

Spatiotemporal Variability of Dry Day Occurrence in Iran

Ali Reza Karbalaee Doree   ¹ | Saeideh Ashrafi  ²

1. Department of Climatology Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

2. Postdoctoral Researcher in Climatology, Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Article Info:

Article type:

Research Article

Date:

Received: 2025.05.20

Received: 2025.06.17

Accepted: 2025.06.26

Published:

Keywords:

Dry day, Dry spell duration, Mann-Kendall test, Alexandersson test, Climate shift

Abstract: This study investigates the spatio-temporal variations in the frequency of dry days (precipitation < 1 mm) and their longest consecutive spells across Iran during the period 1970–2021, using daily data from 411 synoptic stations. Kriging interpolation was applied for spatial analysis, the Mann–Kendall test for trend detection, and the Alexandersson test (SNHT) for identifying significant breakpoints. Results indicate that the national annual mean frequency of dry days is 328 days, with a minimum of 247 days in the southwestern Caspian region and a maximum of 355 days in western Sistan and Baluchestan. Approximately 62.6% of the country's area experienced frequencies above the spatial mean. A significant increasing trend was observed over 89.12% of the territory, whereas only 10.64% showed a decreasing trend. The longest recorded consecutive dry spell (> 600 days) occurred in western Sistan and Baluchestan in December 2016. The Alexandersson test identified 1998 as a significant shift point; thereafter, the mean frequency of dry days increased by approximately 8 days, and the maximum dry spell duration nearly doubled. Anomaly analysis of frequency and duration reveals that these changes predominantly occurred in central, southern, and eastern regions. This pattern aligns with alterations in the general atmospheric circulation over Southwest Asia. The findings warn that Iran is transitioning from seasonal dryness toward more extreme and persistent aridity conditions.

Cite this article: Karbalaee Doree, A, Ashrafi, S. (2025). Spatiotemporal Variability of Dry Day Occurrence in Iran. *Climat Change and Climat Disasters*, 4(7), 274-302.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan.



Extended Abstract

Introduction

The occurrence of dry days serves as a critical component of the hydrological cycle, playing a decisive role in water resource distribution, ecosystem stability, and food security. In recent decades, under the influence of global warming and shifts in atmospheric circulation patterns, many arid and semi-arid regions worldwide, including Iran, have experienced intensified and prolonged precipitation-free periods. However, most prior studies have focused on linear long-term trends, leaving the non-linear nature of climate variability and the occurrence of abrupt shifts (breakpoints) in precipitation regimes largely underexplored. This study aims to bridge this knowledge gap by investigating the spatiotemporal variability in the frequency and longest duration of consecutive dry days (defined as days with precipitation <1 mm) across Iran over the period 1970–2021, to elucidate the country's climatic transition from seasonal aridity to persistent and extreme drought conditions.

Material and Methods

The analysis utilizes daily precipitation records from 411 synoptic stations distributed across Iran over a 52-year period (1970–2021). Following rigorous quality control, days with precipitation below 1 mm were classified as "dry days,"

and two primary indices were computed: the annual frequency of dry days and the maximum length of consecutive dry spells. To generate continuous spatial surfaces and analyze geographic patterns, ordinary Kriging interpolation was employed. Temporal trends were assessed using the non-parametric Mann-Kendall test. Furthermore, to detect abrupt shifts and statistical breakpoints in the time series, the Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), commonly known as the Alexandersson method, was applied. This technique compares the means of time series segments before and after a hypothetical breakpoint to identify the year of significant climatic shift at a 95% confidence level.

Results and Discussion

Spatial analysis revealed a national average annual frequency of 328 dry days, with a minimum of 247 days in the southwestern Caspian coast and a maximum of 355 days in western Sistan and Baluchestan. Approximately 62.6% of Iran's area experiences frequencies above the spatial mean, underscoring the widespread nature of dry conditions. The Mann-Kendall test indicated a statistically significant increasing trend across 89.12% of the country, while only 10.64% exhibited a decreasing trend. The longest recorded consecutive dry spell exceeded 600 days, culminating in January 2017 in western Sistan and

Baluchestan. The Alexandersson test identified 1998 as a significant breakpoint year in the national dry-day regime. Comparing the pre-breakpoint (1970–1997) and post-breakpoint (1998–2021) periods reveals that the average annual frequency of dry days increased by approximately 8 days, and the maximum dry spell duration nearly doubled. Anomaly maps demonstrate that these changes are predominantly concentrated in central, southern, and eastern Iran. This spatiotemporal pattern aligns with large-scale atmospheric circulation shifts over Southwest Asia, including the intensification of the subtropical high-pressure system and teleconnection oscillations. The rain-shadow effect of the Alborz and Zagros mountain ranges is also evident in prolonging dry spells across their leeward slopes.

Conclusion

The findings confirm that Iran's precipitation regime has undergone a systematic and non-linear transition. The identification of 1998 as a climatic tipping point, coupled with a dramatic increase in the duration of consecutive dry periods (particularly

in central and eastern regions), signals a shift from conventional seasonal dryness to persistent, multi-year, and extreme drought conditions. This hydrological transformation poses severe challenges for water resource management, rain-fed and irrigated agriculture, food security, and the resilience of drought-sensitive ecosystems. Consequently, revising climate adaptation strategies, developing non-linear predictive models, and transitioning from reactive to proactive drought management are imperative to mitigate national vulnerability in the coming decades. The findings of this study indicate that Iran is no longer dealing with conventional, seasonal aridity; rather, it stands on the threshold of entering an era of extreme and persistent drought. The intensification and prolongation of dry events pose profound challenges to water security, agriculture, food security, and the sustainability of water-sensitive ecosystems.

Keywords:

Dry day, Dry spell duration, Mann-Kendall test, Alexandersson test, Climate shift



تغییرات فراوانی رخداد روزهای خشک در ایران

علیرضا کربلایی درئی^۱ | سعیده اشرفی^۲ ✉

۱. استادیار گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.

۲. محقق پسادکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۳۰

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۲۷

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۵

انتشار:

واژگان کلیدی:

روز خشک، تداوم خشکی، آزمون من-کندال، روش الکساندرسون، جهش اقلیمی

چکیده: این پژوهش به بررسی تغییرات فضایی-زمانی فراوانی روزهای خشک و طولانی‌ترین تداوم آن‌ها (بارش کمتر از یک میلی‌متر) در ایران طی دوره ۱۹۷۰-۲۰۲۱ با داده‌های روزانه ۴۱۱ ایستگاه همدیدی می‌پردازد. از روش کریجینگ برای درون‌یابی فضایی، آزمون من-کندال برای تحلیل روند و روش الکساندرسون برای شناسایی نقطه شکست استفاده شد. یافته‌ها نشان می‌دهند میانگین فراوانی سالانه روزهای خشک در کشور ۳۲۸ روز است؛ کمینه (۲۴۷ روز) در جنوب‌غربی دریای خزر و بیشینه (۳۵۵ روز) در غرب سیستان و بلوچستان رخ داد. ۶۲.۶ درصد مساحت کشور فراوانی بالاتر از میانگین مکانی را تجربه کردند. روند افزایشی معنی‌دار در ۸۹.۱۲ درصد کشور مشاهده شد، در حالی که تنها ۱۰.۶۴ درصد روند کاهشی داشتند. طولانی‌ترین دوره خشکی متوالی (بیش از ۶۰۰ روز) در غرب سیستان و بلوچستان (دی ۱۳۹۵) ثبت شد. آزمون الکساندرسون سال ۱۹۹۸ را به‌عنوان نقطه جهش معنی‌دار شناسایی کرد؛ پس از آن، میانگین فراوانی ۸ روز و بیشینه تداوم خشکی تقریباً دو برابر افزایش یافت. آنومالی‌های فراوانی و تداوم نشان می‌دهند این تغییرات عمدتاً در مناطق مرکزی، جنوبی و شرقی رخ داده‌اند. این الگو با تغییرات گردش عمومی جنوب‌غرب آسیا همسو است. یافته‌ها هشدار می‌دهند ایران از خشکی فصلی به سمت خشکی فرین و پایدار حرکت کرده است.

استناد: کربلایی درئی، علیرضا، اشرفی، سعیده. (۱۴۰۴). تغییرات فراوانی رخداد روزهای خشک در ایران. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی.

۳۰۲-۲۷۴، (۷)۴.

© نویسندگان.

Homepage: cccd.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان



۱. مقدمه

وقوع بارش در طول سال آب مورد نیاز برای حیات انسانی، جانوری و گیاهی را فراهم می‌کند. توزیع بارش در روزهای بیشتری از سال موجب گرایش توزیع آن به نرمال شده و تأمین آب در طول سال را تضمین می‌کند. روز بارشی به روزی اطلاق می‌شود که بیش از ۱ میلی‌متر بارش داشته باشد (Vaittinada Ayar and Mailhot, 2021). از این رو روزهای فاقد بارش یا بارش کمتر از ۱ میلی‌متر، روز بدون بارش یا روز خشک تلقی می‌شوند. برخلاف روزهای بارانی، روزهای بدون بارش ویژگی ذاتی آب‌وهوای بسیاری از مناطق محسوب می‌شوند (Cebulska and Twardosz, 2024). مدیریت منابع آب به وقوع دوره‌های مرطوب و خشک به صورت متناوب وابسته است (Şen et al, 2020). روزهای فاقد بارندگی، بیلان منفی آبی را تحمیل می‌کند (Asakereh and Mazini,

2010) و نقش تعیین‌کننده‌ای در وقوع خشکسالی و تداوم شرایط خشک در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف ایفا می‌کنند. افزایش تعداد و طول دوره‌های بدون بارش نه تنها منجر به کاهش تأمین آب طبیعی می‌شود، بلکه باعث تشدید فشار بر منابع آب زیرزمینی، کاهش عملکرد محصولات کشاورزی و تخریب اکوسیستم‌های حساس به آب می‌گردد. در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی به‌ویژه گرمایش جهانی، الگوهای هواشناسی را دچار تحولات عمیقی کرده است؛ به طوری که در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، از جمله غرب آسیا و ایران، روند افزایشی در فراوانی روزهای بدون بارش مشاهده شده است. اهمیت روزهای خشک در توزیع آب و مدیریت بارش موجب شده تا اقلیم‌شناسان بسیاری به مطالعه آن بپردازند. برای مثال: Nastos (2009) and Zerefos تغییرپذیری مکانی

و زمانی دوره‌های خشک (تعداد بیشینه روزهای خشک متوالی در سال، CDD^۱) و مرطوب (تعداد بیشینه روزهای بارانی متوالی در سال، CWD^۲) در یونان طی دوره ۱۹۵۸ تا ۲۰۰۷ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد حداکثر تعداد روزهای خشک متوالی در جزایر کیکلادس و جنوب شرق دریای اژه و حداقل آن در شمال غرب یونان رخ داده است. بلندترین دوره‌های مرطوب در غرب یونان و غرب جزیره کرت و کوتاه‌ترین آن‌ها در شرق قسمت قاره‌ای و بیشتر مناطق دریای اژه مشاهده شده است. روند زمانی CWD در غرب یونان کاهش معنی‌داری (با اطمینان ۹۵٪) نشان می‌دهد، در حالی که روند افزایشی غیر معنادار برای CDD در سراسر کشور، به‌ویژه در منطقه جنوب شرقی، دیده می‌شود. (McCabe et al (2010

متحدہ طی سال‌های آبی ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۶ مورد تحلیل قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که روند کاهشی در طول رویدادهای خشک (ترسالی‌های متوالی) در فصول آبی و سرد بیشتر است، اما در فصل گرم تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها روند افزایشی را نشان می‌دهند که عمدتاً به دلیل خشکسالی‌های پایان قرن بیستم و اوایل قرن بیست و یکم است. همچنین، نوسان ال نینو - جنوبی (ENSO) نقش عمده‌ای در تغییرپذیری طول دوره‌های خشک به ویژه در سال‌های آبی و فصل سرما دارد. این یافته‌ها با افزایش بارش و رخداد‌های ال نینو در منطقه همخوانی دارند. Polade et al (2014) بر اساس تحلیل ۲۸ مدل اقلیمی جهان (CMIP5) دریافتند که منطقه مدیترانه، بخش‌هایی از آمریکای مرکزی و جنوبی و غرب اندونزی تا پایان قرن ۲۱ ممکن است هر سال تا ۳۰ روز خشک

1. consecutive dry days

2. consecutive wet days

بیشتری داشته باشند. این مطالعه نشان می‌دهد که در بسیاری از مناطق گرمسیری، تغییر در تعداد روزهای خشک نقش اصلی را در تغییرات بارش سالانه ایفا می‌کند و بخش عمده‌ای از نوسانات بارش از سالی به سال دیگر را تعیین می‌نماید. بنابراین، افزایش روزهای خشک می‌تواند تأثیر بزرگی بر الگوهای بارش آینده داشته باشد، حتی اگر شدت بارش‌های روزانه نیز افزایش یابد. Liu et al (2015) روند وقوع روزهای خشک و دوره‌های طولانی‌مدت خشکی را در شمال شرق چین مورد مطالعه قرار دادند. در سطح منطقه‌ای، تعداد روزهای خشک در نیمه تابستانی سال در حال افزایش و در نیمه زمستانی سال در حال کاهش است. همچنین میانگین طول دوره‌های طولانی‌مدت خشکی در نیمه زمستانی سال به طور معناداری کاهش یافته است. Espinoza et al (2016) تغییرات مکانی-زمانی فراوانی روزهای بارانی (WDF) و خشک (DDF) در آمازون غربی طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۹ و ارتباط آن با نوسانات اقیانوسی - جوی و تأثیر بر پوشش گیاهی را بررسی کردند. پس از ۱۹۹۵، فراوانی روزهای بارانی در شمال منطقه (حوضه مارانون) به طور معناداری افزایش یافت (از ۲۲ به ۳۴ روز در سال)، در حالی که از ۱۹۸۶ فراوانی روزهای خشک در قسمت‌های مرکزی و جنوبی (حوضه اوکایالی) افزایش یافت (از ۱۶/۲ به ۲۳/۸ روز در سال). این تغییرات با نوسان دمای سطح دریا در اقیانوس آرام (به ویژه ال‌نینو) و اقیانوس اطلس شاخه شمالی و همچنین تغییر در سلول‌های جوی والکر و هدلی مرتبط است. Mahmoudi et al (2020) رفتار روزهای مرطوب و خشک در ایران با استفاده از مدل‌های زنجیره مارکوف مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که وقوع تداوم‌های کوتاه خشکی (۵ و ۱۰ روز) در

سه فصل پاییز، زمستان و بهار در سراسر ایران با احتمالات متفاوتی همراه است. با این حال، احتمال وقوع تداوم‌های بلند مدت خشکی (بیش از ۲۰ روز) از نظر فصلی و مکانی متغیر است؛ به طوری که در زمستان، در نیمه شمالی ایران هیچ گونه احتمالی برای وقوع این نوع تداوم‌ها مشاهده نمی‌شود. همچنین، با توجه به اینکه پاییز و بهار به ترتیب پایان و آغاز شرایط پایدار بلند مدت جو در سطوح بالایی جو ایران محسوب می‌شوند، احتمال وقوع دوره‌های ۳۰ روزه خشکی، به ویژه در نیمه جنوبی ایران، افزایش می‌یابد. Thoithi et al (2021) فراوانی دوره‌های خشک و وقوع روزهای بارانی در فصل بارانی تابستانی جنوب آفریقا را با استفاده از داده‌های بارش روزانه طی سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹ بررسی نمودند. تحلیل روند نشان می‌دهد شیب مورب از ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹ ضعیف شده و این امر تا حدی در بخشی از شیب شمال - جنوب نیز صدق می‌کند. در مقابل، تعداد روزهای بارانی و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در چند منطقه مهم کشاورزی جنوب آفریقا افزایش معنی‌داری داشته است. این تغییرات احتمالاً به تغییرات در سامانه فشاری بلندآسمانی بوتسوانا، نوسان ال‌نینو-جنوبی (ENSO) و دوقطبی اقیانوس هند زیراستوایی مرتبط هستند. Wang et al (2021) تغییرات فراوانی روزهای خشک و تر متوالی و ارتباط آنها با عوامل محلی و دوردست اقلیمی در منطقه ساحلی چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که توالی روزهای خشک روند منفی و توالی روزهای تر روند منفی و مثبت را تجربه کرده‌اند. روزهای خشک و تر متوالی در بخش‌هایی از مناطق شمالی ساحلی نزدیک به دریا، ارتباط معناداری با شاخص چندمتغیره انسو (MEI) و شاخص نوسان جنوبی (SOI) داشته‌اند. Saini et al

(2023) تغییرات و روندهای روزها و دوره‌های خشک و مرطوب در حوضه رودخانه باناس هند طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰ را بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد روزهای خشک (میانگین ۳۳۰ روز در سال) بسیار بیشتر از روزهای بارانی (۳۵ روز) است. روند کاهشی در روزهای خشک و روند افزایشی در روزهای بارانی مشاهده شده است. همچنین آزمون‌های تشخیص نقطه تغییر، سال ۱۹۹۳ را به عنوان سال مهم تغییر در الگوی خشکی و بارش تشخیص داده‌اند. (Tegegn et al (2024) به بررسی فراوانی و روند دوره‌های خشک و تغییرپذیری بارش در شمال غرب اتیوپی طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۱ پرداخته‌اند. بررسی‌ها نشان داد که در ماه‌های ژوئن و سپتامبر، فراوانی روزهای خشک و تغییرپذیری آن بالا است که خطر تأخیر در کشت و کاهش عملکرد را افزایش می‌دهد. تحلیل روند نشان داد در بیشتر ایستگاه‌ها، تعداد روزهای خشک در حال افزایش است. احتمال دوره‌های خشک طولانی از اواخر سپتامبر تا فوریه ۱۰۰ درصد است و در ماه می، شانس ۶۰ تا ۸۰ درصدی وقوع یک دوره ۷ روزه خشک وجود دارد که می‌تواند شروع فصل کشت را به ژوئن موثر عقب بیندازد. (Latoja et al (2025 ویژگی‌های فضایی - زمانی روزهای بدون بارش در مرکز شیلی (بین عرض‌های ۳۲ تا ۴۰ درجه جنوبی) طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۱ را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که الگوی فضایی روزهای خشک شبیه به الگوی بارش است و تعداد بیشتری روز خشک در مناطق شمالی و ساحلی رخ می‌دهد. روند بلندمدت نشان‌دهنده افزایش معنادار روزهای خشک سالانه جنوب ۳۸ درجه جنوبی است، در حالی که در مناطق شمالی روندها ضعیف و غیرمعنادار هستند. جهت روند به بازه زمانی تحلیل حساس است؛ به طوری که برخی مناطق قبل و بعد

از ۱۹۸۲ روندهای مخالفی نشان می‌دهند. همچنین، اثر دوره خشکسالی بزرگ (۲۰۱۰-۲۰۱۹) در داده‌ها مشهود است. Ali Asgari Kashani et al (2019) نواحی آسیب‌پذیر از کمبود بارش در ایران را مورد مطالعه قرار دادند. بررسی‌های ایشان نشان داد که دوره‌های خشک از شمال به جنوب و از غرب به شرق طولانی‌تر شده‌اند. همچنین مناطق جنوبی کشور به ویژه سواحل خلیج فارس و دریای عمان حساسیت بالایی نسبت به افزایش دوره‌های خشک دارند.

با وجود مطالعات گسترده فوق، اکثر پژوهش‌های انجام‌شده در ایران و منطقه، عمدتاً بر شناسایی روندهای خطی بلندمدت تمرکز داشته‌اند و کمتر به ماهیت غیرخطی تغییرات اقلیمی و وقوع ناگهانی نقاط شکست (Change Points) در رژیم بارش پرداخته‌اند. شواهد پژوهشی در جنوب غرب آسیا نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی در این منطقه همواره به صورت تدریجی نبوده، بلکه تحت تأثیر تغییرات ناگهانی در الگوهای گردش جوی بزرگ‌مقیاس، مانند جابجایی پرفشار جنب‌حاره‌ای و نوسانات دورپیوندی، ممکن است به صورت جهشی رخ دهد (Alipour et al, 2019; Asakereh and Fataheyan, 2019; Fatahian et al, 2025). با این حال، هنوز مشخص نیست که آیا فراوانی و تداوم روزهای خشک در ایران نیز تابع چنین الگوی جهشی بوده است یا خیر.

بنابراین، شکاف دانش اصلی در عدم شناسایی دقیق زمان و مکان این نقاط گذار با استفاده از داده‌های با تراکم بالا نهفته است. این پژوهش با بهره‌گیری از داده‌های روزانه ۴۱۱ ایستگاه هواشناسی، نه تنها به تحلیل روندها می‌پردازد، بلکه با تمرکز بر شناسایی نقاط شکست آماری، خواهد بود. انتظار می‌رود یافته‌های این پژوهش درک

بهتری از گذار اقلیم ایران از خشکسالی‌های فصلی به شرایط پایدار خشک ارائه دهد.

۲. داده‌ها و روش‌ها

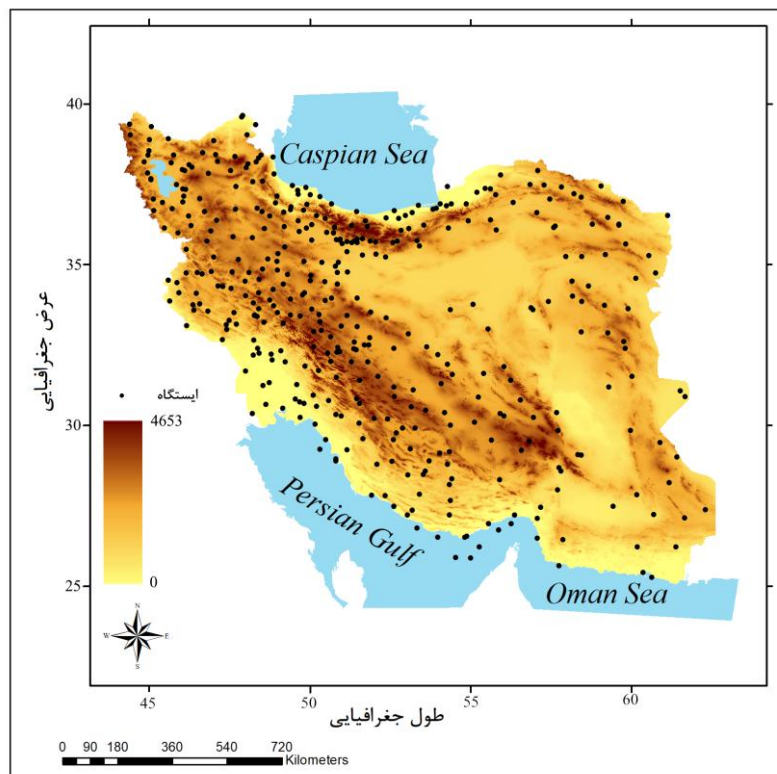
۲.۱. منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه این پژوهش، کشور ایران در جنوب غرب آسیا است که بین عرض‌های جغرافیایی 25° تا 40° شمالی و طول‌های جغرافیایی 44° تا 64° شرقی قرار دارد. ایران در کمر بند خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده و میانگین بارش سالانه آن حدود 250 میلی‌متر است؛ مقداری که کمتر از یک سوم میانگین جهانی بوده و با توزیعی شدیداً ناهمگون از نظر زمانی و مکانی همراه است. این ناهمگونی، منجر به نابرابری در توزیع منابع آب در سطح کشور و افزایش چالش‌های مدیریتی در حوزه‌های آب و کشاورزی می‌شود (Masoodian and Kavyani, 2008).

برای تحلیل روند و الگوهای بارشی در دوره آماری 1970 تا 2021 ، از داده‌های روزانه ارتفاع بارش 411 ایستگاه همدیدی سراسر کشور استفاده شده است. موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده همراه با توپوگرافی کشور در شکل (۱) نشان داده شده است. با توجه به مطالعه Masoodian (2022)، حداقل تعداد 250 ایستگاه برای تهیه نقشه‌های بارش ایران با دقت مطلوب ضروری است تا خطای ناشی از درونیابی فضایی به کمترین مقدار ممکن برسد. در این پژوهش، با به‌کارگیری 411 ایستگاه که تقریباً 64 درصد بیش از حداقل مورد نیاز است توزیع فضایی داده‌ها به گونه‌ای جامع و متقارن پوشش داده شده که خطای درونیابی در محدوده قابل قبول و بسیار پایینی قرار دارد. این تراکم بالای ایستگاهی، قابلیت تعمیم‌پذیری نتایج و

دقت تحلیل‌های فضایی را به طور

چشمگیری افزایش می‌دهد.



شکل ۱: نقشه پراکنش ایستگاه‌های مورد استفاده و سطوح ارتفاعی کشور

۲.۲. داده‌ها و روش‌ها

تصادفی‌پذیری، خطی‌بودن، ناریبی و

حداقل‌بودن واریانس تخمین برای داده‌های

با توزیع مکانی نامنظم (مانند داده‌های

ایستگاهی در مناطق خشک) به عنوان یکی

از کارآمدترین روش‌های درونیابی فضایی

در گام نخست، نقشه‌های روزانه بارش

کشور با استفاده از روش کریجینگ تهیه

گردید. این روش به دلیل ویژگی‌های آماری

مطلوب از جمله موضعی بودن،

- شناخته می‌شود (Asakereh, 2008). با پردازش داده‌های روزانه‌ی ۵۲ ساله (۱۹۷۰-۲۰۲۱)، در مجموع ۱۸۹۹۳ نقشه‌ی روزانه تولید شد. پس از حذف یاخته‌های خارج از مرزهای جغرافیایی ایران، تعداد ۶۶۹۵ یاخته‌ی مکانی درون مرزی برای تحلیل‌های پسین انتخاب گردید.
- در مرحله‌ی بعد، روزهایی که ارتفاع بارش آن‌ها کمتر از ۱ میلی‌متر بود یا بارشی رخ نداده بود، به عنوان روز خشک (Asakereh and Ashrafi, 2023) تعریف و استخراج شدند. بر این اساس، دو شاخص کلیدی محاسبه گردید:
- ۱- فراوانی سالانه‌ی روزهای خشک (تعداد روزهای خشک در هر سال میلادی)،
 - ۲- بیشینه‌ی تداوم روزهای خشک متوالی در هر سال (طولانی‌ترین دوره‌ی پیاپی خشکی در سال).
- جهت بررسی روند زمانی تغییرات فراوانی و تداوم روزهای خشک، از آزمون ناپارامتری من - کندال (Mann- Kendall) استفاده شد. این آزمون به دلیل عدم حساسیت به توزیع آماری داده‌ها و مقاومت در برابر داده‌های پرت، برای تحلیل روندهای بلندمدت سری‌های زمانی هواشناسی به‌طور گسترده به‌کار گرفته می‌شود.
- همچنین، به منظور شناسایی نقطه‌ی شکست یا جهش‌های ناگهانی در سری زمانی فراوانی روزهای خشک، از روش الکساندرسون (Alexandersson, 1986) استفاده گردید. این روش بر اساس مقایسه‌ی میانگین یک متغیر در دو دوره‌ی پیش از و پس از یک نقطه‌ی فرضی k که بین سال اول و سال آخر سری قرار دارد، عمل می‌کند. آماره‌ی آزمون، یعنی $T(k)$ ، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

(۱) آماره آزمون جهت رد فرض صفر به این

$$T(K) = K \times \bar{Z}_1^2 + (n - K) \times \bar{Z}_2^2$$

صورت خواهد بود:

(۴) در این رابطه $\bar{Z}_1^2$ و $\bar{Z}_2^2$ به شکل زیر

$$T_o = \max(T(K)) = \max(\bar{Z}_1^2 + (n - K)\bar{Z}_2^2) \quad 1 \leq k \leq n - 1$$

(۲) محاسبه می‌شوند:

اگر T_o بزرگتر از یک سطح بحرانی مشخص

باشد فرض صفر در سطح معنی داری مورد

نظر رد می‌شود. مقادیر بحرانی آزمون

الکساندرسون برای سطح معنی داری ۹۵

درصد در جدول (۱) دیده می‌شود.

$$\bar{Z}_1^2 = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) / S$$

(۳)

$$\bar{Z}_2^2 = \frac{1}{n - K} \sum_{i=k+1}^n (Y_i - \bar{Y}) / S$$

که در آن Y_i مقادیر سری سالانه، $\bar{Y}$

میانگین سری و S انحراف معیار می‌باشد.

جدول ۱: مقادیر بحرانی آزمون الکساندرسون (SNHT) در سطح معنی داری $(\alpha = 95\%)$

N	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۸۰	۱۰۰
T_{95}	۵/۷	۶/۹۵	۷/۶۵	۸/۱	۸/۴۵	۸/۶۵	۸/۹۵	۹/۱۵

را در دوره‌ی آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۱ در

۳. یافته‌ها و نتایج

سطح کشور نشان می‌دهد. همان‌گونه که

مشاهده می‌شود، ناحیه‌ی خزری، به ویژه

نیمه‌ی غربی آن، کمترین فراوانی روزهای

شکل (۲) میانگین فراوانی روزهای خشک

سالانه (تعریف‌شده به عنوان روزهایی با

بارش کمتر از ۱ میلی‌متر یا بدون بارش)

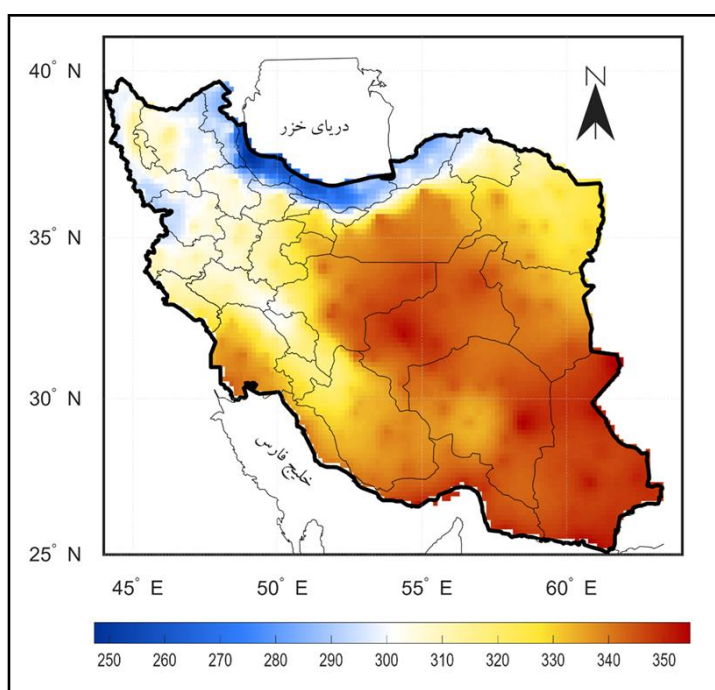
خشک را داراست؛ به طوری که کمینه‌ی ثبت شده با مقدار ۲۴۷ روز در سال در جنوب غربی دریای مازندران رخ داده است (جدول ۲). قسمت شرقی ناحیه‌ی خزری و کوهستان‌های مجاور آن در رتبه‌ی بعدی قرار دارند و فراوانی روزهای خشک نسبتاً کمی را تجربه می‌کنند. در مقابل، جنوب شرق کشور به ویژه بخش‌هایی از استان کرمان و نواحی مرکزی ایران بیشترین فراوانی روزهای خشک سالانه را به خود اختصاص داده‌اند؛ به طوری که بیشینه‌ی مشاهده شده به حدود ۳۵۵ روز در سال می‌رسد. در مجموع، ۶۲/۶ درصد از مساحت کشور فراوانی روزهای خشکی بالاتر از میانگین مکانی دارند که گویای گستردگی شرایط خشک در بیشتر مناطق ایران است. با دقت در توزیع فضایی این پدیده، نقش برجسته‌ی رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس در الگوی توزیع روزهای خشک آشکار می‌شود. نواحی کوهستانی مذکور در مقایسه با دامنه‌های بادپناه خود (جنوب البرز و شرق زاگرس)، روزهای خشک کمتری را تجربه می‌کنند. این تفاوت عمدتاً ناشی از اثر سایه‌ی بارشی است. یعنی رطوبت حمل‌شده توسط جریان‌های شمالی و غربی پس از صعود و تخلیه‌ی بارش در دامنه‌های بادبُرد، در دامنه‌های مقابل (بادپناه) منجر به کاهش چشمگیر بارش و افزایش تداوم خشکی می‌شود.

شکل (۳) روند تغییرات سالانه‌ی فراوانی روزهای خشک را در طول دوره‌ی مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس این تحلیل، الگوی روند از نظر فضایی یکنواخت نیست: ۸۹/۱۲ درصد از سطح کشور روند افزایشی معنی‌دار در فراوانی روزهای خشک دارند، در حالی که ۱۰/۶۴ درصد روندی کاهشی معنی‌دار را نشان می‌دهند. تنها ۰/۲۵ درصد از مناطق فاقد روند آماری معنی‌دار بوده‌اند. این یافته‌ها از گسترش و تشدید خشکی در

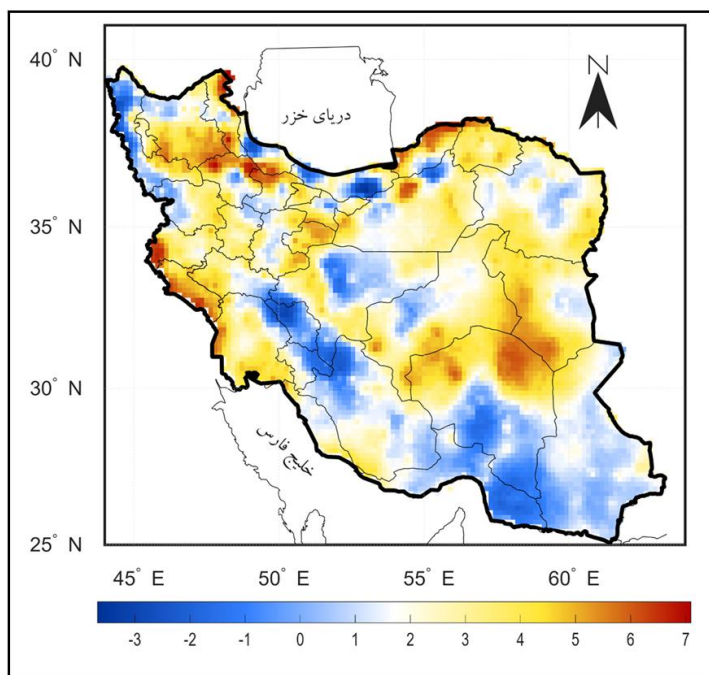
بخش عمده‌ای از کشور حکایت دارند و مقیاس محلی می‌تواند الگوهای بسیار نشان می‌دهند که تغییرات اقلیمی در متفاوتی از خشکی را ایجاد کند.

جدول ۲: آماره‌های مکانی میانگین فراوانی روزهای خشک سالانه طی دوره ۱۹۷۰-۲۰۲۱

آماره	میانگین	کمینه	بیشینه
ارزش	۳۲۸	۲۴۷	۳۵۵



شکل ۲: میانگین فراوانی روزهای خشک سالانه طی دوره ۱۹۷۰-۲۰۲۱



شکل ۳: روند فراوانی روزهای خشک سالانه

شکل (۴) بیشینه تداوم روزهای خشک رخ داده در این ۵۲ سال را در سطح کشور نشان می دهد. بر این اساس، ناحیه خزری کوتاه ترین بیشینه تداوم را داشته است. همچنین، مناطق شمال غرب، شمال شرق و ارتفاعات زاگرس به ترتیب دارای بیشینه تداوم نسبتاً کوتاهی بوده اند. در مقابل، طولانی ترین دنباله خشکی در دوره مطالعه

برای استخراج بیشینه تداوم روزهای خشک، ابتدا روزهای خشک (بر اساس تعریف ارائه شده در بخش روش ها) شناسایی و سپس رخدادهای متوالی آنها در هر سال طی دوره آماری ۱۹۷۰-۲۰۲۱ بررسی گردید. در این راستا، طولانی ترین دنباله متوالی از روزهای خشک در هر سال برای هر یاخته مکانی استخراج شد.

در منطقه غرب سیستان و بلوچستان رخ داده است؛ به طوری که این منطقه شاهد بیش از ۶۰۰ روز خشک متوالی بوده است (جدول ۳). پس از غرب سیستان و بلوچستان، مناطق شرقی و مرکزی کشور در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند و دنباله‌های طولانی از روزهای خشک را تجربه کرده‌اند. همچنین، ۵۸/۸ درصد از مساحت کشور بیشینه تداومی بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ روز را داراست (جدول ۴).

تحلیل روند زمانی بیشینه تداوم روزهای خشک با آزمون من-کندال (شکل ۵) نشان می‌دهد که الگوی تغییرات این شاخص نیز از نظر فضایی ناهمگن است. روند افزایشی معنی‌دار در بیشینه تداوم عمدتاً در نیمه شمالی کشور، بخش‌هایی از غرب ارتفاعات البرز، شمال شرق، غرب، جنوب غرب و بعضی مناطق شرقی دیده می‌شود. در مقابل، روند کاهشی معنی‌دار در مناطقی مانند ارتفاعات البرز (در حوالی

قله دماوند)، منتهی‌الیه شمال غرب کشور، جنوب غربی دریای مازندران و بخش وسیعی از سواحل جنوبی مشاهده شده است. از مجموع مساحت کشور، ۵۱/۶۱ درصد روندی افزایشی، ۴۷/۹۳ درصد روندی کاهشی و تنها ۰/۴۶ درصد فاقد روند آماری معنی‌دار بوده‌اند.

همان‌گونه که در بخش روش‌ها اشاره گردید، برای شناسایی نقطه‌ی شکست (جهش) در سری زمانی فراوانی سالانه‌ی روزهای خشک از روش الکساندرسون استفاده شد. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که سال ۱۹۹۸ به عنوان نقطه‌ی جهش معنی‌دار در بیشتر مناطق کشور شناسایی شده است؛ یعنی از این سال به بعد، الگوی فراوانی روزهای خشک دچار تغییر آماری قابل توجهی گردیده است. توزیع فضایی نقاط جهش در شکل (۶) نمایش داده شده است که گویای گستردگی این تغییر در سطح ملی است.

شکل (۷) مقایسه‌ی میانگین فراوانی روزهای خشک در دوره‌های پیش از جهش (۱۹۷۰-۱۹۹۷) و پس از جهش (۱۹۹۸-۲۰۲۱) را نشان می‌دهد. طبق این نقشه‌ها، در اکثر مناطق کشور به ویژه استان‌های مرکزی، جنوبی و شرقی (مانند یزد، کرمان، سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و اصفهان) فراوانی روزهای خشک پس از سال ۱۹۹۸ افزایش یافته است؛ که در نقشه‌ی مربوط به بعد از جهش با رنگ‌های زرد تا قرمز تیره نشان داده شده است. در مقابل، تنها در برخی مناطق محدود همچون نواحی غربی دریای خزر، شمال غرب (آذربایجان غربی و شرقی) و بخش‌هایی از ارتفاعات زاگرس (استان‌های لرستان و کهگیلویه و بویراحمد)، کاهش نسبی در فراوانی روزهای خشک مشاهده می‌شود که با رنگ‌های آبی و آبی روشن در نقشه‌ی بعد از جهش نشان داده شده است. همچنین، مقادیر بیشینه در دوره‌ی دوم (پس از جهش) بالاتر از دوره‌ی اول است (جدول ۵)، که نشان‌دهنده‌ی تشدید خشکی در بیشتر نقاط کشور پس از این نقطه‌ی شکست است. نقشه‌ی اختلاف فراوانی روزهای خشک (دوره‌ی ۱۹۹۸-۲۰۲۱ نسبت به ۱۹۷۰-۱۹۹۷) نشان می‌دهد که تغییرات پس از نقطه‌ی جهش سال ۱۹۹۸ در سطح کشور دارای الگوی فضایی ناهمگونی است. در اغلب مناطق به ویژه بخش‌های مرکزی، جنوبی و شرقی کشور مقادیر آنومالی مثبت و قابل توجهی مشاهده می‌شود که بیانگر افزایش معنی‌دار فراوانی روزهای خشک پس از این سال است. بیشترین افزایش (۳۰ تا ۴۰ روز در سال) در مناطق جنوب شرقی (از جمله غرب سیستان و بلوچستان) و مرکز ایران (شامل بخش‌هایی از استان‌های یزد، اصفهان و جنوب خراسان رضوی) رخ داده است. این یافته با تحلیل بیشینه‌ی تداوم خشکی (شکل ۴ و جدول ۳) نیز همخوانی

دارد و نشان می‌دهد که این مناطق نه تنها روزهای خشک بیشتری را تجربه کرده‌اند، بلکه طولانی‌ترین دوره‌های متوالی خشکی نیز در آن‌ها رخ داده است.

در مقابل، تنها در بخش‌های محدودی از کشور آنومالی منفی (کاهش فراوانی روزهای خشک) مشاهده شده است. این مناطق شامل نوار غربی ساحل دریای خزر (استان‌های گیلان و مازندران)، برخی قسمت‌های شمال غربی (آذربایجان غربی و شرقی) و کمربند‌های مرتفع زاگرس غربی (به‌ویژه استان‌های لرستان و کهگیلویه و بویراحمد) هستند؛ جایی که کاهش نسبی ۵ تا ۱۰ روزی در فراوانی روزهای خشک ثبت شده است. این روند کاهشی احتمالاً ناشی از تقویت نسبی سامانه‌های بارشی شمالی و غربی (مانند جریان‌های مدیترانه‌ای و خزری) در این مناطق پس از دهه‌ی ۱۹۹۰ است که با مطالعات پیشین

درباره ی تغییر الگوی گردش عمومی در جنوب غرب آسیا همسو می‌باشد (Asakereh and Alipour et al, 2019؛ Alijani et al, 2019؛ Fatahey, 2019؛ Fatahey et al, 2025). در مجموع، توزیع فضایی آنومالی‌ها گواهی بر آن است که جهش سال ۱۹۹۸ نه یک پدیده‌ی موضعی، بلکه یک تغییر سیستماتیک در رژیم خشکی کشور بوده است. افزایش گسترده‌ی فراوانی روزهای خشک در بیش از ۸۰ درصد مساحت کشور در حالی که تنها حدود ۷-۸ درصد کاهش جزئی را تجربه کرده‌اند نشان می‌دهد که ایران در دو دهه‌ی اخیر وارد مرحله‌ای جدید از تشدید خشکی شده است که می‌تواند پیامدهای عمیقی برای مدیریت منابع آب، کشاورزی و امنیت غذایی به همراه داشته باشد.

جدول ۳: آماره‌های مکانی طولانی ترین تداوم روزهای خشک طی دوره ۱۹۷۰ - ۲۰۲۱

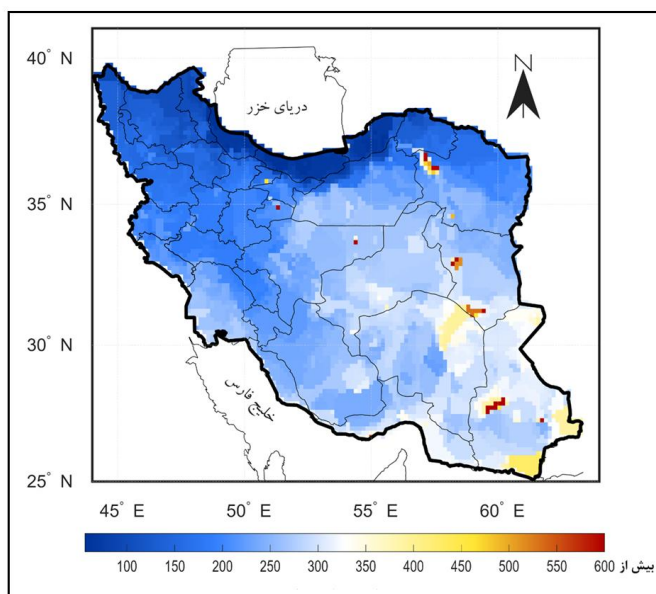
آماره	میانگین (روز)	کمینه (روز)	بیشینه (روز)
ارزش	۲۳۸	۵۶	۶۰۰ +

جدول ۴: مساحت طبقات مختلف تداوم روزهای خشک طی دوره ۱۹۷۰ - ۲۰۲۱

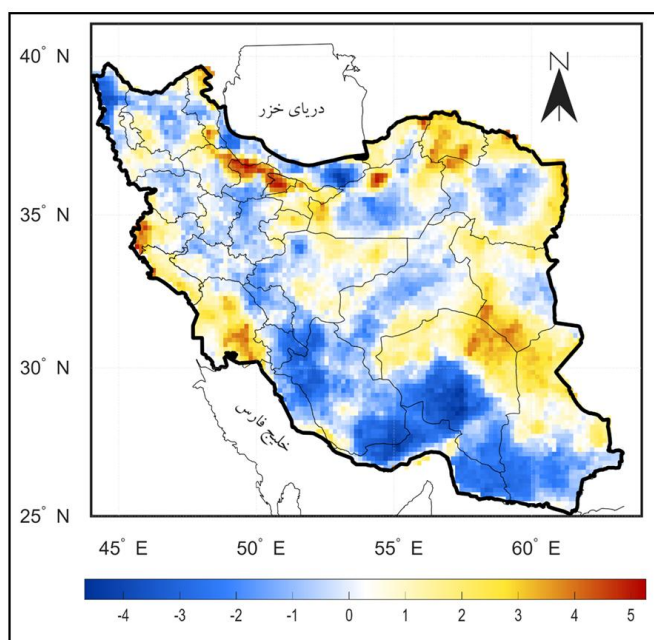
طبقات (روز)	مساحت (درصد)
۰ - ۱۰۰	۴/۹۷
۱۰۰ - ۲۰۰	۲۲/۰۳
۲۰۰ - ۳۰۰	۵۸/۸
۳۰۰ - ۴۰۰	۱۳/۱
۴۰۰ - ۵۰۰	۰/۶۶
۵۰۰ - ۶۰۰	۰/۱۸
بیش از ۶۰۰	۰/۲۶

جدول ۵: آماره‌های مکانی میانگین فراوانی روزهای خشک سالانه قبل و بعد از جهش

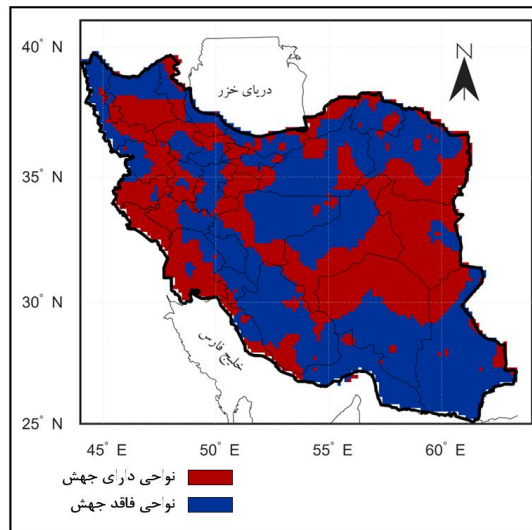
آماره	میانگین (روز)	کمینه (روز)	بیشینه (روز)
قبل از جهش	۳۲۵	۲۴۹	۳۵۳
بعد از جهش	۳۳۲	۲۴۲	۳۵۷



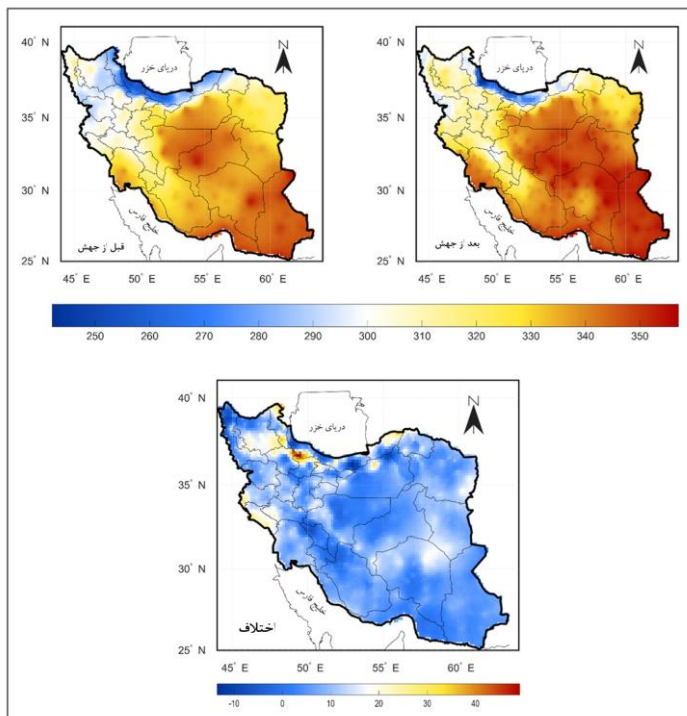
شکل ۴: بیشینه تداوم روزهای خشک طی دوره ۱۹۷۰ - ۲۰۲۱



شکل ۵: روند بیشینه تداوم روزهای خشک طی دوره ۱۹۷۰ - ۲۰۲۱



شکل ۶: نواحی دارای جهش در سال ۱۹۹۸



شکل ۷: میانگین مجموع روزهای خشک سالانه قبل و بعد جهش

شکل (۸) تغییرات فضایی بیشینه‌ی تداوم روزهای خشک (طولانی‌ترین دوره‌ی متوالی بدون بارش یا با بارش کمتر از ۱ میلی‌متر) در ایران را در دو دوره‌ی پیش از جهش (۱۹۷۰-۱۹۹۷) و پس از جهش (۱۹۹۸-۲۰۲۱) نشان می‌دهد. مقایسه‌ی این دو نقشه حاکی از تغییرات گسترده و قابل توجهی در طولانی‌ترین دوره‌های خشکی در سطح کشور است.

در دوره‌ی قبل از جهش، بیشینه‌ی تداوم روزهای خشک در اغلب مناطق کشور کمتر از ۳۰۰ روز بوده و تنها در بخش‌های محدودی از جنوب شرق (مانند استان کرمان) و مرکز ایران، این مقدار به ۳۵۰ روز نزدیک می‌شد. در مقابل، در دوره‌ی پس از جهش، الگوی فضایی به‌طور چشمگیری تغییر کرده است؛ به‌طوری‌که در بیشتر مناطق به ویژه جنوب شرقی،

مرکزی و شرقی کشور بیشینه‌ی تداوم به بیش از ۴۰۰ روز رسیده و در برخی نقاط (همانند منطقه‌ی غرب سیستان و بلوچستان) به بیش از ۶۰۰ روز نیز افزایش یافته است. این افزایش در بیشتر مناطق به میزان ۱۰۰ تا ۳۰۰ روز است و در برخی نواحی حتی بیش از ۱۰۰۰ روز افزایش داشته است.^۱ بر اساس جدول ۶ آماره‌های مکانی، میانگین بیشینه‌ی تداوم در دوره‌ی پس از جهش (۲۲۶/۸ روز) نسبت به دوره‌ی قبل (۲۱۹/۵ روز) افزایش نسبی دارد، اما بیشینه‌ی مطلق از ۳۵۱ روز در دوره‌ی اول به بیش از ۶۰۰ روز در دوره‌ی دوم رسیده است. یعنی حدود ۲ برابر افزایش. این امر نشان‌دهنده‌ی این است که اگرچه میانگین تغییر محسوسی نداشته، اما رویدادهای خشکی شدید و طولانی مدت در دوره‌ی پس از جهش به صورت

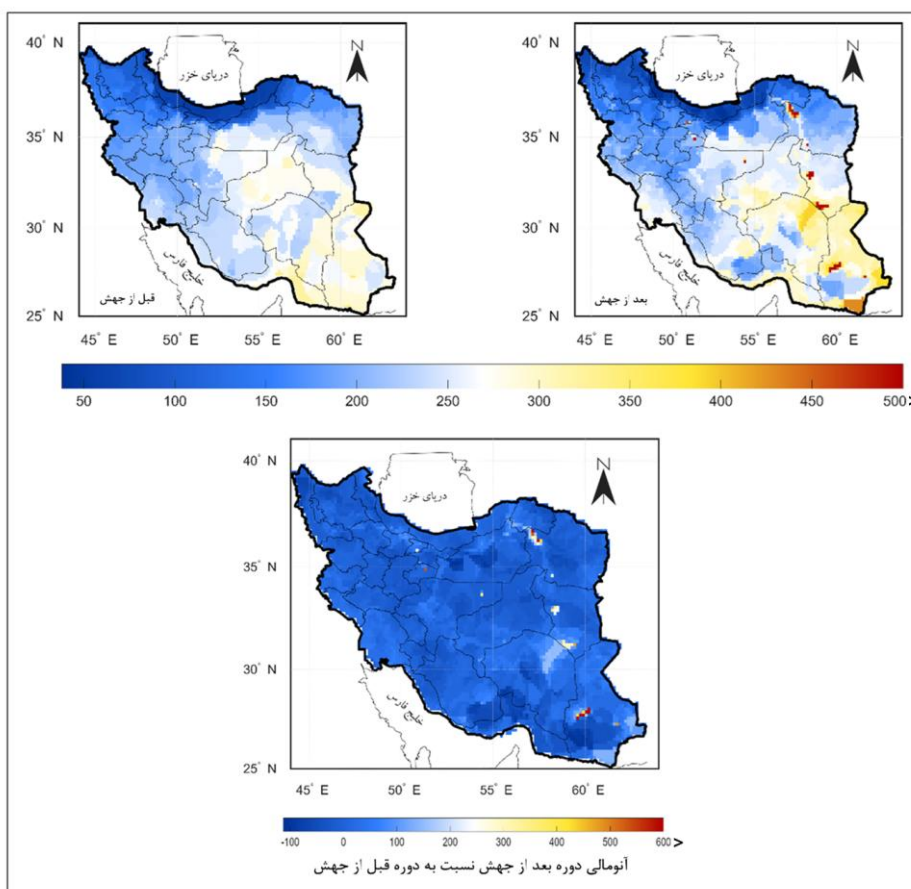
تنظیم شده است تا رنگ‌های به کار رفته در نقشه قابل تشخیص باشند.

۱. لازم به توضیح است که به منظور نمود بهتر نقشه‌های مربوط به بیشینه تداوم روزهای خشک، راهنمای نقشه تا بیش از ۵۰۰ و بیش از ۶۰۰ روز

چشمگیری گسترش یافته‌اند. همچنین، کمینه‌ی تداوم در دوره‌ی دوم (۳۸ روز) نسبت به دوره‌ی اول (۵۴ روز) کاهش یافته است که نشان‌دهنده‌ی کاهش حداقل طول خشکی‌های متوالی در برخی مناطق است، اما این کاهش نمی‌تواند تعادل را با افزایش شدید بیشینه‌ها برقرار کند. این تغییرات نشان می‌دهد که جهش سال ۱۹۹۸ نه تنها با افزایش فراوانی روزهای خشک همراه بوده، بلکه با افزایش شدید طولانی‌ترین دوره‌های خشکی متوالی نیز همراه بوده است. این تحول، پیامدهای جدی برای مدیریت منابع آب، کشاورزی، امنیت غذایی و اقتصاد منطقه‌ای دارد به ویژه در مناطقی که از ابتدا تحت فشار خشکی قرار داشته‌اند و اکنون شاهد تشدید شدیدتر این فشار هستند. نقشه پایین در شکل (۸) نقشه آنومالی بیشینه‌ی تداوم روزهای خشک در دوره‌ی دوم (پس از جهش سال ۱۹۹۸) نسبت به دوره‌ی اول (قبل از جهش) را نشان می‌دهد؛ در اکثر مناطق کشور به ویژه جنوب شرقی، مرکزی و شرقی ایران (مانند استان‌های کرمان، یزد، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی) افزایش قابل توجهی (رنگ‌های زرد تا قرمز، با مقدار ۲۰۰ تا بیش از ۶۰۰ روز) در طولانی‌ترین دوره‌های خشکی رخ داده است. این افزایش در برخی نقاط همانند منطقه‌ی غرب سیستان و بلوچستان حتی به بیش از ۶۰۰ روز می‌رسد و نشان‌دهنده‌ی تشدید شدید و گسترده‌ی خشکی‌های طولانی مدت پس از سال ۱۹۹۸ است. در مقابل، تنها در بخش‌های محدودی از غرب دریای خزر و شمال غرب کشور، آنومالی منفی (رنگ آبی) مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی کاهش نسبی در بیشینه‌ی تداوم خشکی در این مناطق است؛ اما این کاهش‌ها در مقایسه با افزایش‌های گسترده در سایر مناطق، از لحاظ فضایی و مقداری ناچیز است

جدول ۶: آماره‌های مکانی طولانی‌ترین تداوم روزهای خشک قبل و بعد از جهش

آماره	میانگین (روز)	کمینه (روز)	بیشینه (روز)
قبل از جهش	۲۱۹/۵	۵۴	۳۵۱
بعد از جهش	۲۲۶/۸	۳۸	+ ۶۰۰



شکل ۸: بیشینه تداوم روزهای خشک قبل و بعد جهش

۴. نتیجه‌گیری

این پژوهش با بهره‌گیری از داده‌های روزانه‌ی بارش ۴۱۱ ایستگاه همدیدی در دوره‌ی آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۱، به بررسی تغییرات فضایی-زمانی فراوانی و تداوم روزهای خشک (تعریف شده به عنوان روزهایی با بارش کمتر از یک میلی‌متر یا بدون بارش) در سطح ایران پرداخته است. نتایج حاصل از تحلیل‌های فضایی (با روش کریجینگ)، آماری (آزمون من-کندال) و شناسایی نقطه‌ی شکست (روش الکساندرسون)، گویای الگوهای چند بعدی و پیچیده‌ای از خشکی در کشور است که همزمان تحت تأثیر عوامل توپوگرافی، سینوپتیکی و تغییرات اقلیمی بزرگ مقیاس قرار دارند.

از دیدگاه توزیع مکانی، کمترین میانگین فراوانی سالانه‌ی روزهای خشک (۲۴۷ روز) در جنوب‌غربی دریای خزر و بیشترین آن (۳۵۵ روز) در جنوب‌شرق کشور (به ویژه

در غرب سیستان و بلوچستان) رخ داده است. این توزیع شدیداً ناهمگون، رابطه‌ی مستقیمی با ساختار زمین‌ریخت‌شناسی ایران دارد؛ به طوری‌که رشته کوه‌های البرز و زاگرس با ایجاد اثر سایه‌ی بارشی (rain shadow effect)، باعث کاهش فراوانی و تداوم خشکی در دامنه‌های بادبُرد (شمال و غرب) و افزایش آن در دامنه‌های بادپناه (جنوب و شرق) شده‌اند. در مجموع، ۶۲٫۶ درصد از مساحت کشور فراوانی روزهای خشکی بالاتر از میانگین مکانی (۳۲۸ روز) را تجربه می‌کنند که نشان دهنده‌ی گستردگی شرایط خشک در ایران است (کشوری در قلب کمربند خشک جهان با بارشی حدود یک‌سوم میانگین جهانی).

تحلیل روند زمانی با آزمون من - کندال نشان داد که ۸۹/۱۲ درصد از کشور روند افزایشی معنی‌داری در فراوانی روزهای خشک دارند، در حالی‌که تنها ۱۰/۶۴ درصد روند کاهشی را نشان می‌دهند. این

الگو در سطح کشور، حاکی از تشدید خشکی است، نه تنها از منظر تعداد روزها، بلکه از دید تداوم دوره‌های خشک متوالی. در این زمینه، بیشینه‌ی تداوم روزهای خشک متوالی در دوره‌ی مطالعه به ۶۰۰ روز در غرب سیستان و بلوچستان (منتهی به ۳۰ دی ۱۳۹۵) رسیده است. یعنی خشکی مداومی بیش از ۴ سال و ۷ ماه که در نوع خود بی‌سابقه و فرین است. این دوره، علاوه بر پیامدهای هیدرولوژیکی و اکولوژیکی عمیق، نشان‌دهنده‌ی گذار ایران از خشکی معمول به خشکی شدید و طولانی‌مدت است.

شایان توجه‌ترین یافته، شناسایی سال ۱۹۹۸ به عنوان نقطه‌ی جهش معنی‌دار در رژیم خشکی کشور با روش الکساندرسون است. مقایسه‌ی دو دوره‌ی قبل (۱۹۷۰-۱۹۹۷) و پس از جهش (۱۹۹۸-۲۰۲۱) نشان می‌دهد که از این سال به بعد، نه تنها میانگین فراوانی روزهای خشک افزایش یافته (از ۳۲۴/۶ به ۳۳۲/۴ روز)، بلکه بیشینه‌ی تداوم خشکی متوالی نیز از ۳۵۱ روز به بیش از ۶۰۰ روز رسیده است (یعنی حدود ۲ برابر افزایش). نقشه‌ی آنومالی تأیید می‌کند که این تغییرات عمدتاً در مناطق مرکزی، جنوبی و شرقی کشور (با افزایش ۳۰ تا ۴۰ روزی در فراوانی و ۲۰۰ تا بیش از ۶۰۰ روز در تداوم) رخ داده و تنها در بخش‌های محدودی از شمال غرب و نوار خزری، کاهش جزئی مشاهده شده است. این الگو نشان می‌دهد که جهش سال ۱۹۹۸ یک تحول سیستماتیک در چرخه‌ی هیدرولوژیکی ایران بوده است که با تغییرات بزرگ‌مقیاس اقلیمی، مانند تقویت فشار بلند سیبری و نوسان‌های ENSO—همزمان بوده است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که ایران دیگر با خشکی معمول و فصلی سروکار ندارد، بلکه در آستانه‌ی ورود به دوره‌ای از

خشکی فرین و پایدار قرار دارد. تشدید و
 طولانی تر شدن رخدادهای خشکی،
 چالش های عمیقی را برای امنیت آب،
 کشاورزی، امنیت غذایی و پایداری

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

- Alexanderson H A (1986) A homogeneity test applied to precipitation data. Journal of Climate 6:661-675
- Ali Asgari Kashani, Arezu, Zakerinia, Mehdi, heydarizade, majid, & Sharifan, Hossein. (2019). Assessing of vulnerable areas from precipitation reduction with regional analysis of no precipitation periods data of synoptic stations of Iran. Water Engineering, 11(39), 115-136. SID. <https://sid.ir/paper/16940/en>
- Alijani, Bohloul, Toulabi Nejad, Meysam, & Karbalaie Darei, Alireza. (2019). Investigating the Effects of Global Warming on Subtropical High Pressure. Physical Geography Research Quarterly, 51(1), 33-50. SID. <https://sid.ir/paper/40646/en>

- Alipour, Yousef, hedjazizadeh, zahra, Akbary, Mehry, & Saligheh, Mohammad. (2019). A Study of the subtropical high pressure 500 hPa level changes in the Iran's atmosphere with emphasis on climate change. *Journal of Natural Environment Hazards*, 7(18), 1-16. SID. <https://sid.ir/paper/377327/en>
- Asakereh H (2008) Kriging application in climatic element interpolation a case study: Iran precipitation in 1996.12.16. *Geography and Development* 6:25–42. <https://doi.org/10.22111/gdij.2008.1241>
- Asakereh H, Ashrafi S (2023) Variation in frequency and proportion of duration of rainy days in Iran's precipitation. *Theoret Appl Climatol*. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04352-6>
- Asakereh, H., & Mazini, F. (2010). Investigation of Dry Days Occurrence Probability in Golestan Province Using Markove Chain Model. *Geography and Development*, 8(17), 29-44. SID. <https://sid.ir/paper/77127/en>
- Asakereh, Hossein, & Fataheyan, Mokhtar. (2019). Analysis of Annual Changes of Subtropical High Pressure Ridge over Iran. *Journal of Geography and Planning*, 23(69), 191-211. SID. <https://sid.ir/paper/362757/en>
- Cebulska, M., & Twardosz, R. (2024). Variability of Dry Days and Sequences of Dry

- Days in the Polish Carpathians in the Period 1986–2020. *Water*, 16(20), 2982. <https://doi.org/10.3390/w16202982>
- Espinoza, J. C., Segura, H., Ronchail, J., Drapeau, G., & Gutierrez-Cori, O. (2016). Evolution of wet-day and dry-day frequency in the western Amazon basin: Relationship with atmospheric circulation and impacts on vegetation. *Water Resources Research*, 52(11), 8546-8560.
 - Fatahian, M., Hejazizadeh, Z., Karbalaee, A. R., Shahidinia, H., & Wang, J. (2025). Spatio-Temporal Analysis of Changes in the Iranian Summer Subtropical High-Pressure System from a Climate Change Perspective. *Atmosphere*, 16(3), 273. <https://doi.org/10.3390/atmos16030273>
 - Latoja, D., Lillo-Saavedra, M., Gonzalo-Martin, C. et al. (2025). Decadal Variability of Dry Days in Central Chile. *Earth Syst Environ* 9, 1117–1134. <https://doi.org/10.1007/s41748-024-00526-6>
 - Liu, X., Liu, B., Henderson, M., Xu, M., & Zhou, D. (2015). Observed changes in dry day frequency and prolonged dry episodes in Northeast China. *International Journal of Climatology*, 35(2), 196-214.
 - Mahmoudi, P., Amir, J. S. M., & Moradi, Z.

- (2020). Modeling behaviour of wet and dry days in Iran from the perspective of Markov chains. *Mausam*, 71(1), 79-94. DOI: 10.54302/mausam.v71i1.8
- Masoodian SA (2022) Asfezary national gridded daily precipitation data base (Version 3). Geography and Development 20(69):107–127. <https://doi.org/10.22111/gdij.2022.7277>
 - Masoodian SA, Kavyani MR (2008) Climatology of Iran. Isfahan Univercity Press, Isfahan
 - McCabe, G. J., Legates, D. R., & Lins, H. F. (2010). Variability and trends in dry day frequency and dry event length in the southwestern United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D7).
 - Nastos, P. T., & Zerefos, C. S. (2009). Spatial and temporal variability of consecutive dry and wet days in Greece. *Atmospheric Research*, 94(4), 616-628.
 - Polade, S. D., Pierce, D. W., Cayan, D. R., Gershunov, A., & Dettinger, M. D. (2014). The key role of dry days in changing regional climate and precipitation regimes. *Scientific reports*, 4(1), 4364.
 - Saini, D., Sharma, J. & Singh, O. (2023) Variations and trends in dry/wet days and spells over Banas River Basin, Rajasthan (India). *J Earth Syst Sci* 132, 174. <https://doi.org/10.1007/s12040-023-02165-3>

- Şen, Z., Şişman, E., & Dabanli, I. (2020). Wet and dry spell feature charts for practical uses. *Natural Hazards*, 104(3), 1975-1986.
- Tegegn, M.G., Berlie, A.B. & Utallo, A.U. (2024) Patterns and probabilities of dry spells and rainfall for improved rain-fed farming in Northwestern Ethiopia. *Discov Sustain* 5, 387. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00576-w>
- Thoithi, W., Blamey, R. C., & Reason, C. J. (2021). Dry spells, wet days, and their trends across Southern Africa during the summer rainy season. *Geophysical Research Letters*, 48(5), e2020GL091041.
- Vaittinada Ayar P, Mailhot A (2021) Evolution of dry and wet spells under climate change over north-eastern North America. *J Geophys Res Atmos* 126:e2020JD033740. <https://doi.org/10.1029/2020JD033740>
- Wang, X., Hou, X., & Zhao, Y. (2021). Changes in consecutive dry/wet days and their relationships with local and remote climate drivers in the coastal area of China. *Atmospheric Research*, 247, 105138.