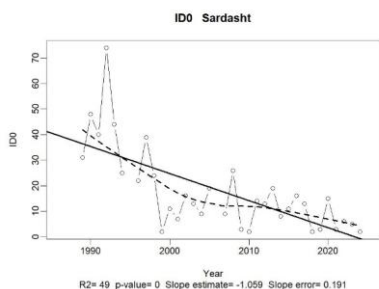
دماهای روزانه تمایل بیشتری به عبور از آستانه صفر درجه دارند که این امر منجر به ذوب زودهنگام پوشش برف و تغییر در



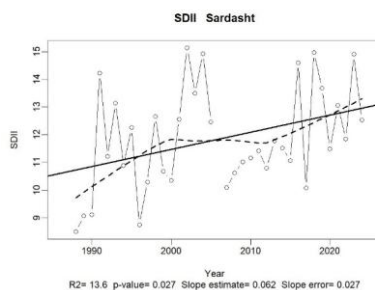
شکل ۵: روند کاهشی شاخص روزهای یخبندان (FD0)



شکل ۴: روند افزایشی شاخص تداوم امواج گرمایی (WSDI)



شکل ۷: روند کاهشی شاخص روزهای یخی (ID0)



شکل ۶: روند افزایشی شاخص شدت بارش (SDII)

می‌دهد. این شاخص که به عنوان معیاری برای سنجش طول فصل گرم شناخته می‌شود، بیانگر تعداد روزهایی در سال است

شکل (۸)، روند تغییرات زمانی شاخص روزهای تابستانی را در ایستگاه سردشت طی دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۲۵ نمایش

که دمای حداکثر از آستانه آسایش حرارتی (۲۵ درجه سلسیوس) فراتر می‌رود. تحلیل سری زمانی، یک روند صعودی بسیار قدرتمند و معنی‌دار آماری ($P < 0.001$) را آشکار می‌سازد. بر اساس برآوردگر شیب سن، تعداد روزهای تابستانی با نرخ شتابان ۰/۹۹۵ روز در سال در حال افزایش است. تجمیع این نرخ رشد در طول چهار دهه اخیر نشان می‌دهد که قلمرو زمانی فصل گرما در سردشت حدود ۴۰ روز گسترش یافته است. این یافته به معنای وقوع پدیده انبساط فصلی است؛ بدین مفهوم که شرایط دمایی تابستانه از محدوده تقویمی خود خارج شده و به درون فصل‌های انتقالی (بهار و پاییز) نفوذ کرده است. چنین تغییری در رژیم حرارتی، علاوه بر جابجایی تقویم کشاورزی و فنولوژی گیاهان، موجب پویایی بیشتر حشرات و آفت‌ها و افزایش قابل توجه نرخ تبخیر و تعرق و تشدید فشار

بر منابع آب در دوره‌ای طولانی‌تر از سال شده است. شکل (۹)، الگوی تغییرات زمانی شاخص شب‌های گرم را در ایستگاه سردشت طی بازه مطالعاتی ۱۹۸۶-۲۰۲۵ به نمایش می‌گذارد. این شاخص که درصد روزهایی را نشان می‌دهد که دمای حداقل آن‌ها فراتر از صدک نودم دوره پایه است، معیاری حیاتی برای سنجش گرمایش شبانه محسوب می‌شود. تحلیل آماری سری زمانی، حاکی از یک روند صعودی قدرتمند و معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹.۹ درصد ($P < 0.001$) است. خط روند برازش شده با شیب سن ۰/۷۲۶ درصد در سال، بیانگر آن است که تواتر شب‌های با دمای فرین بالا، به‌صورت پیوسته در حال افزایش است. تجمیع این نرخ تغییر در طول دوره ۴۰ ساله نشان می‌دهد که فراوانی شب‌های گرم در سردشت حدود ۲۹ درصد افزایش یافته است. این یافته از منظر اقلیم‌شناسی

بسیار حائز اهمیت است، زیرا نشان می‌دهد که مکانیسم خنک‌شدن شبانه در منطقه مختل شده است. پایداری دمای بالا در ساعات شب، فرصت بازیابی حرارتی را از اکوسیستم‌های گیاهی و جانوری و انسان سلب کرده و منجر به افزایش تنش‌های فیزیولوژیک و تشدید پدیده جزایر حرارتی در مقیاس خرد اقلیم منطقه می‌شود.

شکل (۱۰)، روند تغییرات زمانی شاخص شب‌های گرمسیری را در ایستگاه سردشت طی بازه مطالعاتی ۱۹۸۶-۲۰۲۵ به تصویر می‌کشد. این شاخص که بیانگر تعداد شب‌هایی با دمای حداقل بالاتر از ۲۰ درجه سلسیوس است، به عنوان آستانه بحرانی برای آسایش حرارتی شبانه و سلامت عمومی شناخته می‌شود. تحلیل سری زمانی، حاکی از یک جهش صعودی بسیار شدید و معنی‌دار آماری ($P < 0.001$) در رژیم دمایی شبانه منطقه است. خط روند برازش شده با شیب سن ۱/۰۸۱ روز در سال، نشان می‌دهد که اقلیم سردشت با سرعتی نگران‌کننده به سمت شرایط حاره‌ای شدن، در فصل گرم پیش می‌رود. با تجمیع این نرخ رشد در طول چهار دهه اخیر، مشاهده می‌شود که تعداد شب‌های دارای تنش حرارتی حدود ۴۳ روز افزایش یافته است. این یافته بدین معناست که ساکنان منطقه بیش از یک ماه بیشتر از گذشته در معرض شرایط عدم آسایش حرارتی در ساعات استراحت قرار دارند. تداوم دمای بالا در شب، علاوه بر ایجاد اختلال در ریتم خواب و سلامت ساکنان، موجب افزایش چشمگیر بار مصرف انرژی برای سرمایش مصنوعی در ساعاتی شده است که در گذشته به طور طبیعی خنک بوده‌اند.

شکل (۱۱)، رفتار زمانی شاخص روزهای سرد را در ایستگاه سردشت طی بازه مطالعاتی ۱۹۸۶-۲۰۲۵ ترسیم می‌کند. این شاخص، بیانگر درصد روزهایی در سال

است که دمای حداکثر آن‌ها کمتر از صدک دهم دوره پایه اقلیمی می‌باشد. تحلیل آماری سری زمانی، حاکی از یک شیب نزولی بسیار تند و معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد ($P < 0.001$) است. بر اساس برآوردگر شیب سن، تواتر وقوع روزهای سرد با نرخ $-۰/۵۴۴$ درصد در سال در حال کاهش است. تجمیع این نرخ تغییر در طول چهار دهه اخیر نشان می‌دهد که فراوانی روزهای سرد در اقلیم منطقه بالغ بر $۲۱/۷$ درصد کاهش یافته است. این زوال تدریجی شرایط خنک، بیانگر جابجایی منحنی توزیع نرمال دما به سمت راست است؛ بدین معنی که روزهایی که در گذشته به عنوان روزهای خنک شناخته می‌شدند، اکنون به پدیده‌هایی نادر تبدیل شده‌اند. کاهش همزمان این شاخص با شاخص‌های یخبندان، پازل گرمایش منطقه را تکمیل کرده و نشان می‌دهد که تعدیل دمایی حتی در روزهای نسبتاً خنک

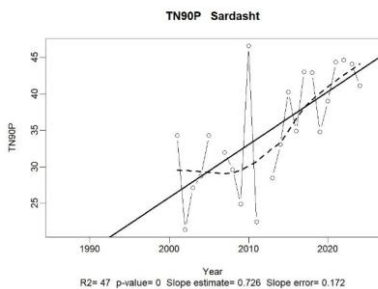
سال نیز متوقف شده و کل ساختار حرارتی منطقه به سمت ترازهای بالاتر جابجا شده است.

شکل (۱۲)، سیر صعودی شاخص روزهای گرم را در ایستگاه سردشت طی بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۲۵ به نمایش می‌گذارد. این شاخص که درصد روزهایی از سال با دمای حداکثر بالاتر از صدک نودم دوره پایه را پایش می‌کند، معیاری مستقیم برای سنجش بسامد رخدادهای گرمای روزانه است. تحلیل سری زمانی، حاکی از یک روند افزایشی بسیار شدید و معنی‌دار آماری ($P < 0.001$) می‌باشد. بر اساس خط روند برازش شده، فراوانی روزهای گرم با شتابی معادل $۱/۰۰۱$ درصد در سال در حال افزایش است. تجمیع این نرخ تغییر در طول چهار دهه اخیر، از یک تحول اقلیمی بنیادین پرده برمی‌دارد: تواتر وقوع روزهای فرین گرم در سردشت بالغ بر ۴۰ درصد افزایش یافته است. این جهش

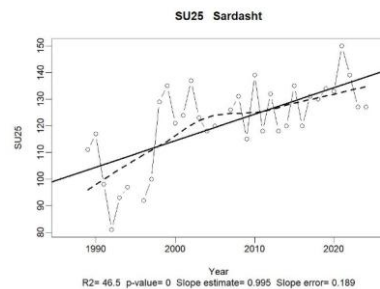
خیره‌کننده بیانگر آن است که پدیده‌های گرمایی که در دهه‌های گذشته به عنوان رخداد‌های نادر یا فرین طبقه‌بندی می‌شدند، اکنون به بخشی عادی و پرتکرار از اقلیم منطقه تبدیل شده‌اند. این تغییر رفتار در دماهای روزانه، علاوه بر تشدید تنش‌های حرارتی بر انسان و پوشش گیاهی، نقش محرک اصلی در افزایش نرخ تبخیر و تفرق پتانسیل و کاهش رطوبت خاک در منطقه ایفا می‌کند.

شکل (۱۳)، روند تغییرات زمانی شاخص حداکثر دمای مطلق سالانه را در ایستگاه سردشت طی بازه مطالعاتی ۱۹۸۶-۲۰۲۵ ترسیم می‌کند. این شاخص که بیانگر دمای ثبت شده در داغ‌ترین روز سال است، معیاری بنیادین برای سنجش شدت رویدادهای حدی گرمایی محسوب می‌شود. تحلیل آماری سری زمانی، حاکی از یک روند صعودی معنی‌دار در سطح اطمینان

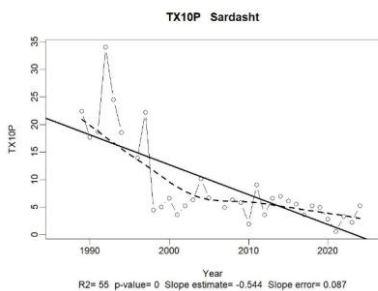
۹۹.۹ درصد ($P = 0.001$) است. بر اساس برآوردگر شیب سن، سقف دمایی منطقه با نرخ $0.086^\circ\text{C}/\text{سال}$ درجه سلسیوس در سال در حال جابجایی به سمت مقادیر بالاتر است. اگرچه این عدد در نگاه اول کوچک به نظر می‌رسد، اما تجمیع آن در طول دوره ۴۰ ساله بیانگر واقعیتی نگران‌کننده است: دمای داغ‌ترین روز سال در سردشت، به طور متوسط حدود 3.44°C درجه سلسیوس افزایش یافته است. این جهش حرارتی نشان می‌دهد که رکوردهای دمایی پیشین با سرعتی فزاینده در حال شکسته شدن هستند و اقلیم منطقه پتانسیل تجربه دماهای فرین را پیدا کرده است. چنین افزایشی در شدت مطلق گرما، فشار بی‌سابقه‌ای را بر شبکه توزیع برق (جهت سرمایش) و اکوسیستم‌های جنگلی (به دلیل افزایش نمایی خطر آتش‌سوزی) تحمیل می‌کند.



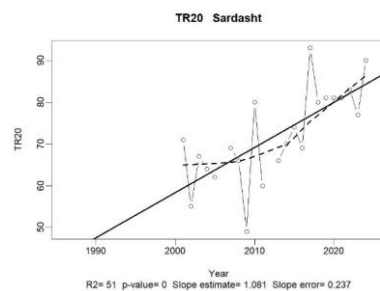
شکل ۹: روند افزایشی شاخص شب‌های گرم (TN90p)



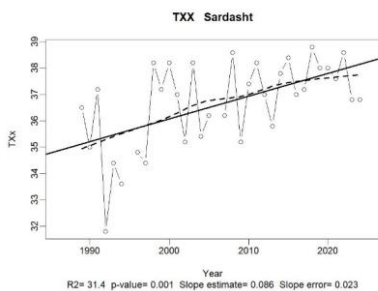
شکل ۸: روند افزایشی شاخص روزهای تابستانی (SU25)



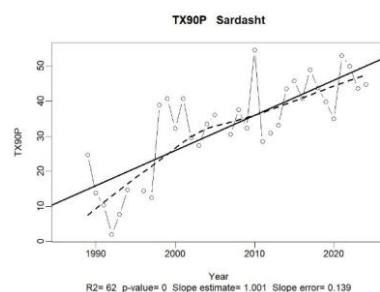
شکل ۱۱: روند کاهشی شاخص روزهای سرد (TX10p)



شکل ۱۰: روند افزایشی شاخص شب‌های گرم‌سیری (TR20)



شکل ۱۳: روند افزایشی شاخص حداکثر دمای مطلق (TXx)



شکل ۱۲: روند افزایشی شاخص روزهای گرم (TX90p)

۲. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف واکاوی ریزمقیاس تغییرات اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک سردشت (واقع در پیشانی غربی زاگرس)، رفتار زمانی شاخص‌های حدی دما و بارش را طی دوره ۴۰ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۵) مورد پایش قرار داد. نتایج آزمون‌های من-کندال و شیب سن، حاکی از دگرذیسی عمیق در ساختار اقلیمی ایستگاه است. اگرچه مجموع بارش سالانه فاقد روند معنی‌دار بود، اما ماهیت بارش‌ها و رژیم حرارتی دچار تغییرات بنیادین شده‌اند. غلبه مطلق روندهای گرمایشی در تمامی شاخص‌های دمایی و تغییر الگوی بارش به سمت رگبارهای شدید، نشانگر گذار اقلیم سردشت از شرایط معتدل کوهستانی به سوی رفتارهای حدی است. این یافته با نتایج Shahsavan Ghareghouni et al. (2024) در خصوص جابجایی پهنه‌های اقلیمی در غرب کشور همسو می‌باشد.

نتایج حاضر با پژوهش Zand et al. (2023)

در استان لرستان کاملاً هم‌خوانی داشته و هر دو مطالعه بر افزایش شدت بارش‌های حدی علی‌رغم ثبات یا کاهش بارش کل در زاگرس تأکید می‌ورزند که نشانگر تغییر رفتار سامانه‌های بارش‌زای مدیترانه‌ای در برخورد با توپوگرافی غرب کشور است. این پدیده، یعنی افزایش توأمان شاخص‌های گرمایی و بارش‌های سنگین، با نتایج Guan et al. (2022) در چین نیز مطابقت دارد و تأیید می‌کند که بر اساس رابطه کلایوس-کلاپیرون، اتمسفر گرم‌تر ظرفیت نگهداری رطوبت بیشتری داشته و منجر به تشدید رخدادهای حدی می‌شود. از سوی دیگر، مشاهده گرمایش شدید شبانه در سردشت (افزایش TR20 و TN90)، یافته‌های Jayawardena et al. (2018) و Ebrahimi Khorramabadi et al. (2024) را تصدیق می‌کند و نشان می‌دهد که کاهش دامنه شبانه‌روزی دما

یک پدیده غالب جهانی ناشی از اثر گلخانه‌ای است. افزایش چشمگیر شاخص تداوم امواج گرمایی ($115/3$ + روز در سال) و رشد شتابان روزهای تابستانی و شب‌های گرمسیری، حاکی از تشدید استرس‌های حرارتی و اختلال در مکانیسم خنک‌سازی شبانه است. در مقابل، کاهش معنی‌دار روزهای یخبندان ($1/259$ - روز در سال) و روزهای سرد ($0/544$ - درصد در سال)، از کوتاه‌شدن فصل سرما و زوال زمستان‌های سخت حکایت دارد. در بخش بارش، افزایش شاخص شدت بارش ($0/062$ میلی‌متر در روز در سال) در کنار ثبات بارش کل، هشدار جدی برای مدیریت منابع آب است. این الگو در منطقه‌ای کوهستانی با توپوگرافی خشن مانند سردشت، به معنای کاهش نفوذ آب به سفره‌های زیرزمینی و افزایش رواناب‌های سطحی و سیلاب‌های ناگهانی است. از منظر تحلیل جغرافیایی، موقعیت طبیعی سردشت در کمربند پربارش زاگرس شمالی و استقرار در حوضه زاب کوچک، آن را به منطقه‌ای حساس از نظر تأمین منابع آب تبدیل کرده است. گرمایش نامتقارن (شدت بیشتر گرمایش شبانه نسبت به روزانه) و تشدید بارش‌های رگباری، آسیب‌پذیری این منطقه را در برابر مخاطرات اقلیمی مضاعف می‌کند. با توجه به اینکه این نتایج مربوط به یک ایستگاه است، تعمیم آن به کل زاگرس نیازمند مطالعات تکمیلی با شبکه متراکم‌تری از ایستگاه‌هاست.

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

- Ahmadi, Sh. (2018). Investigation and analysis of the role of public spaces in urban social sustainability: A case study of Sardasht City. *Urban Ecology Research Quarterly*, 14(1 (Issue 30)), 99–118.
- Alavinia, S. H., & Zarei, M. (2021). Trend analysis of climate change using extreme indices of long-term precipitation and temperature data in southeastern Iran. *Regional Planning*, 11(44), 119–134.
- Ben-Gai, T., Bitan, A., Manes, A., & Alpert, P. (2001). Climatic variations in the moisture and instability patterns of the atmospheric boundary layer on the East Mediterranean coastal plain of Israel. *Boundary-layer meteorology*, 100(2), 363-371.
- Ebrahimi Khorramabadi, M. J., Baaghdeh, M., & Emtiazari, A. (2024). Assessment of trends in extreme temperature and precipitation indices in the central desert margin of Iran. *Journal of Environmental Sciences Studies*, 9(3), 8961–8971.
- Eskandari, R., Esmaeili Avari, A., Mostafazadeh, R., & Choubé, S. (2024). Assessment of temporal and spatial changes in climatic extreme precipitation indices in the central part of Ardabil Province. *Journal of Environmental Sciences Studies*, 9(1), 8119–8133.
- Felix, M. L., Kim, Y. K., Choi, M., Kim, J. C., Do, X. K., Nguyen, T. H., & Jung, K. (2021). Detailed trend analysis of extreme climate indices in the Upper Geum River Basin. *Water*, 13(22), 3171.
- Guan, J., Yao, J., Li, M., Li, D., & Zheng, J. (2022). Historical changes and projected trends of extreme climate events in Xinjiang, China. *Climate Dynamics*, 59(5), 1753-1774.

- Hejazizadeh, Z., Karbalai, A., & Kazemi Azar, M. (2025). Investigation of the impact of climate change on extreme precipitation in East Azerbaijan Province. *Geography (Journal of the Iranian Geographical Association)*, 22(83), 1–20.
- Hassanzadeh, H., Hoshyar, H., & Mousavi, M. (2021). Identification and analysis of smart growth indicators affecting the spatial structure of cities with a future studies approach (Case study: Sardasht City). *Regional Planning Geography Quarterly*, 11(42), 143–165.
- IPCC Special Report on Extremes, (2012), Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.
- IPCC.1995.ClimateChange1994,In: Houghten JT., Meira Filho L G., Bruce J.P., Lee H.,Callender,B.T., Haites E.F., Harris.
- Jayawardena, I. S. P., Darshika, D. T., & Herath, H. R. C. (2018). Recent trends in climate extreme indices over Sri Lanka. *American Journal of climate change*, 7(04), 586.
- Kalita, R., Kalita, D., & Saxena, A. (2023). Trends in extreme climate indices in Cherrapunji for the period 1979 to 2020. *Journal of Earth System Science*, 132(2), 74.
- Karl, T. R., Nicholls, N., & Ghazi, A. (1999). Clivar/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes workshop summary. *Climatic change*, 42(1), 3-7.
- Koozehgaran, S., & Mousavibaygi, M. (2015). Trends of extreme climatic events in northeastern Iran. *Water and Soil*, 29(3), 750–764.
- Poortinga, W; Spence, Alexa; Whitmarsh, Lorraine; Capstick, Stuart; Pidgeon, Nick F. (2011). Uncertain climate: An

investigation into public scepticism about anthropogenic climate change, *Global Environmental Change*, 21: 1015-1024.

— Rouamba, S., Yaméogo, J., Sanou, K., Zongo, R., & Yanogo, I. P. (2023). Trends and variability of extreme climate indices in the Boucle du Mouhoun (Burkina Faso). *GEOREVIEW: Scientific Annals of Stefan cel Mare University of Suceava. Geography Series*, 33(1), 70-84.

— Salami, T., Matta, A., Anttiila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T. 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann Kendall test and Sen's slope estimates- the Excel template application MAKESENS, Publication on Air quality no. 31, Finnish Metrological Institute, Helsinki, 35.

— Serrano, A., Mateos, V. L., & Garcia, J. A. (1999). Trend

analysis of monthly precipitation over the iberian peninsula for the period 1921–1995. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 24, 85-90.

— Shahsavan Qareghuni, M., Doostan, R., & Babaeian, E. (2024). Transformation of Iran's climatic regions over more than half a century (1961–2022). *Journal of Natural Geography Research Quarterly*, 56(1), 123–138.

— Shi, P., Ma, X., Chen, X., Qu, S., Zhang, Z. 2013. Analysis of variation trends in precipitation in an upstream catchment of the Huai River. *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID: 929383.

— Tabari, H., Meron, T.T., Willems, P. 2015. Statistical assessment of precipitation trends in the upper Blue Nile River basin. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 13, 36-51.

- Trenberth Kevin E., Philip D. Jones Peter Ambenje, Roxana Bojariu, David asterling, Albert Klein Tank, David Parker, Fatemeh Rahimzadeh, James A. Renwick, Matilde Rusticucci, Brian Soden, Panmao Zhai. IPCCWGI 2007 .
bservations:Surface and Atmospheric Climate Change.308-312
- Yan, L. and Zheng, M. (2015). Influence of climate change on saline lakes of the Tibet Plateau, *Geomorphology*, 246: 67-78.
- Zand, M., Miri, M., & Kowsari, M. R. (2023). Detection of climate change in Lorestan Province using extreme indices. *Watershed Engineering and Management*, 15(1), 27–41.
- Zhu,Y and Toth,Z. 2001. Extreme Weather Events and Their Probabilistic Prediction by the NCEP
- Zwiers, F. W., Alexander, L. V., Hegerl, G. C., Knutson, T. R., Kossin, J. P., Naveau, P., Nicholls, N., Schär, C., Seneviratne, S. I., & Zhang, X. (2013). Climate Extremes: Challenges in Estimating and Understanding Recent Changes in the Frequency and Intensity of Extreme Climate and Weather Events. In: *Climate Science for Serving Society: Research, Modeling and Prediction Priorities*. Asrar, G. R. and Hurrell, J. W. (Eds.). Springer Netherlands. Dordrecht .pp. 339-389.