Kharazmi University

Spatial Analysis Environmental Hazards

Online ISSN: 2588-5146
Homepage: https://khu.ac.ir

An Analysis of the Dynamics of the Spatial Behavior of Drought in Iran

Sousan Heidari[1] | Mostafa Karimi [2]✉ | Ghasem Azizi[3] | AliAkbar Shamsipour[4]

1. Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: heidari.s@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: Mostafakarimi.a@ut.ac.ir@ut.ac.ir
3. Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: ghazizi@ut.ac.ir
4. Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: shamsipr@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 06 January 2025
Accepted 03 September 2025
Published online 09 September 2025

Keywords:
Directional Distribution of Drought,
Spatial Structure of Drought,
Central Feature,
Drought Path Tracking.

ABSTRACT

Objective: Drought is one of the most significant natural hazards, characterized by complex spatiotemporal patterns. This study analyzes the structural and spatial characteristics of droughts in Iran across three temporal scales: annual, seasonal, and monthly.

Methods: The intensity and extent of droughts were calculated using the RAI index and ERA5 monthly precipitation data over a 42-year period (1979–2021). Initially, the spatial distribution and directional trends of the drought centroid were examined, and its spatial variations over the years were analyzed. Additionally, the relationship between the location of the drought centroid and its extent was investigated.

Results: The results revealed that during the cold season, the drought centroid is primarily concentrated in central Iran, while in the warm season, it shifts toward the northwest, the Caspian Sea coast, and southeastern regions of the country. The distribution pattern of droughts at all scales predominantly follows a northwest-to-southeast trajectory. Furthermore, shifts in the drought centroid toward the northeast, east, southeast, and south were observed to coincide with an increase in drought extent, whereas shifts toward the north, northwest, and west were associated with a reduction in drought extent.

Conclusions: Overall, the findings of this study demonstrate a direct relationship between the location of the drought centroid and changes in drought extent, despite the fact that droughts in Iran lack consistent and predictable spatiotemporal patterns.

Cite this article: Heidari, S., Karimi, M., Azizi, G., & Shamsipour, A.A. (2025). An Analysis of the Dynamics of the Spatial Behavior of Drought in Iran. *Spatial Analysis Environmental Hazards*, 12 (46 & 795), 89-108. http//doi.org/10.61882/jsaeh.12.46.795.91

© The Author(s)
DOI: http//doi.org/10.61882/jsaeh.12.46.795.91

Publisher: Kharazmi University

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Drought is among the most complex climatic hazards, profoundly affecting ecosystems, agriculture, food security, and the economic status of societies. It is categorized into four types: meteorological, agricultural, hydrological, and socioeconomic drought, each addressing specific aspects of water resource crises. The spatial and temporal variability of drought necessitates analyzing its spatiotemporal dynamics to understand better the factors influencing its occurrence, spread, and intensity. While many previous studies have focused on static analyses, significant gaps remain in examining drought's spatiotemporal dynamics. Iran, characterized by climatic diversity and significant precipitation variations across different regions, serves as an ideal case for studying the spatial behavior of drought. Precipitation fluctuations and climatic changes can lead to successive and severe droughts. Although numerous studies have addressed drought spatial and temporal characteristics, its dynamic spatial dimensions have been less explored. The "drought central feature" concept is an effective tool for analyzing the spatial displacement of drought patterns and identifying long-term trends. Examining the spatial dynamics of drought across various temporal scales can provide a deeper understanding of this phenomenon's dynamics.

Methods

This study focuses on Iran, utilizing precipitation data from the ERA5 dataset provided by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) since 1971 to 2021, with a spatial resolution of 0.25 degrees. After processing these data using MATLAB, monthly, seasonal, and annual precipitation database for the entire country was established. Analyses were conducted in six stages: Drought Index (RAI): Employed to analyze drought, classifying its severity into five distinct levels. Percentage of Drought Extent: Determined by identifying the number of affected grid points. Drought central feature Model: Analyzed spatial changes in drought using weighted relationships to ascertain the center's coordinates. Directional Distribution Analysis: Utilized GIS tools to identify the geographical dispersion of droughts. Temporal Trend Analysis of the Drought central feature: Conducted using simple linear regression to assess trends over short and long-term periods. Area Variation Analysis of Drought Severities: Applied the modified Mann-Kendall test to detect increasing or decreasing trends in severity.

Results

The analysis of spatial and temporal drought patterns in Iran indicates that the annual drought central feature, regardless of their extent, are dispersed throughout the country, with a notable concentration in the southern and eastern regions. The directional distribution forms a northwest-southeast ellipse, indicating a higher occurrence of droughts in northwest and southeast and central Iran. In widespread annual droughts (covering more than 80% of the area), the central feature are concentrated in central Iran. Nearly widespread droughts (covering 60% to 80%) also appear in central Iran but tend to shift eastward and southward, suggesting a higher incidence in the eastern and southern halves of the country. Conversely, localized and less extensive annual droughts predominantly occur in the northwest, the Alborz and Zagros mountain ranges, and the southeast, rarely affecting central Iran. Seasonal distribution of drought centers exhibits a consistent directional pattern along the northwest-southeast axis. In autumn and winter, these centers are primarily located in the southeast and central regions,

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

while in spring, increased precipitation variability leads to greater dispersion. Summer analyses are deemed less logical due to prevailing dryness and limited rainfall.

Over the 42-years, the annual drought central feature in Iran has shifted approximately 85 kilometers northeastward. A significant increase in the extent of moderate, severe, and very severe droughts has been observed. Decadal analysis reveals that in recent decades, particularly in the early 21st century, substantial drought coverage has occurred. Seasonal drought centers typically migrate from central regions toward northern areas. In autumn, the center has shifted about 147 kilometers eastward, with a substantial decrease in drought severity extent. Winter shows a southeastward shift of 286 kilometers, accompanied by a significant increase in drought severity extent. Spring exhibits a smaller southwestward shift (approximately 132 kilometers) with a slight increase in drought severity extent. Overall, the dispersion and movement patterns of drought centers in Iran are influenced by seasonal and monthly variations, predominantly shifting along the northwest-southeast axis. These changes may result from the country's diverse climatic and topographical factors.

Discussion

Drought in Iran exhibits variable patterns due to spatial and temporal precipitation changes. Studies indicate significant precipitation cycles in Iran, including 2–3 years, 3–5 years, 2–6 years, and occasionally over 11 years. From 2000 to 2009, the annual drought central feature shifted southeastward, with severe droughts affecting over 60% of the country's area. In the winter of this decade, the drought center moved to lower latitudes and the southeast. Spring also experienced an increase in drought-affected areas. November and April saw a reduction in drought extent and a northwestward shift of the center, while December and January experienced an increase in extent and a southeastward shift. These variations reflect the impacts of climate change on Iran's precipitation and drought patterns.

Conclusion

This study examined the spatial and temporal variations of droughts in Iran and the displacement of their central feature. Findings indicate that from 2000 to 2009, the annual drought center shifted southeastward, with severe droughts impacting over 60% of the country. In winter and spring, this shift moved toward lower latitudes and the southeast, accompanied by an increase in severe droughts. In autumn, the center initially moved to lower latitudes, then northwestward, indicating a reduction in drought extent for this season. Monthly analyses show the drought center shifting northwestward in November and April, and southeastward in December.

Keywords: Directional Distribution of Drought, Spatial Structure of Drought, Central Feature, Drought Path Tracking.

Author Contributions

All authors participated in data collection, preparation of the research report, and data analysis.

Data Availability Statement

Data is available upon request from the authors.

Acknowledgements

This article is an excerpt from the doctoral dissertation of the first author under the guidance of the second author. The esteemed reviewers are thanked for their structural and scientific comments.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]

[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

Ethical considerations

The authors has observed ethical principles in conducting and publishing this scientific research, and this is confirmed by them.

Funding

This article has no sponsor.

Conflict of interest

According to the author's declaration, this article has no conflict of interest.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]

[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

دانشگاه خوارزمی

تحلیل فضایی مخاطرات محیطی

شاپا الکترونیکی: ۵۱۴۶- ۲۵۸۸

Homepage: https://khu.ac.ir

تحلیلی بر پویایی رفتار فضایی خشکسالی در ایران

سوسن حیدری[۱] | مصطفی کریمی[۲]✉ | قاسم عزیزی[۳] | علی‌اکبر شمسی‌پور[۴]

۱. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: Heidari.s@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: Mostafakarimi.a@ut.ac.ir

۳. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: ghazizi@ut.ac.ir

۴. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: shamsipr@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۱۸

کلیدواژه‌ها:
توزیع جهت‌دار خشکسالی،
ساختار فضایی خشکسالی،
مرکز ثقل.
مسیریابی خشکسالی.

چکیده

هدف: خشکسالی یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی با الگوهای فضایی-زمانی پیچیده است. این پژوهش به تحلیل ویژگی‌های ساختاری و فضایی خشکسالی‌های ایران در سه مقیاس زمانی سالانه، فصلی و ماهانه پرداخته است.

روش پژوهش: شدت و گستره خشکسالی با استفاده از شاخص RAI و داده‌های بارش ماهانه ERA5 در بازه زمانی ۴۲ ساله (۱۹۷۹-۲۰۲۱) محاسبه شد. نخست، پراکنش فضایی و توزیع جهت‌دار مرکز ثقل خشکسالی بررسی و تغییرات فضایی آن طی سال‌ها تحلیل شد. همچنین، ارتباط میان موقعیت مرکز ثقل خشکسالی و گستره آن مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در دوره سرد، مرکز ثقل خشکسالی بیشتر در نواحی مرکزی ایران متمرکز است، در حالی‌که در دوره گرم، این مرکز به شمال‌غرب، سواحل دریای خزر و جنوب‌شرق ایران منتقل می‌شود. الگوی توزیع خشکسالی در تمامی مقیاس‌ها به‌طور غالب از شمال‌غرب به جنوب‌شرق بوده است. همچنین، جابجایی مرکز ثقل خشکسالی به سمت شمال‌شرق، شرق، جنوب‌شرق و جنوب، همزمان با افزایش گستره خشکسالی مشاهده شد، در حالی‌که جابجایی به سمت شمال، شمال‌غرب و غرب با کاهش گستره خشکسالی همراه بود.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که موقعیت مرکز ثقل خشکسالی ارتباط مستقیمی با تغییرات گستره خشکسالی دارد، هرچند که خشکسالی‌های ایران فاقد الگوی فضایی-زمانی منظم و قابل پیش‌بینی هستند.

استناد: حیدری، سوسن؛ کریمی، مصطفی؛ عزیزی، قاسم؛ و شمسی‌پور، علی اکبر؛ (۱۴۰۴). تحلیلی بر پویایی رفتار فضایی خشکسالی در ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱۲ (۴۶ و ۷۹۵)، ۸۹-۱۰۸. http//doi.org/10.61882/jsaeh.12.46.795.91

ناشر: دانشگاه خوارزمی

© نویسندگان

CC BY NC

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]

[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

مقدمه

خشکسالی یکی از پیچیده‌ترین و مهم‌ترین مخاطره اقلیمی است که به‌دلیل تأثیرات عمیق آن بر اکوسیستم‌ها و جوامع انسانی (کالیس[1]، ۲۰۰۸)، نیازمند تحلیل‌های دقیق و جامع است (ویلهایت و گلانتز[2]، ۱۹۸۵؛ میشرا[3] و همکاران، ۲۰۰۷). این پدیده، که به‌طور معمول به‌عنوان دوره‌ای طولانی از کم‌آبی و کاهش شدید منابع آبی تعریف می‌شود، می‌تواند به‌شدت بر اکوسیستم‌های طبیعی، کشاورزی، امنیت غذایی، و وضعیت اقتصادی جوامع تاثیر بگذارد (سازمان جهانی هواشناسی[4]، ۲۰۰۶). خشکسالی‌ها به‌طور کلی به چهار نوع هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی طبقه‌بندی می‌شوند که هرکدام از آن‌ها به‌صورت خاص به جنبه‌ای از کم‌آبی و بحران منابع آبی اشاره دارند (پاتل[5] و همکاران، ۲۰۰۷). این دسته‌بندی‌ها می‌توانند نگرش‌های متفاوتی برای تحلیل رویدادهای خشکسالی ارائه دهند و موجب بهبود درک ما از پیامدهای آن‌ها شوند (هائو[6] و همکاران، ۲۰۱۷).

از آنجا که رفتار خشکسالی در فضا و زمان به‌شدت متغیر است، بررسی رفتارهای مکانی و زمانی این مخاطره برای درک عوامل مؤثر بر رخداد، گسترش و شدت آن ضروری است. بسیاری از مطالعات پیشین بر تحلیل‌های ایستا تمرکز داشته‌اند، در حالی که پویایی‌های زمانی و فضایی خشکسالی به‌طور جامع بررسی نشده است (هررا–استرادا[7] و همکاران، ۲۰۱۷). در واقع، شکاف‌های قابل‌توجهی در تحلیل رفتارهای فضایی–زمانی خشکسالی وجود دارد. اگرچه شاخص‌های خشکسالی می‌توانند اطلاعات مفیدی درباره توزیع مکانی خشکسالی در یک نقطه خاص ارائه دهند، اما غالباً در بازتاب پویایی خشکسالی و مسیرهای فضایی آن با محدودیت‌هایی مواجه هستند (دیاز[8] و همکاران، ۲۰۱۹، هائو[9] و همکاران، ۲۰۱۷). تعدادی از تحقیقات به تحلیل‌های تکاملی و دینامیک خشکسالی پرداخته‌اند که اکثر تحلیل‌ها به‌صورت محدود و در برخی نواحی خاص مانند (دیاز[10] و همکاران، ۲۰۱۸، دیاز[11] و همکاران، ۲۰۱۹، هررا–استرادا[12] و همکاران، ۲۰۱۷، ژو[13] و همکاران، ۲۰۱۹) انجام شده‌اند. اگرچه این مطالعات دستاوردهای ارزشمندی داشته‌اند، اما درک عمیق‌تری از فرآیندها، سازوکارها و مسیرهای گسترش خشکسالی همچنان در مراحل ابتدایی باقی مانده و نیازمند پژوهش‌های گسترده‌تر برای درک بهتر فرآیندهای رخداد، گسترش، جایجایی‌ها و مسیرهای خشکسالی ضروری است.

در این راستا، مطالعه‌های موردی در کشورهایی با اقلیم‌های متنوع می‌تواند در درک بهتر پویایی خشکسالی مفید باشد. ایران، به‌دلیل تنوع اقلیمی و تفاوت‌های بارشی شدید در مناطق مختلف خود، یک نمونه ایده‌آل برای تحلیل رفتارهای فضایی خشکسالی فراهم می‌آورد. در کشور از مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب در شمال تا مناطق بیابانی و خشک در مرکز و جنوب گسترده شده است (فلاح قالهری[14] و همکاران، ۲۰۱۶). الگوهای بارشی در ایران به‌طور عمده از اکتبر تا آوریل رخ می‌دهند و در این دوره، بیشترین میزان بارش‌ها در ماه‌های دسامبر تا مارس است (علیزاده چوبری و نجفی[15]، ۲۰۱۸). همچنین، تفاوت‌های قابل‌توجهی در ضریب

---

1 - Kallis
2 - Wilhite & Glantz
3 - Mishra
4 - World Meteorological Organization
5 - Patel
6 - Hao
7 - Herrera-Estrada
8 - Diaz
9 - Hao
10 - Diaz
11 - Diaz
12 - Herrera-Estrada
13 - Zhou
14 - Fallah Ghalhari
15 - Alizadeh-Choobari & Najafi

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

تغییرات بارش در مناطق مختلف کشور وجود دارد که این عامل می‌تواند موجب تغییر شدت و دامنه خشکسالی‌ها در دوره‌های مختلف شود (قائدی و شجاعیان[۱]، ۲۰۲۰). این نوسانات بارشی، در کنار تغییرات جوی، می‌تواند موجب بروز خشکسالی‌های متوالی و شدیدی شود (طبری و ویلمز[۲]، ۲۰۱۶).

اگرچه بسیاری از مطالعات اخیر بر تحلیل ویژگی‌های خشکسالی مانند: مکانی (مانند خوشه‌بندی‌های خشکسالی و شدت آن‌ها (دریاباری، ۱۳۹۰؛ یزدانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ اربابی سبزواری و فرزانه، ۱۴۰۰؛ حیدری و همکاران، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۳؛ ترابی‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۲؛ حیدری و همکاران، ۱۴۰۳؛ کاظم‌زاده[۳] و همکاران، ۲۰۲۲) و زمانی (مانند فراوانی، شدت، مدت و تداوم) (سبحانی و صفریان زنگیر، ۱۳۹۹؛ نظری‌پور و همکاران، ۱۴۰۱؛ کریمی و حیدری، ۱۴۰۲؛ حسینی صدیق و جلالی، ۱۴۰۳؛ معصوم‌پور سماکوش و همکاران، ۱۴۰۳؛ مدرس[۴] و همکاران، ۲۰۱۶؛ عمادالدین[۵] و همکاران، ۲۰۱۹؛ غمغامی ایران نژاد[۶]، ۲۰۱۹؛ نوری و همایی[۷]، ۲۰۲۰) در ایران متمرکز شده‌اند. اما ابعاد پویای فضایی خشکسالی‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند، درحالی‌که این چنین پدیده‌هایی می‌توانند با تغییر در الگوهای جوی، مسیرهای فضایی خود را تغییر و مناطق مختلفی را در دوره‌های زمانی متفاوت تحت تأثیر قرار دهند. در این میان، مفهوم «مرکز ثقل خشکسالی» که برگرفته از مفهوم مرکز ثقل در فیزیک است، نقطه تمرکز میانگین وزنی گستره خشکسالی را در فضا و زمان نشان می‌دهد (ژو[۸]، ۲۰۲۴). این مفهوم ابزار مؤثری برای تحلیل جابه‌جایی فضایی الگوهای غالب خشکسالی است و امکان شناسایی روندهای بلندمدت تغییرات خشکسالی را فراهم می‌کند. تحلیل این جابه‌جایی می‌تواند درک عمیق‌تری از دینامیک خشکسالی‌ها ارائه دهد و پیش‌بینی روندهای آتی آن را بهبود بخشد.

با توجه به این که تمرکز مطالعات فضایی خشکسالی بیشتر بر پراکندگی فضایی و خوشه و الگوهای مکانی این مخاطره بوده، بررسی پویایی فضایی خشکسالی در مقیاس‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه می‌تواند مساله پژوهشی مناسبی با هدف شناسایی الگوهای جغرافیایی جابجایی فضایی رخدادهای خشکسالی و درک دقیق‌تر پویایی این جابجایی‌ها در دوره‌های زمانی مختلف باشد.

روش شناسی پژوهش

۱. قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش محدوده سرزمینی کشور ایران است.

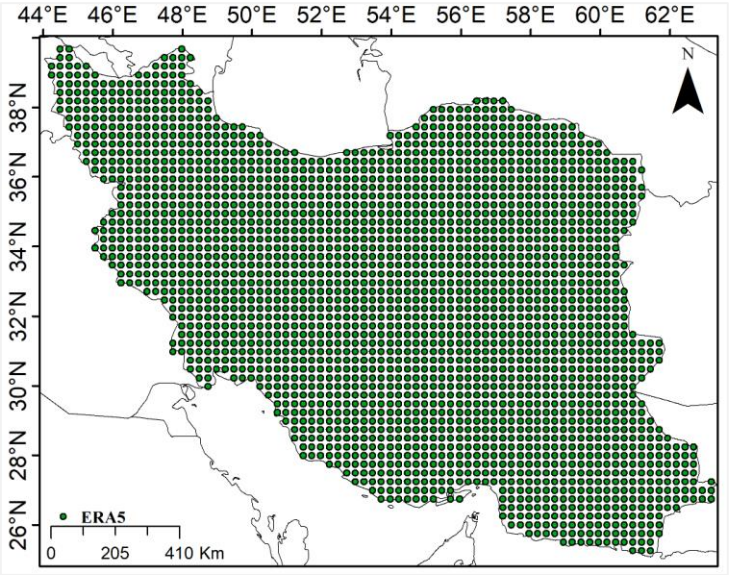
۲. داده‌ها و روش کار

داده‌های بارش مورد استفاده از مجموعه داده های بازتحلیل ERA5 از مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت وضع هوا (ECMWF) استخراج شده‌اند. این داده‌ها تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه قوسی و دوره زمانی ماهانه، بازه‌ای از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۲۱ را شامل می‌شوند. ارزیابی در پژوهش‌های معتبر، دقت این داده‌ها را برای اقلیم ایران تأیید کرده‌اند (نوری و همکاران، ۱۴۰۳؛ حیدری و همکاران، ۱۴۰۳؛ بهرامی و دارند، ۱۴۰۳؛ کمالی و ترابی‌آزاد، ۱۴۰۳؛ ملایری[۹] و همکاران، ۲۰۲۱؛ ایزدی[۱۰] و همکاران، ۲۰۲۱؛ قاجارنیا[۱۱] و همکاران، ۲۰۲۲). این داده‌ها در قالب فرمت NetCDF-4 از پایگاه رسمی ECMWF[۱۲] دریافت و با استفاده از نرم‌افزار

[1] - Ghaedi & Shojaian
[2] - Tabari & Willems
[3] - Kazemzadeh
[4] - Modarres
[5] - Emadodin
[6] - Ghamghami
[7] - Nouri & Homaee
[8] - Zhu
[9] - Malayeri
[10] - Izadi
[11] - Ghajarnia
[12] - https://www.ecmwf.int

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

MATLAB پردازش شدند. نتیجه این فرآیند، ایجاد یک پایگاه داده بارش ماهانه، فصلی و سالانه با پوشش زمانی ۴۲ ساله و شامل ۲۴۹۰ آرایه‌ی برای کل کشور ایران بود (شکل ۱).



شکل ۱. پراکنش شبکه داده‌های بارش ERA5 (۰/۲۵ درجه با فواصل حدود ۲۳ کیلومتر) بر روی ایران

۲-۱. شاخص خشکسالی

در این مطالعه، شاخص ناهنجاری بارش (RAI) به‌عنوان ابزار اصلی تحلیل خشکسالی به‌کار گرفته شد. این شاخص بر اساس روابط ۱ و ۲ (ون روی[1]، ۱۹۶۵) محاسبه گردید.

رابطه ۱

$$RAI = 3[\frac{p_i - \overline{p}}{\overline{m} - \overline{p}}$$

رابطه ۲

$$RAI = -3[\frac{p_i - \overline{p}}{\overline{x} - \overline{p}}\ ]$$

که در آن، p_i بارش مورد نظر، $\overline{p}$: میانگین بارش، $\overline{m}$: میانگین ده مورد از بیشترین مقادیر بارش رخ داده در دوره آماری، $\overline{x}$: میانگین ده مورد از کمترین مقادیر بارش رخ داده در دوره آماری است. شدت خشکسالی بر اساس مقادیر شاخص RAI در پنج طبقه از "عدم خشکسالی" تا "خشکسالی بسیار شدید" طبقه‌بندی شد (جدول ۱).

۲-۲. درصد گستره خشکسالی

گستره خشکسالی ماهانه طی دوره ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۱ محاسبه گردید. درصد مساحت تحت تأثیر خشکسالی با رابطه ۳ تعیین شد:

رابطه ۳

$$\text{PDA} = \frac{\sum_{i=1}^{n} g_n}{n} \times 100$$

که در آن: PDA درصد گستره خشکسالی، gn تعداد گره‌های تحت شرایط خشکسالی، n کل گره‌های واقع در محدوده‌ی ایران می باشد.

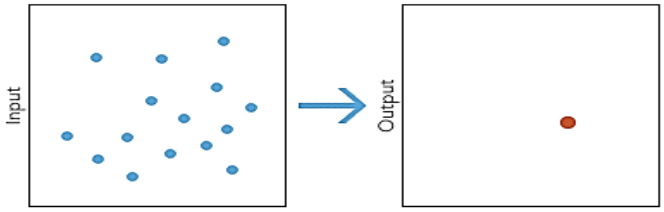
۲-۳. مدل جابجایی مرکز ثقل خشکسالی

مفهوم مرکز ثقل (Centroid) از علم فیزیک گرفته شده است و به نقطه توزیع میانگین جرم یک جسم اشاره دارد. این نقطه یک نقطه هندسی است که موقعیت تعادل کلی جسم را نشان می‌دهد. در مطالعات جغرافیا، مفهوم مرکز ثقل برای نشان دادن نقطه

[1] - Van Rooy

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

تمرکز یک پدیده جغرافیایی در فضا به کار می‌رود. با استفاده از میانگین وزنی، موقعیت مرکز ثقل بر اساس توزیع یک پدیده جغرافیایی در فضا تعیین می‌شود (ژو[1] و همکاران، ۲۰۲۴). مدل‌های رایج مرکز ثقل شامل مرکز ثقل اقتصادی، مرکز ثقل جمعیتی، مرکز ثقل تولید غلات، مرکز ثقل کاربری اراضی (وانگ[2] و همکاران، ۲۰۱۰؛ لو[3] و همکاران، ۲۰۱۹) و غیره هستند. مدل جابجایی مرکز ثقل برای توصیف موقعیت فضایی و تغییرات مرکز ثقل در فرآیند رخداد و گسترش خشکسالی، پس از تعیین مرکز ثقل خشکسالی در منطقه مطالعه، به کار می‌رود (شکل ۲).



شکل ۲. طرحواره محاسبه مرکز ثقل (اسناد ArcGis[4]، ۲۰۲۵)

برای محاسبه مرکز ثقل خشکسالی (وانگ[5] و همکاران، ۲۰۱۰; لو[6] و همکاران، ۲۰۱۹)، از مفهوم گرانیگاه استفاده می‌شود. روابط زیر (۴ و ۵) برای تعیین مختصات طولی و عرضی مرکز ثقل خشکسالی (x_c, y_c) به کار رفتند.

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} wi}$$ رابطه ۴

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} wi}$$ رابطه ۵

۲-۴. جهت توزیع جغرافیایی خشکسالی

با استفاده از ابزار «توزیع جهت‌دار» در نرم‌افزار ArcGIS، جهت‌گیری توزیع مکانی مرکز ثقل خشکسالی‌ها برای همه مقیاس‌های زمانی (سالانه، فصلی و ماهانه) بررسی شد. این ابزار امکان تحلیل الگوهای جغرافیایی و شناسایی پراکندگی جهت‌دار (فلاح‌قالهری و کدخدا، ۱۳۹۶) خشکسالی را فراهم کرد.

۲-۵. تحلیل روند زمانی مرکز ثقل خشکسالی

برای بررسی تغییرات زمانی مرکز ثقل، از رگرسیون خطی ساده بهره گرفته شد. این روش، رابطه میان زمان (به‌عنوان متغیر مستقل) و مختصات مرکز ثقل خشکسالی (به‌عنوان متغیر وابسته) را تحلیل می‌کند. معادله رگرسیون خطی در رابطه ۶ (گالتون[7]، ۱۸۸۶) تعریف شد:

$$Y_t = a_0 + a_1{}^t$$ رابطه ۶

این روند در دو بازه زمانی کوتاه‌مدت (دهه‌ای) و بلندمدت (۲۰۲۱-۱۹۷۹) ۴۲ ساله مورد ارزیابی قرار گرفت تا تفاوت‌های زمانی در مقیاس‌های مختلف تحلیل شود. استفاده از روند دهه‌ای در کنار روند بلندمدت ۴۲ ساله به منظور تحلیل دقیق‌تر تغییرات در

[1] - Zhu
[2] - Wang
[3] - Luo
[4] - Documents of ArcGis
[5] - Wang
[6] - Luo
[7] - Galton

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

دوره‌های کوتاه‌تر صورت گرفته است تا نوسانات و الگوهای میان‌مدت که ممکن است در روند کلی نمایان نباشند، بهتر شناسایی شوند.

۲-۶. روند تغییرات مساحت شدت‌های خشکسالی

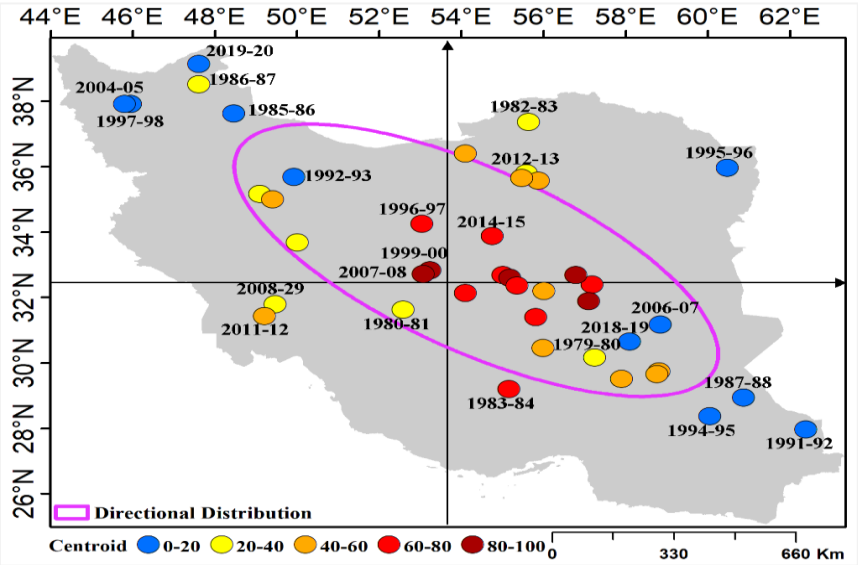
با استفاده از آزمون من-کندال اصلاح شده (مان[1]، ۱۹۴۵؛ کندال[2]، ۱۹۷۵) روند تغییرات مساحت شدت‌های خشکسالی مورد بررسی قرار گرفت. هدف این آزمون، بررسی آماری وجود روند افزایشی یا کاهشی در متغیر مورد مطالعه در طول زمان است. یک روند افزایشی (یا کاهشی) به معنای این است که متغیر به طور مداوم در طول زمان افزایش (یا کاهش) می‌یابد (تک، تی[3]، ۲۰۱۱). لازم به ذکر است که در این پژوهش از آزمون من‌کندال اصلاح شده استفاده شده است. جزئیات این آزمون، که در بسیاری از مطالعات روندیابی آورده شده است و در این پژوهش به آن پرداخته نشده است (ماهاجان و دودامنی[4]، ۲۰۱۵؛ لین[5] و همکاران، ۲۰۲۰؛ مالیک[6] مالیک[6] و همکاران، ۲۰۲۱). اینگونه است که ارزش Z صفر به معنای عدم وجود روند، ارزش Z مثبت به معنای روند افزایشی و ارزش Z منفی به معنای روند کاهشی را نشان می‌دهد. مقادیر بحرانی مطلق Z برای سطوح معناداری ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ به ترتیب ۲/۵۷۶، ۱/۹۶ و ۱/۶۴ است که وضعیت معناداری روندها را بیان می‌کند.

یافته‌های پژوهش

نقاط ثقل خشکسالی سالانه بدون در نظر گرفتن گسترهِ آنها اما تا حدود زیادی در کشور پراکنده شده‌اند. اما تمرکز آنها در نیمه جنوبی و شرقی بیشتر است و توزیع جهت‌دار، بیضی شمال‌غربی-جنوب‌شرقی را نشان داده که می‌توان گفت خشکسالی‌های سالانه ایران علاوه‌بر مرکز در دو سمت شمال‌غرب و جنوب‌شرق رخداد بیشتری دارند یا به این مفهوم که مرکز ثقل خشکسالی‌ها در جهت شمال‌غرب-جنوب‌شرقی توزیع یافته‌اند. با درنظر گرفتن وسعت خشکسالی‌های سالانه و این‌که اگر خشکسالی کاملا فراگیر باشد و تقریباً کل کشور را در بر گرفته باشد (۰۰-۱۹۹۹ و ۰۸-۲۰۰۷)، مرکز ثقل آن در مرکز کشور و نزدیک مرکز ثقل جغرافیایی می‌باشد. همانطور که در شکل ۳ مشخص است در خشکسالی‌های فراگیر (گستره بیش از ۸۰ درصد) سالانه (۶ سال) مراکز ثقل در مرکز ایران مجتمع شده‌اند. خشکسالی‌های تقریبا فراگیر (با گستره ۶۰ تا ۸۰ درصد) گرچه در محدوده مرکز ایران دیده می‌شوند ولی جابجایی آنها در سال‌هایی به سمت شرق و جنوب مؤید تمایل بیشتر رخداد این خشکسالی‌ها در نیمه شرقی و جنوبی کشور است. در مقابل تمایل رخداد خشکسالی‌های منطقه‌ای و کم وسعت سالانه بیشتر در شمال‌غرب، دامنه‌های البرز و زاگرس و جنوب‌شرق کشور بوده است و رخداد خشکسالی‌های منطقه‌ای به ندرت در مرکز ایران اتفاق افتاده است.

[1] - Mann
[2] - Kendall
[3] - Tech, T
[4] - Mahajan & Dodamani
[5] - Lin
[6] - Mallick

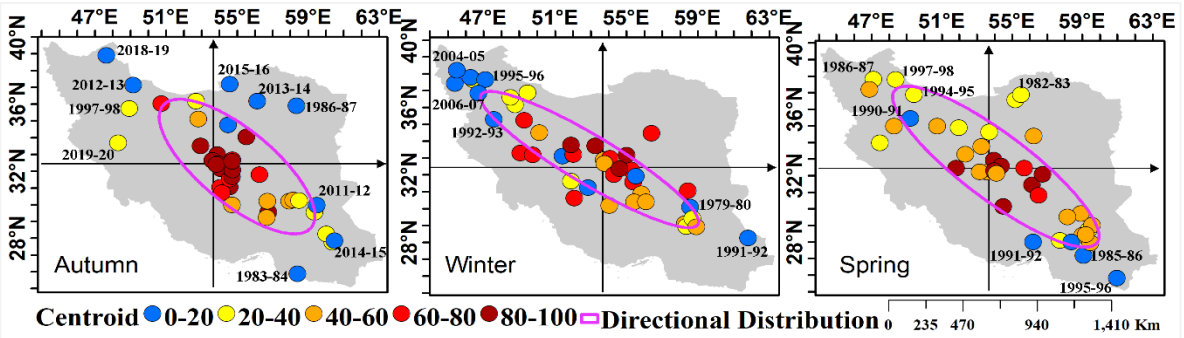
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]



شکل ۳. مراکز ثقل (دوایر رنگی برحسب درصد گستره خشکسالی) و توزیع جهت‌دار خشکسالی‌های سالانه ایران (۱۹۷۹-۲۰۲۱)

مطالعه حاضر نشان می‌دهد که توزیع مراکز ثقل خشکسالی فصلی در ایران از یک الگوی جهت‌دار و منظم پیروی می‌کند که عمدتاً در امتداد محور شمال‌غربی–جنوب‌شرقی قرار دارد (شکل ۴). این الگو احتمالاً بازتابی از تأثیر توأمان سامانه‌های جوی غالب، از جمله موقعیت استقرار محور ناوه‌ها و پشته‌ها مدیترانه‌ای، پرفشار جنب‌حاره‌ای و موقعیت و امتداد بادهای غربی و ویژگی‌های جغرافیایی و توپوگرافی کشور مانند جهت‌گیری رشته‌کوه‌ها و اختلاف ارتفاع نواحی مختلف است. در واقع، موقعیت و جهت‌گیری این مؤلفه‌ها، با هدایت سامانه‌های بارشی و یا سد کردن آن‌ها، نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری الگوهای مکانی خشکسالی‌ها ایفا می‌کنند.

الگوی توزیع مراکز ثقل خشکسالی در فصل پاییز و زمستان به طور عمده در مناطق جنوب‌شرقی و مرکز کشور متمرکز است، در حالی که در بهار، با افزایش تنوع الگوهای بارشی، تمرکز ثقل خشکسالی کاهش می‌یابد و پراکندگی آن بیشتر مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از تنوع مکانی و زمانی بارش‌ها در این فصل باشد. با درنظر گرفتن گستره خشکسالی‌های فصلی و این‌که اگر خشکسالی کاملا فراگیر باشد و تقریباً کل کشور را در بر گرفته باشد (به عنوان نمونه در هر سه فصل در سال ۰۰–۱۹۹۹)، مرکز ثقل آن در مرکز کشور و نزدیک مرکز ثقل جغرافیایی می‌باشد. در خشکسالی‌ها فراگیر (گستره بیش از ۸۰ درصد) فصلی (به ترتیب در پاییز۱۲ ، زمستان ۵ سال و بهار ۸ سال مراکز ثقل در مرکز ایران مجتمع شده‌اند. در مقابل تمایل رخداد خشکسالی‌های منطقه‌ای و کم وسعت فصلی بیشتر در شمال‌غرب، شمال‌شرق و جنوب‌شرق کشور بوده است و رخداد خشکسالی‌های منطقه‌ای به ندرت در مرکز ایران اتفاق افتاده است. شایان ذکر می‌باشد که در فصل تابستان که دوره خشک غالب مساحت کشور می‌باشد و بارش‌ها محدود به مناطق خاص بوده و در دیگر مناطق اتفاقی می‌باشد، صحبت از خشکسالی شاید منطقی نباشد. بنابراین در تحلیل‌ها فصل تابستان و همچنین ماه‌های این فصل آورده نشده است.

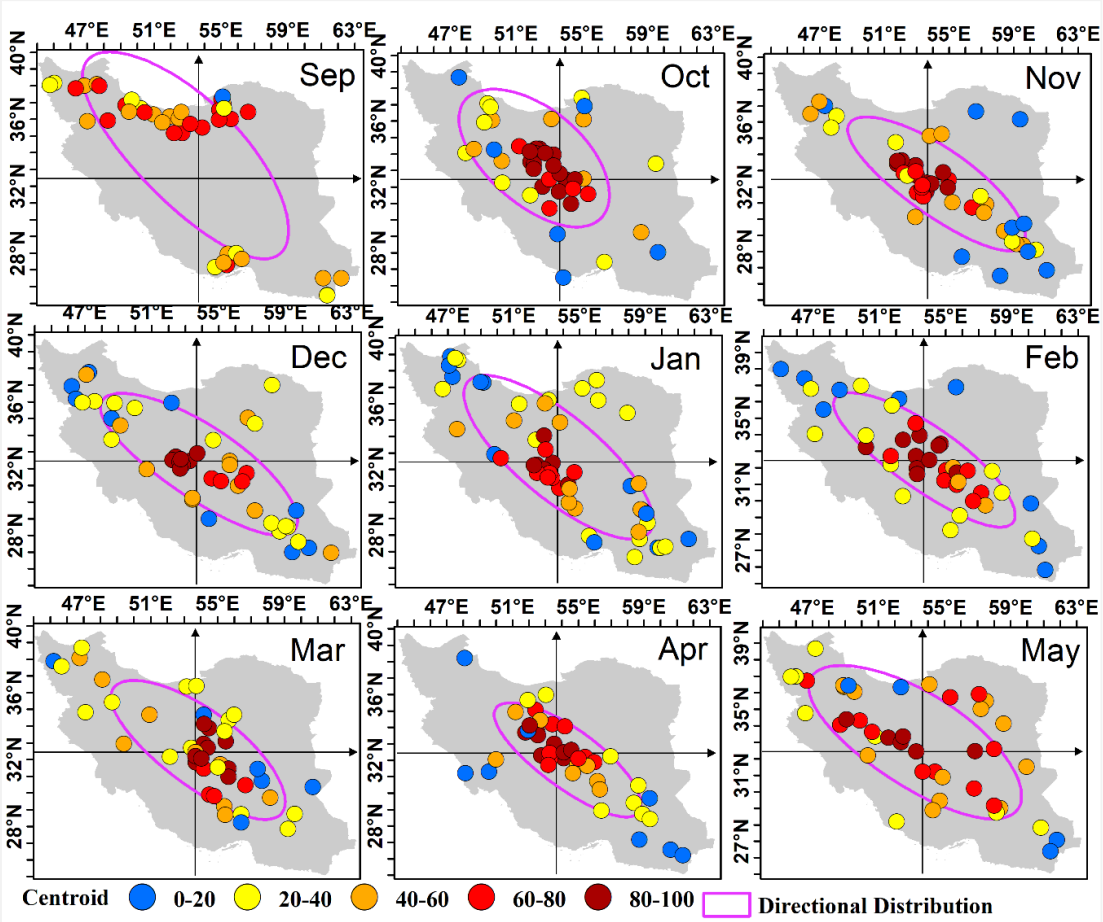


شکل ۴. مراکز ثقل (دوایر رنگی برحسب درصد گستره خشکسالی) و توزیع جهت‌دار خشکسالی‌های فصلی ایران (۱۹۷۹-۲۰۲۱)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

شباهت‌های اصلی در الگوی کلی خشکسالی و توزیع جهت‌دار آن در همه ماه‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۵). در هر دوره، توزیع جهت‌دار خشکسالی به سمت شمال‌غرب و جنوب شرق است، این واقعیت نشان‌دهنده جابجایی فراوان این مراکز در این محور است. موقعیت مکانی ثقل خشکسالی ماهانه (بدون در نظر گرفتن گستره خشکسالی) در هر ماه پراکندگی مکانی قابل توجهی دارند. نتایج حاکی از آن است که بیشترین پراکندگی مکانی در ماه می مشاهده می‌شود، در حالی که کمترین آن در ماه آوریل ثبت شده است. در ماه‌های اکتبر تا می، ثقل خشکسالی با درصد مساحت بالای ۶۰ درصد در مرکز کشور قرار دارد و در مقابل، درصد گستره‌های کمتر در حاشیه کشور واقع شده‌اند. به‌ویژه در ماه‌های زمستانی، مانند دسامبر، ژانویه و فوریه، مراکز ثقل خشکسالی به طور عمده در نواحی مرکزی و شرقی کشور تمرکز یافته‌اند .

الگوهای پراکندگی و جابجایی نقاط ثقل خشکسالی در ایران به طور قابل توجهی تحت تاثیر تغییرات فصلی و ماهانه هستند. این الگوها به طور کلی به سمت محور شمال‌غرب به جنوب‌شرق جابجا می‌شوند، که این می‌تواند ناشی از تغییرات اقلیمی و توپوگرافی متنوع کشور باشد.

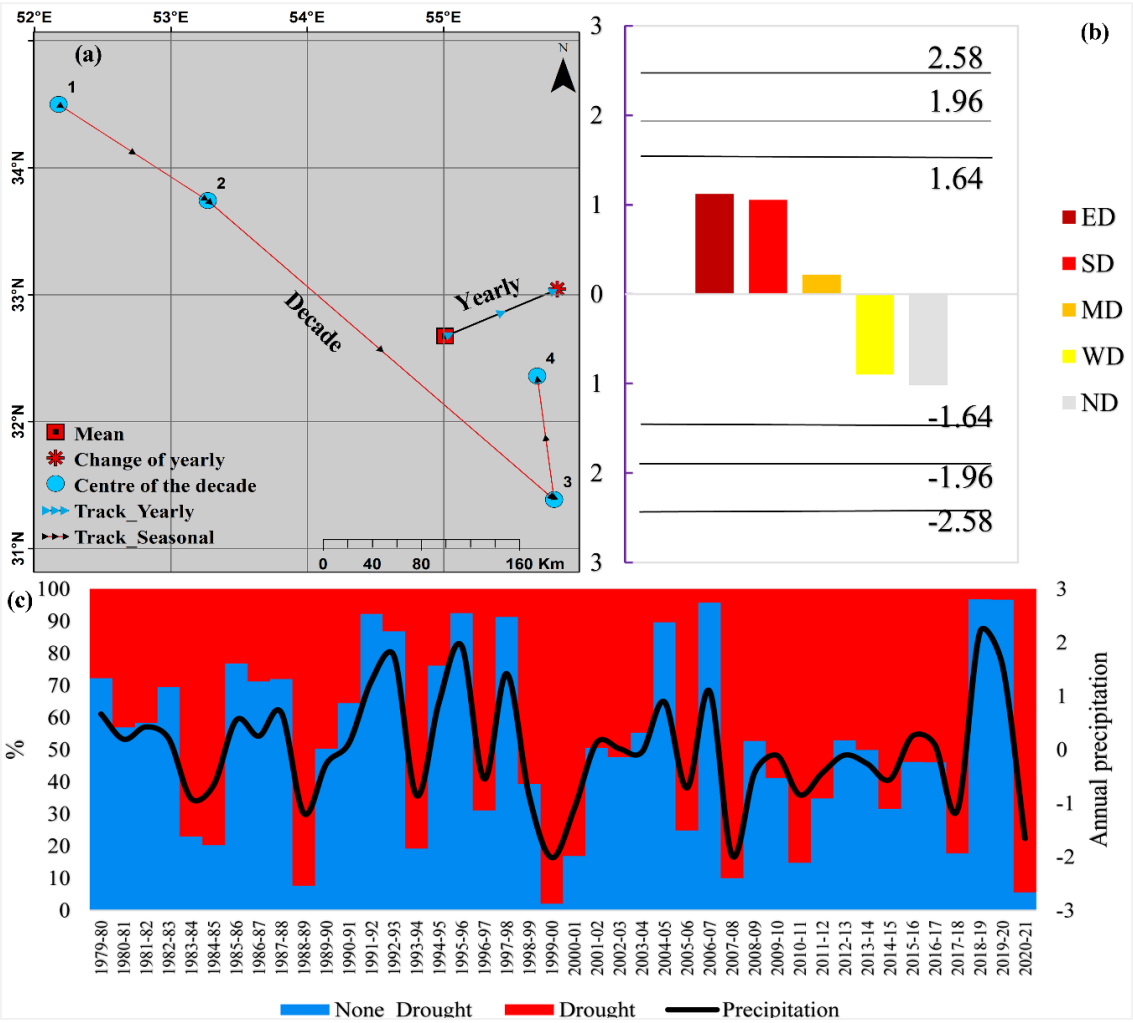


شکل ۵. مراکز ثقل (دوایر رنگی برحسب درصد گستره خشکسالی) و توزیع جهت‌دار خشکسالی‌های ماهانه ایران (۱۹۷۹-۲۰۲۱)

در طول دوره ۴۲ ساله، تحلیل نمودار نشان می‌دهد که نقطه ثقل خشکسالی سالانه ایران حدود ۸۵ کیلومتر به سمت شمال‌شرق جابه‌جا شده است (شکل ۶ (a)). در عین حال، روند گسترش شدت‌های خشکسالی نشان می‌دهد که افزایش معنی‌داری در گسترش خشکسالی‌های متوسط، شدید و بسیار شدید اتفاق افتاده است، با این حال، این افزایش معنادار نیست (شکل ۶ (b)). برای بررسی تغییرات در طول دهه‌ها، داده‌ها به چهار دهه تقسیم شده‌اند (دهه اول ۱۹۸۰-۱۹۷۹ تا ۱۹۹۰-۱۹۸۹، دهه دوم ۱۹۹۱-۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰-۱۹۹۹، دهه سوم ۲۰۰۱-۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰-۲۰۰۹ و دهه چهارم ۲۰۱۱-۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱-۲۰۲۰).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

تحلیل درصد گستره خشکسالی ایران (شکل ۶ (c)) نشان می‌دهد که در دهه اول (دهه ۱۹۸۰)، خشکسالی تنها در سه سال رخ داده است، به عبارت دیگر، خشکسالی محسوسی در سایر سال‌ها مشاهده نشد. مکان ثقل خشکسالی در این دهه حدوداً در مختصات ۴۹/۳۴ درجه شمالی و ۱۷/۵۲ درجه شرقی بوده است. در دهه بعد (دهه ۱۹۹۰)، کاهشی در گستره خشکسالی دیده می‌شود، اما چند سال خشکسالی فراگیر در کشور رخ داده است، به عنوان مثال، در سال‌های ۹۴-۱۹۹۳، ۹۷-۱۹۹۶ و ۲۰۰۰-۱۹۹۹. این می‌تواند دلیلی برای جابجایی نقطه ثقل خشکسالی در این دهه باشد، که به طور متوسط ۱۲۸ کیلومتر به سمت جنوب‌شرق جابه‌جا شده است. با این حال، در دهه سوم، برخلاف دو دهه اول، گستره خشکسالی بیشتری رخ داده است. سه خشکسالی فراگیر در سال‌های ۰۱-۲۰۰۰، ۰۶-۲۰۰۵ و ۲۰۰۸-۲۰۰۷ دیده شده که باعث جابجایی نقطه ثقل خشکسالی نسبت به دهه قبل شده است، به طور متوسط ۳۴۴ کیلومتر به سمت جنوب‌شرق. در دهه چهارم، شرایط بسیار متفاوتی دیده می‌شود، به جز دو سال (۱۹-۲۰۱۸ و ۲۰-۲۰۱۹)، سایر سال‌ها خشکسالی پراکنده و گسترده در کشور رخ داده است. این دو سال باعث جابجایی نقطه ثقل خشکسالی نسبت به دهه سوم شده‌اند، به طور متوسط ۱۰۵ کیلومتر به سمت شمال‌غرب. بنابراین، در طول دهه‌ها، به ویژه در اوایل قرن بیست و یکم، گستره قابل‌توجهی از خشکسالی دیده شده است (شکل ۶ (a)).



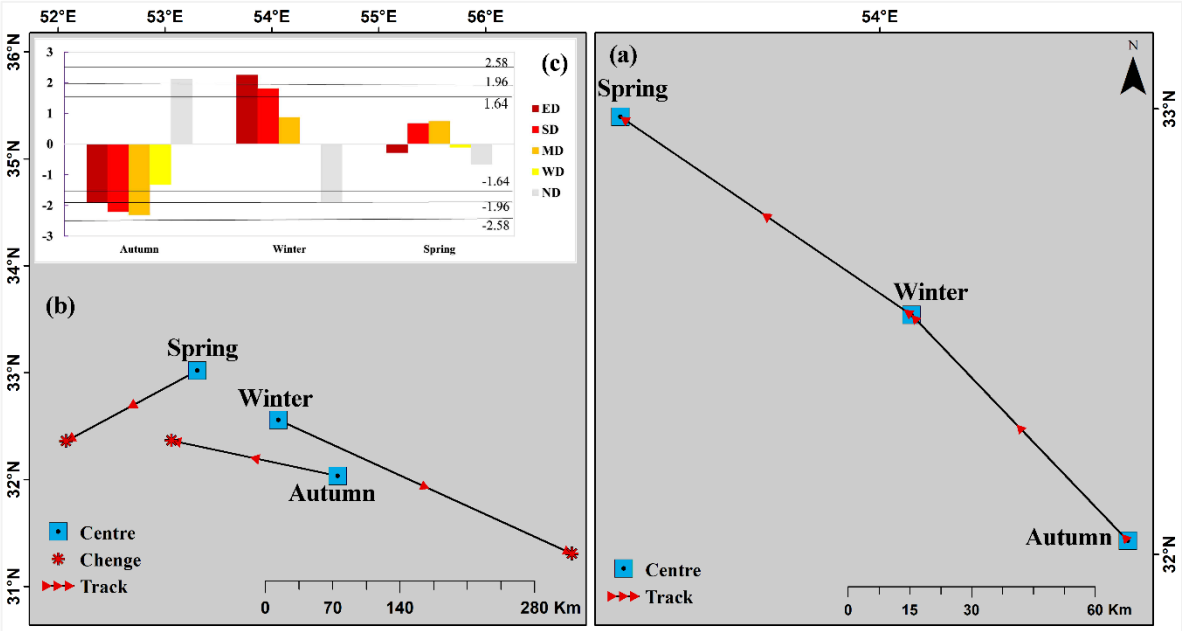
شکل ۶. (a) موقعیت مکانی میانگین سالانه و دهه‌ی مرکز ثقل خشکسالی ایران براساس شاخص RAI به همراه روند تغییرات سری زمانی این مراکز (b) روند تغییرات گستره شدت‌های خشکسالی ایران و (c) سری زمانی تغییرات درصد مساحت گستره خشکسالی در طی بازه ۴۲ ساله (۱۹۷۹-۲۰۲۱)، محور راست آنومالی بارش و محور چپ درصد گستره خشکسالی

ثقل خشکسالی فصلی به طور معمول یک مسیر مشخص از مرکز کشور به نواحی شمالی کشور دنبال می‌کند (شکل ۷ (a)). این مسیر، از فصل پاییز تا بهار به ترتیب عبور می‌کند، که باعث می‌شود ثقل خشکسالی در این مسیر با تغییر فصلی متفاوت شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

بنابراین، این مسیر از مرکز کشور به نواحی شمالی کشور، با تغییر فصلی طی می‌شود و می‌تواند الگوی ثقل خشکسالی در این مناطق را توضیح دهد.

تحلیل روند تغییرات در طول ۴۲ سال نشان می‌دهد که الگوی جابجایی ثقل خشکسالی در فصل‌های مختلف از اهمیت برخوردار است. در این تحلیل، شواهد نشان می‌دهد که در فصل پاییز، ثقل خشکسالی حدود ۱۴۷ کیلومتر به سمت شرق جابه‌جا شده است (شکل ۷ (b)). در عین حال، روند گستره شدت خشکسالی‌ها در این فصل کاهش معناداری داشته است. این نشان می‌دهد که در فصل پاییز، بیشترین تغییرات مرتبط با جابجایی مکانی ثقل خشکسالی بوده است. در فصل زمستان نیز، یک جابه‌جایی به سمت جنوب‌شرق با ۲۸۶/۴۴ کیلومتر رخ داده است، در حالی که روند گستره شدت خشکسالی در این فصل افزایش معناداری داشته است. این نشان می‌دهد که در فصل زمستان، همچنان ثقل خشکسالی به سمت مناطقی با بارش کمتر جابجا می‌شود، همان‌طور که روند درصد مساحت خشکسالی نیز در این فصل افزایش شدت خشکسالی‌ها را نشان می‌دهد. در فصل بهار، جابه‌جایی کمتری به سمت جنوب‌غرب اتفاق افتاده است که حدود ۱۳۲/۸ کیلومتر بوده است، در حالی که روند گستره شدت خشکسالی در این فصل اندکی افزایش یافته است. این نشان می‌دهد که در فصل بهار، تغییرات مکانی ثقل خشکسالی کمتر بوده، در عین حال در این فصل درصد مساحت شدت خشکسالی‌های هر چند افزایشی بوده ولی معنادار نبوده است (شکل ۷ (c)).

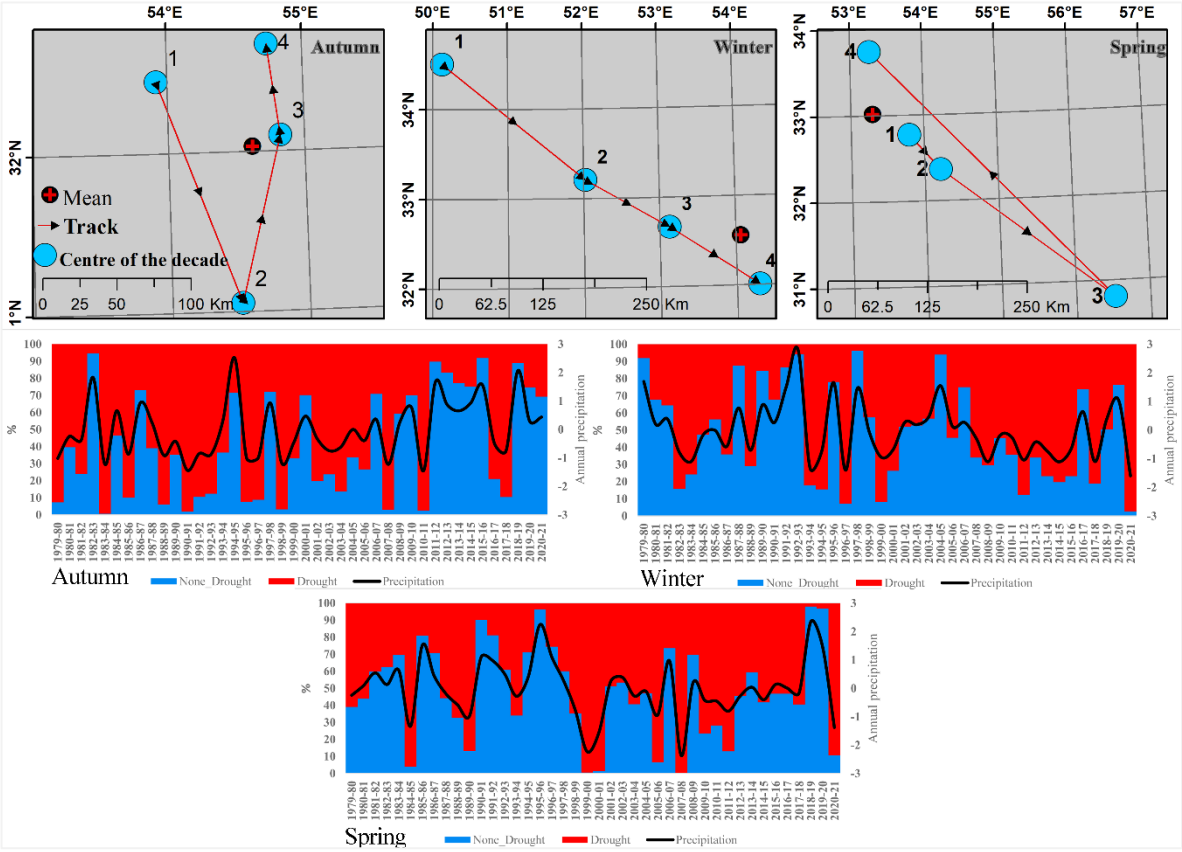


شکل ۷. (a) موقعیت مکانی میانگین فصلی مرکز ثقل خشکسالی ایران براساس شاخص RAI و مسیر آن (b) به همراه روند تغییرات سری زمانی این مراکز در هر فصل و (c) گستره شدت‌های خشکسالی در طی بازه ۴۲ ساله (۱۹۷۹-۲۰۲۱)

با تحلیل دقیق نمودارها و داده‌های ارائه شده در شکل ۸، مشاهده می‌شود که در طول چهار دهه گذشته، الگوهای خشکسالی در ایران تحولات قابل توجهی را تجربه کرده‌اند. این تحولات شامل جابجایی مراکز ثقل خشکسالی به سمت مناطق با عرض جغرافیایی پایین‌تر و جنوب‌شرقی، افزایش چشم‌گیری در گستره و شدت خشکسالی‌ها در برخی از فصول، و افزایش مساحتی که تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرد، هستند. در فصل پاییز، مشاهده می‌شود که مرکز ثقل خشکسالی به مکان‌های پایین‌ترین موقعیت مکانی خود در دهه دوم (۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰) انتقال یافته است. این انتقال همراه با افزایش چشم‌گیری در مساحتی که تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرد، نشان می‌دهد که در این دهه، خشکسالی‌ها به طور قابل توجهی گسترده‌تر و شدیدتر شده‌اند. در فصل زمستان، مشاهده می‌شود که مراکز خشکسالی به سمت عرض‌های پایین‌تر و جنوب‌شرقی جابجا شده‌اند. همچنین، افزایش چشم‌گیر در مساحتی که تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرد، در طول دهه آخر دیده می‌شود، که این نشان می‌دهد که در آخرین دهه، خشکسالی‌های زمستانی در ایران به طور قابل توجهی گسترده‌تر شده‌اند. در فصل بهار، مرکز ثقل خشکسالی در دهه سوم

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

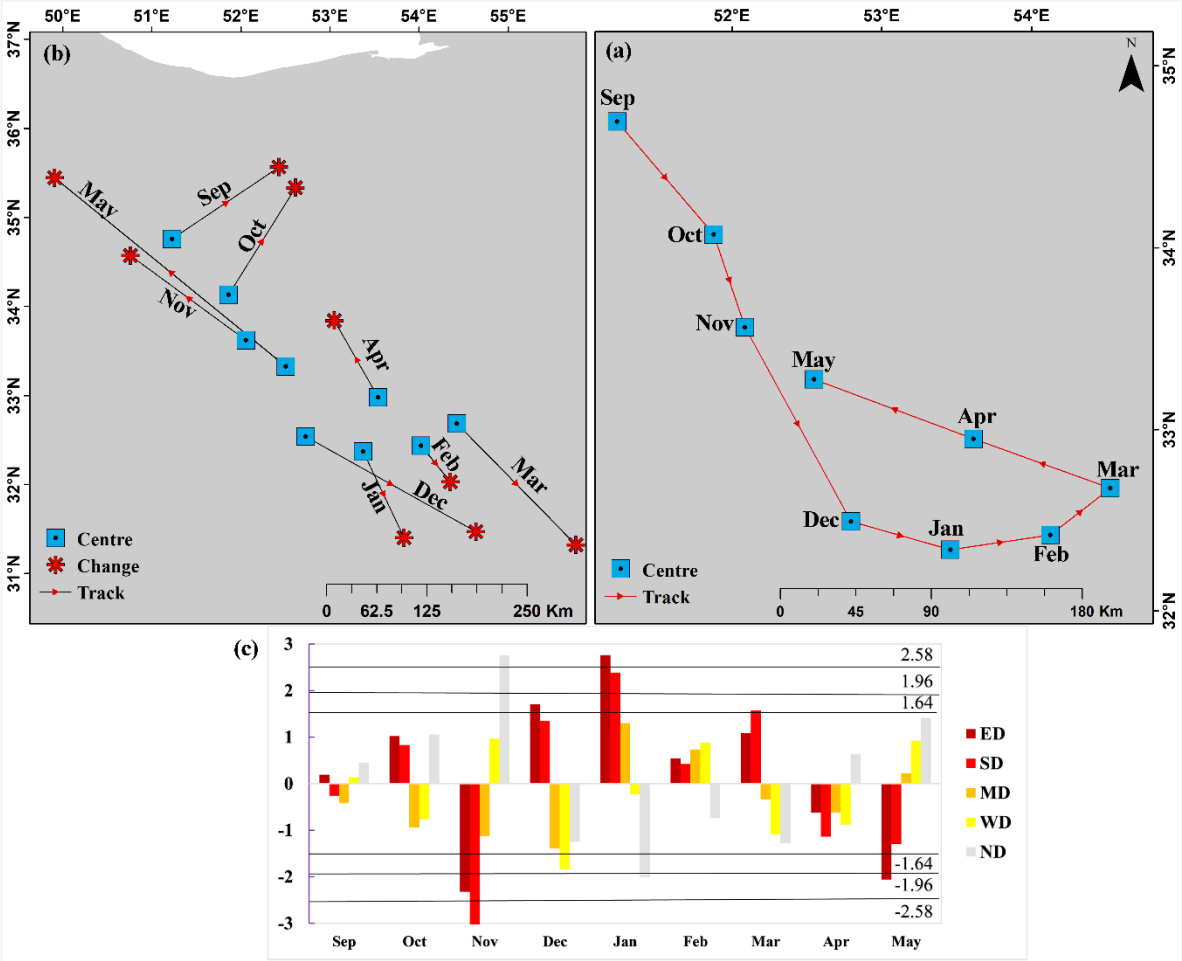
(۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰) به مکان‌های پایین‌ترین موقعیت مکانی خود انتقال یافته است. این انتقال همراه با افزایش چشم‌گیری در مساحتی که تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرد، نشان می‌دهد که در این دوره، خشکسالی‌های بهاری نیز به طور چشم‌گیری کاهشی شده‌اند.



شکل ۸. موقعیت مکانی میانگین دهه‌ی مرکز ثقل خشکسالی ایران براساس شاخص RAI (شمارش معرف هر دهه است)، همراه با سری زمانی تغییرات درصد مساحت گستره خشکسالی در طی بازه ۴۲ ساله (۱۹۷۹-۲۰۲۱)، محور راست آنومالی بارش و محور چپ درصد گستره خشکسالی

شکل ۹ (a) نمایانگر تغییرات متوسط مرکز ثقل خشکسالی ماهانه است. در طول فصل سرد، این مرکز ثقل به سمت عرض‌های پایین‌تر و جنوب‌شرقی حرکت می‌کند، در حالی که در فصل گرم، به سمت عرضهای بالاتر جابه‌جا می‌شودد. شکل ۹ (b) نشان می‌دهد که چگونگی روند تغییرات مرکز ثقل خشکسالی در طول زمان است، از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۱. ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس و اوت به سمت جنوب‌شرق و ماه‌های نوامبر، آوریل، مه، ژوئن و ژوئیه به سمت شمال‌غرب و ماه‌های سپتامبر و اکتبر به سمت شمال‌شرق جابجا می‌شوند. در عین حال، (شکل ۹ (c)) نشان می‌دهد که چگونه درصد مساحت‌های متأثر از شدت‌های خشکسالی تغییر می‌کند. در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس، این تغییرات به صورت افزایشی است، در حالی که در ماه‌های نوامبر، آوریل، مه، ژوئن و ژوئیه، کاهشی رخ می‌دهد. اینجاکه در انتهای ماه‌های سپتامبر و اکتبر، هم کاهشی و هم افزایشی اتفاق می‌افتد. ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه، مارس، مه و ژوئن خصوصیت‌های معنی‌داری از این روندها را نشان می‌دهند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

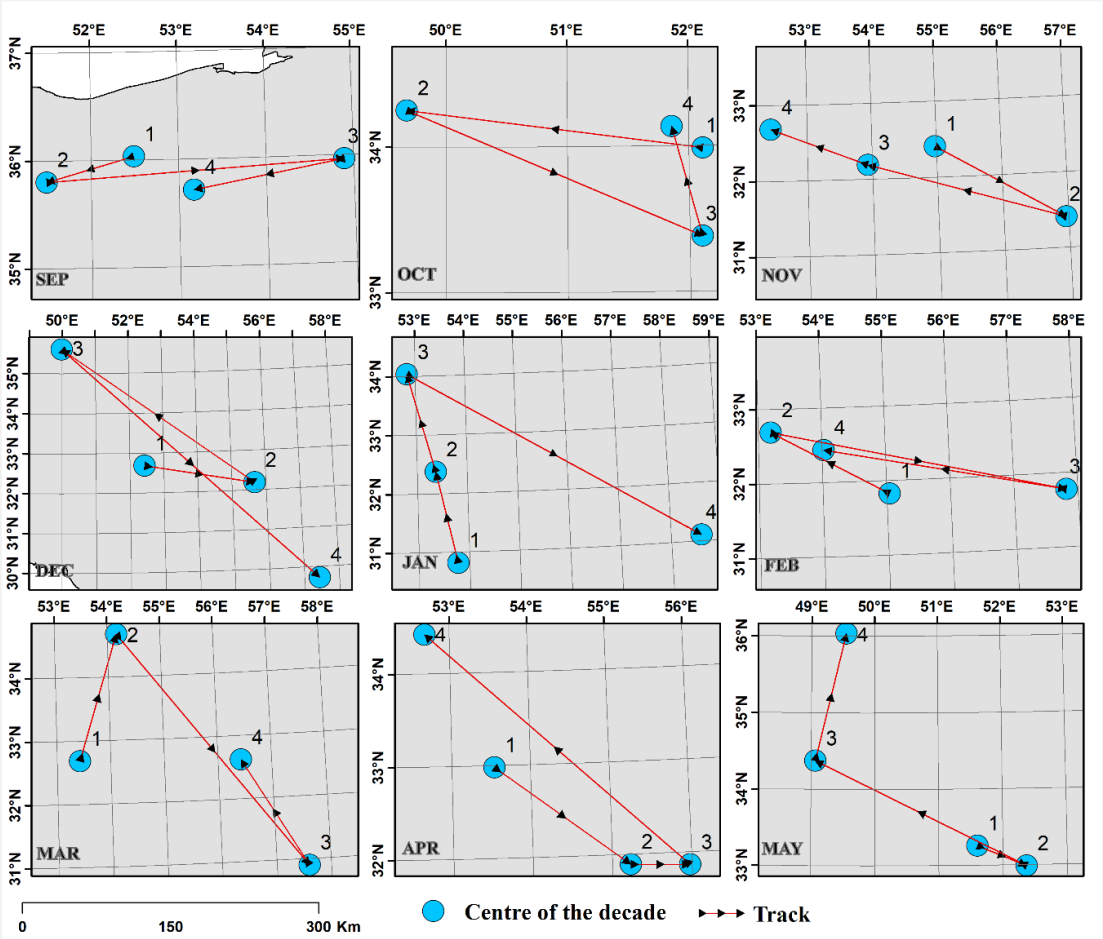


شکل ۹. (a) موقعیت مکانی میانگین ماهانه مرکز ثقل خشکسالی ایران براساس شاخص RAI و مسیر آن (b) به همراه روند تغییرات سری زمانی این مراکز و (c) گستره شدت‌های خشکسالی در طی بازه ۴۲ ساله (۱۹۷۹-۲۰۲۱)

بررسی جابجایی مرکز ثقل خشکسالی‌ها در ایران نشان می‌دهد که در ماه‌های سپتامبر تا مارس، بیشترین تغییرات در دهه سوم (۲۰۰۰-۲۰۰۹) به سمت شرق و جنوب‌شرق بوده است. در مقابل، در ماه‌های آوریل و می، بیشترین جابجایی مرکز ثقل خشکسالی‌ها به سمت شمال‌غرب و شمال‌شرق مشاهده شده است. این الگوها به ویژه در دهه‌های دوم (۱۹۹۰-۱۹۹۹) و سوم (۲۰۰۰-۲۰۰۹) برجسته بوده است. در ماه‌های دسامبر و ژانویه، جابجایی مرکز ثقل خشکسالی‌ها بیشتر تغییرات و جابجایی به سمت جنوب‌شرق بوده است، به خصوص در دهه چهارم (۲۰۱۰-۲۰۲۰) (شکل ۱۰).

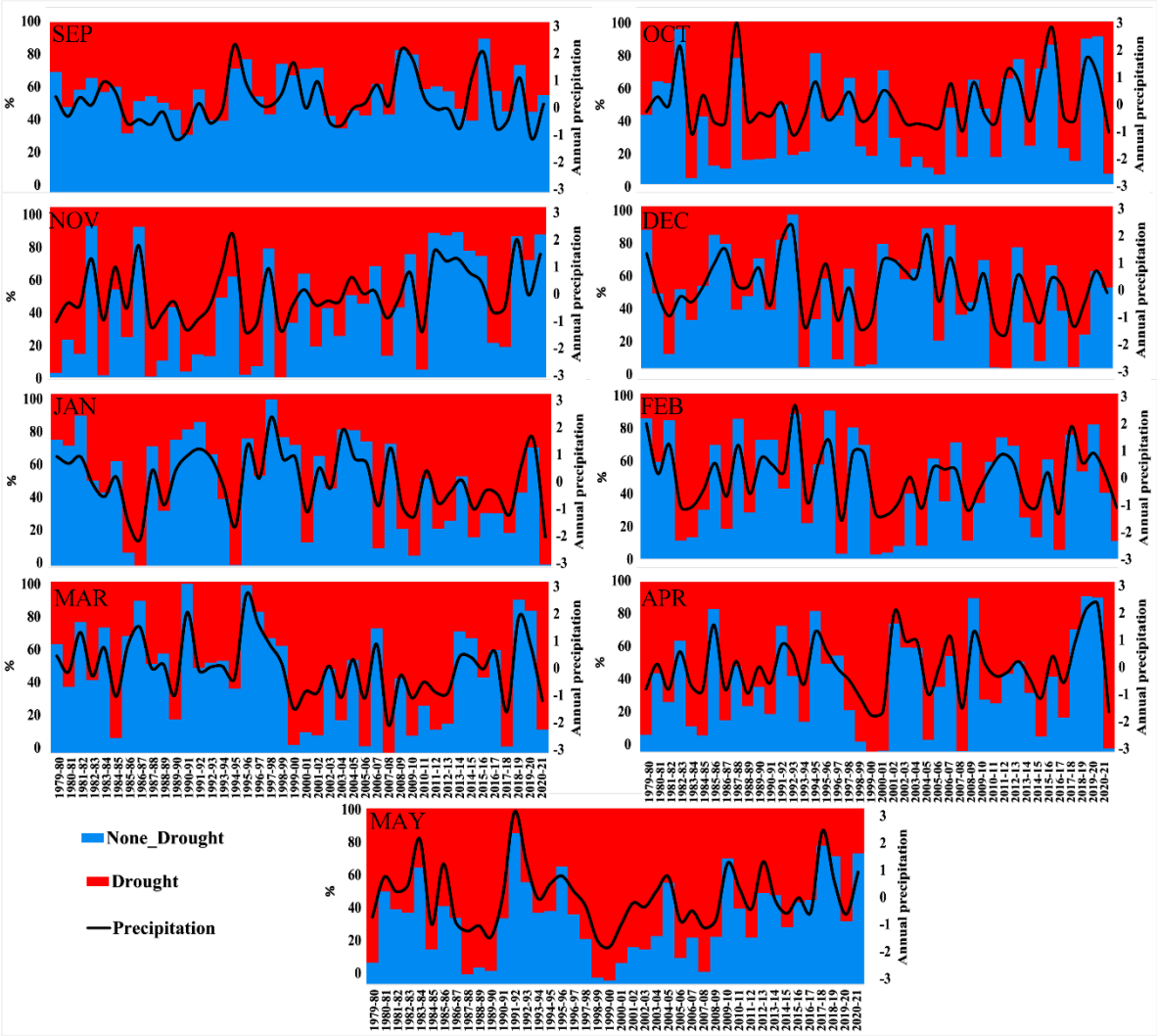
تمرکز رخدادهای ترسالی بیشتر در ماه‌های نوامبر و مارس دیده می‌شود، که این ماه‌ها دارای نوسانات بارشی بالایی بوده‌اند. در مقابل، خشکسالی‌های شدیدتر و پهنه‌دارتر بیشتر در ماه‌های ژانویه و دسامبر مشاهده شده‌اند (شکل ۱۱). الگوهای جابجایی در دهه‌های سوم و چهارم بیشترین تغییرات را نشان می‌دهند، که این مسئله نشان‌دهنده تاثیرات تغییرات اقلیمی بر الگوهای بارشی و خشکسالی است. در کل، تمرکز خشکسالی‌ها بیشتر در فصل‌های زمستان و بهار و تمرکز ترسالی‌ها بیشتر در فصل پاییز رخ می‌دهند. این تحلیل نشان‌دهنده تأثیرات گسترده تغییرات اقلیمی بر الگوهای بارشی و خشکسالی در ایران است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]



شکل ۱۰. موقعیت مکانی میانگین بین دهه‌ی (۲۰۲۱-۱۹۷۹) مرکز ثقل خشکسالی ایران به همراه روند تغییرات آن

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]



شکل ۱۱. سری زمانی تغییرات درصد مساحت گستره خشکسالی ماهانه در طی بازه ۴۲ ساله (۱۹۷۹-۲۰۲۱)، محور راست آنومالی بارش و محور چپ درصد گستره خشکسالی

بحث

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که جابجایی مرکز ثقل خشکسالی‌ها در ایران از الگوی یکنواخت و منظمی تبعیت نمی‌کند، بلکه این جابه‌جایی تابعی از تغییرات زمانی و مکانی بارش، شدت خشکسالی، فصل وقوع، و همچنین رفتار سامانه‌های سینوپتیکی مؤثر بر اقلیم کشور است. در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس که اوج فصل بارش ایران محسوب می‌شوند (کریمی و فرجزاده، ۱۳۹۰؛ موحدی، ۱۳۹۰؛ عساکره و همکاران، ۱۴۰۰؛ حیدری و همکاران، ۱۴۰۳)، مرکز ثقل خشکسالی به‌طور معناداری به سمت جنوب‌شرق کشور جابه‌جا شده است. این تغییر هم‌زمان با افزایش شدید گستره خشکسالی در همین ماه‌ها بوده و نشان‌دهنده‌ی کاهش بارش‌های مؤثر زمستانی، خصوصاً در نواحی مرکزی و جنوب‌شرقی کشور است. این یافته با مطالعات پیشین مانند موحدی و همکاران (۱۳۹۰)، کریمی و فرجزاده (۱۳۹۰) و دارند و پژوه[1] (۲۰۲۲) مطابقت دارد که کاهش بارش زمستانی را به تضعیف محور ناوه‌های مدیترانه‌ای و گسترش پرفشار جنب‌حاره‌ای نسبت داده‌اند.

از سوی دیگر، در ماه‌های نوامبر، آوریل و می، مرکز ثقل خشکسالی به سمت شمال‌غرب جابجا شده است. این پدیده هم‌راستا با کاهش وسعت خشکسالی‌ها در این ماه‌هاست و نشان می‌دهد که آغاز و پایان فصل بارندگی با افزایش بارش‌ها در نواحی غربی

[1] - Darand & Pazhoh

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

و شمال‌غربی همراه بوده‌است. این الگو با نتایج مطالعات کریمی و همکاران (۱۴۰۰) و کرم‌پور و همکاران (۱۳۹۷) همخوانی دارد که به افزایش ترسالی در ماه‌های نوامبر و آوریل اشاره کرده‌اند. همچنین جابجایی مرکز ثقل به شمال‌غرب در این بازه‌ها، بیانگر بازگشت موقتی فعالیت سامانه‌های غربی و شرایط نرمال اقلیمی در برخی سال‌ها بوده است.

مقایسه روند تغییرات در دهه‌های مختلف نشان می‌دهد که دهه‌ی سوم (۲۰۰۰–۲۰۰۹) بیشترین جابجایی مرکز ثقل به سمت جنوب‌شرق و همچنین بیشترین گسترش خشکسالی را تجربه کرده است. این دوره، با خشکسالی‌های شدید و فراگیر، بیش از ۶۰ درصد مساحت کشور را تحت تأثیر قرار داده که در مطالعات بهرامی و همکاران (۲۰۲۱) و کریمی و حیدری (۱۴۰۲) که در مورد بارش بوده‌اند نیز مورد تأیید قرار گرفته است.

جابجایی مرکز ثقل خشکسالی در ماه مارس نیز بیانگر تثبیت الگوی خشکسالی در نواحی جنوبی و مرکزی کشور در این ماه است. در مقابل، در ماه نوامبر جابجایی به سمت شمال‌غرب و کاهش وسعت خشکسالی‌ها مشاهده شده است. این تقابل، نمودی از تأثیرپذیری الگوهای بارشی ایران از تغییرپذیری‌های درون‌فصلی و میان‌دوره‌ای سامانه‌های بارشی منطقه‌ای است (کیانیان و همکاران، ۱۳۹۵؛ حسینی صدیق و جلالی، ۱۴۰۳؛ دارند و پژوه[1]، ۲۰۲۲). از منظر آماری نیز، نتایج پژوهش نشان داد که بیشترین تغییرات مثبت در گستره خشکسالی در ماه‌های ژانویه و دسامبر، و بیشترین تغییرات منفی در آوریل و نوامبر رخ داده است.

بررسی یافته‌های ماهانه با اصول اقلیم‌شناسی ایران هم‌راستا است؛ کشور ایران در فصل زمستان تحت تأثیر سامانه‌های مدیترانه‌ای، غربی و سودانی قرار دارد. هرگونه تضعیف یا جابه‌جایی عرضی این سامانه‌ها می‌تواند مستقیماً بر مرکز و جنوب‌شرق کشور تأثیر گذارده و موجب خشکسالی فراگیر در این نواحی شود. در پژوهش حاضر، رابطه معناداری میان جابجایی مرکز ثقل به سمت جنوب‌شرق و افزایش شدت خشکسالی‌ها مشاهده شد؛ در حالی که جابجایی به سمت شمال‌غرب عمدتاً با کاهش وسعت خشکسالی همراه بود.

یافته‌های این پژوهش، همسو با مطالعات بین‌المللی مانند لوید–هیوز[2] (۲۰۱۲)، است که در مورد اروپا نیز به نبود نظم مکانی–زمانی در خشکسالی‌ها و نقش غالب سامانه‌های جوی متغیر اشاره کرده است. در سطح ملی نیز، مطالعات دانشمند و محمودی (۱۳۹۵) و محمودی و دانشمند (۱۳۹۷) تأکید دارند که چرخه‌های بارشی و خشکسالی در ایران فاقد دوره‌های پایدار هستند و بیشتر تحت تأثیر نوسانات کوتاه‌مدت و فازهای رفت‌وبرگشتی بارش عمل می‌کنند.

در مجموع، تحلیل مرکز ثقل خشکسالی‌ها در این پژوهش، ابزاری نوین و دقیق برای درک رفتار دینامیکی خشکسالی‌ها در ایران فراهم کرده و نشان داده است که پویایی فضایی این پدیده، بیش از آن‌که تابع عوامل داخلی پایدار باشد، به‌شدت از برهم‌کنش ناپایدار سامانه‌های جوی و شرایط مرزی اقلیمی تأثیر می‌پذیرد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر با تمرکز بر تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی‌ها در ایران و بررسی موقعیت مرکز ثقل خشکسالی‌ها، نشان می‌دهد که خشکسالی‌ها در ایران به‌شدت تحت تأثیر نوسانات مکانی بارش‌ها قرار دارند. بارش‌ها به‌عنوان یک پدیده متغیر و ناپایدار، موجب تفاوت‌های عمده‌ای در میزان و زمان‌بندی خشکسالی‌ها در نقاط مختلف کشور می‌شود. این تغییرات در طول زمان به‌طور طبیعی به دو پدیده ترسالی و خشکسالی منتهی می‌شوند.

نتایج نشان داد که مرکز ثقل خشکسالی‌های سالانه در دهه سوم (۲۰۰۰–۲۰۰۹) به سمت جنوب‌شرق جابجا شده است، که همراه با افزایش گستره خشکسالی‌های شدید در این دوره، بیش از ۶۰ درصد مساحت کشور را تحت تأثیر قرار داده است. در مقیاس فصلی، در زمستان و بهار، جابجایی مرکز ثقل به سمت عرض‌های پایین‌تر و جنوب‌شرق مشاهده شد، که این تغییرات به‌ویژه در دهه‌های اخیر همراه با افزایش خشکسالی‌های شدید بوده است. در فصل پاییز، مرکز ثقل خشکسالی در دهه دوم (۱۹۹۰–۲۰۰۰) به سمت عرض‌های پایین‌تر جابجا شد و در دهه انتهایی (۲۰۱۱–۲۰۲۱) به سمت شمال‌غرب حرکت کرد، که نشان‌دهنده کاهش

[1] - Darand & Pazhoh

[2] - Lloyd-Hughes

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]

[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

گستره خشکسالی در این فصل است. در مقیاس ماهانه، تغییرات مرکز ثقل خشکسالی در ماه‌های نوامبر و آوریل به‌طور قابل‌توجهی به سمت شمال‌غرب جابجا شد، که به‌ویژه در دهه‌های دوم و سوم (۱۹۹۰–۲۰۰۹) با کاهش درصد گستره خشکسالی و تغییر الگوهای بارشی همراه بود. در ماه‌های دسامبر و ژانویه، افزایش قابل‌توجهی در گستره خشکسالی‌ها مشاهده شد که با جابجایی مرکز ثقل به سمت جنوب‌شرق هم‌راستا بود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که خشکسالی‌های ایران دارای نظم مکانی و زمانی خاصی نیستند. این نتیجه‌گیری‌ها تأکید می‌کنند که درک پیچیدگی و تغییرپذیری خشکسالی‌ها در ایران نیازمند تحلیل‌های جامع و مبتنی بر داده‌های دقیق است تا بتوان به‌طور مؤثری به مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب پرداخت.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در جمع‌آوری داده‌ها، تهیه گزارش پژوهش و تحلیل داده‌ها مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر بدون حمایت مالی انجام شده است.

سپاسگزاری

مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده نخست به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسندگان سوم و چهارم است. از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

منابع

اربابی سبزواری، آزاده و فرزانه، مهسا (۱۴۰۰). واکاوی خشکسالی ایستگاه‌های ایران در دوره سرد سال. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*، ۱۴۰۰(۴۸)، ۶۸–۵۵.

بهرامی، اسرین و دارند، محمد (۱۴۰۳). ارزیابی دقت زمانی–مکانی بارش پایگاه داده‌ی ERA5 بر روی ایران، *ژئوفیزیک ایران*، آماده انتشار مجله. https://doi.org/10.30499/ijg.2024.455625.1599

ترابی‌نژاد، نسترن؛ زرین، آذر؛ و داداشی رودباری، عباسعلی (۱۳۴۲). بررسی انواع خشکسالی و مشخصه‌های آن در ایران با استفاده از شاخص بارش تبخیر–تعرق استاندارد شده (SPEI). *آب و خاک*. ۳۷(۳)، ۴۸۶–۴۷۳. https://doi.org/10.22067/jsw.2023.81322.1257

حسینی صدیق، سید محمود و جلالی، مسعود (۱۴۰۳). ارزیابی تغییرات خشکسالی ایران با شاخص خود تنظیم پالمر. *پژوهش‌های خشکسالی و تغییراقلیم*، ۲(۱)، ۱۰۶–۹۳. https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.6149.1016

حیدری، سوسن؛ کریمی، مصطفی و بیرانود، آذر (۱۴۰۳). ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل ERA5 در تخمین بارش ایران و واکاوی فضایی رژیم بارشی کشور. *پژوهش های دانش زمین*، ۱۵(۲)، ۲۴–۱. https://doi.org/10.48308/esrj.2024.104225

حیدری، سوسن؛ کریمی، مصطفی؛ عزیزی، قاسم و شمسی‌پور، علی‌اکبر (۱۴۰۱). تبیین الگوهای مکانی شدت‌های خشکسالی در ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. ۹(۴)، ۲۰–۱. https://doi.org/20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4

حیدری، سوسن؛ کریمی، مصطفی؛ عزیزی، قاسم و شمسی‌پور، علی‌اکبر (۱۴۰۳). خوشه‌های مکانی و روند تغییرات نواحی هم‌رخداد خشکسالی در ایران. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، ۵۶(۱)، ۱۰۱–۸۳. https://doi.org/10.22059/jphgr.2024.374275.1007820

دانشمند، حجت‌الله و محمودی، پیمان (۱۳۹۵). تحلیل طیفی خشکسالی‌های ایران. *ژئوفیزیک ایران*، ۱۰(۴)، ۴۷–۲۸. https://doi.org/20.1001.1.20080336.1395.10.4.3.4

دریاباری، سیدجمال الدین (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خشکسالی‌های ایران در پنجاه سال گذشته. *دانشنامه (جغرافیا)*، ۸۲، ۴۸–۳۳.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

سبحانی، بهروز و صفریان زنگیر، وحید (۱۳۹۹). بررسی و پایش خشکسالی ایستگاه‌های منتخب ایران. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*، ۱۳۹۹(۴۴)، ۴۸-۳۳.

عساکره، حسین؛ دوستکامیان، مهدی و دارند، محمد (۱۴۰۰). بررسی و تحلیل آشفتگی، نوسانات و جهش نواحی بارشی ایران. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۱(۶۰)، ۱۴۹-۱۲۷. https://doi.org/10.52547/jgs.21.60.127

فلاح‌قالهری، غلامعباس و کدخدا، الهام (۱۳۹۶). ارزیابی ساختار مکانی بارش نیم قرن اخیر دشت مشهد. *هیدرژئومورفولوژی*، ۳(۱۱)، ۵۷-۳۹. https://doi.org/20.1001.1.23833254.1396.4.11.3.4

کرم‌پور، مصطفی؛ زارعی چقابلکی، زهرا؛ حلیمی، منصور و نوروزی میرزا، مصطفی (۱۳۹۷). بررسی نوسان بارش ماهانه و سالانه ایرات در طیف‌های مختلف. *اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*، ۲۷(۱۰۵)، ۲۰۱۷-۱۹۹. https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.31492

کریمی، مصطفی و حیدری، سوسن (۱۴۰۲). تغییرپذیری و روند تغییرات شدت-گستره‌ی ترسالی و خشکسالی در ایران، *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۲(۳۶)، ۱۵۰-۱۲۹. https://doi.org/10.22111/jneh.2022.42519.1905

کریمی، مصطفی؛ حیدری، سوسن و رفعتی، سمیه (۱۴۰۰). روند تغییرات مؤلفه‌های جوی چرخه آب (بارش و آب‌قابل بارش) در حوضه‌های آبریز ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۸(۲)، ۵۴-۳۳. https://doi.org/10.52547/jsaeh.8.2.33

کریمی، مصطفی و فرجزاده، منوچهر (۱۳۹۰). شار رطوبت و الگوهای فضایی-زمانی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۹(۲۲)، ۱۲۷-۱۰۹.

کمالی، مریم و ترابی‌آزاد، مسعود (۱۴۰۳). بررسی تغییرات بارش در نوار ساحلی جنوب ایران با استفاده از داده‌های ERA5. *نیوار*، ۴۸ (۱۲۴)، ۲۰۲-۱۸۷. https://doi.org/10.30467/nivar.2024.412682.1258

کیانیان، محمدکیا؛ پورجم؛ امین صالح، حاجی‌محمدی، حسن و رسولی، فهیمه (۱۳۹۵). بررسی و ارتباط خشکسالی و ترسالی‌های غرب ایران با الگوهای سینوپتیکی جو. *آمایش جغرافیا فضا*، ۶ (۲۲)، ۱۹۲-۱۷۵.

محمودی، پیمان؛ و دانشمند، حجت‌الله (۱۳۹۷). کاربرد تحلیل موجک در شناسایی رفتار دوره‌ای خشکسالی‌های ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۷(۲۵)، ۱۶۸-۱۵۳. https://doi.org/10.22067/geo.v7i1.60717

مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۲). بررسی پراکندگی جغرافیایی بارش در ایران به روش تحلیل عاملی دوران یافته، *جغرافیا و توسعه*، ۱(۲)، ۸۸-۷۹. https://doi.org/10.22111/gdij.2003.3642

مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۹۰). *آب‌وهوای ایران*، چاپ اول، انتشارات شریعه توس.

معصوم‌پور سماکوش، جعفر؛ میری، مرتضی و رضایی، سارا (۱۴۰۳). تحلیل ویژگی‌های خشکسالی (شدت، مدت، بزرگی) ایران براساس شاخص خشکسالی چند مغییره، *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۴(۱)، ۹۸-۸۲. https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10319.1114

موحدی، سعید؛ عساکره، حسین؛ سبزی‌پرور، علی‌اکبر؛ مسعودیان، ابوالفضل و مریانجی، زهره (۱۳۹۰). بررسی تغییرپذیری رژیم بارش در ایران. *آب و خاک*، ۲۵(۶)، ۱۴۴۷-۱۴۳۴. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.12487

نظری‌پور، حمید؛ حمیدیان، محسن؛ خسروی، محمود و وزیری، محدثه (۱۴۰۱). تغییرپذیری فراوانی و شدت خشکسالی در ایران با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش-تبخیرتعرق. *علوم آب و خاک*، ۲۶(۴)، ۲۴۷-۲۳۳. https://doi.org/10.47176/jwss.26.4.45861

نوری، علیرضا؛ نوری، سمیرا؛ امیدوار، جواد؛ بانژاد، حسین و مدرسی، فرشته (۱۴۰۳). ارزیابی کمی-کیفی داده‌های بارش ERA5 درتخمین رخداد و مقدار بارش‌های به وقوع پیوسته در استان خراسان رضوی، *پژوهش آب ایران*، ۱۸ (۱)، ۱۲-۱. https://doi.org/10.22034/iwrj.2023.14295.2506

یزدانی، وحید؛ زارع ابیانه، حمید و شادمانی، مجتبی (۱۳۹۰). تحلیل فراوانی و پهنه‌بندی خشکسالی‌های ایران با کاربرد نمایه شاخص استاندارد شده بارش، *مهندسی منابع آب*، ۴ (۸): ۴۳-۳۱.https://doi.org/20.1001.1.20086377.1390.4.8.4.0

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

References

Alizadeh-Choobari, O., & Najafi, M.S. (2018). Extreme weather events in Iran under a changing climate. *Climate dynamics*, 50(1), 249-260. https://doi.org/10.1007/s00382-017-3602-4

Bahrami, M., Bazrkar, S., & Zarei, A.R. (2021). Spatiotemporal investigation of drought pattern in Iran via statistical analysis and GIS technique. *Theoretical and Applied Climatology*, 143, 1113-1128. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03480-1

Daneshmand, H., & Mahmoudi, P. (2017). Estimation and assessment of temporal stability of periodicities of droughts in Iran. *Water Resources Management*, 31, .3413-3426. https://doi.org/10.1007/s11269-017-1676-8

Darand, M., & Pazhoh, F. (2022). Spatiotemporal changes in precipitation concentration over Iran during 1962–2019. *Climatic Change*, 173(3), 25. https://doi.org/10.1007/s10584-022-03421-z

Diaz, V., Corzo, G., Van Lanen, H.A., & Solomatine, D.P. (2019). Spatiotemporal drought analysis at country scale through the application of the STAND toolbox. In Spatiotemporal Analysis of Extreme Hydrological Events (77-93). *Elsevier*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811689-0.00004-5

Diaz, V., Corzo Perez, G.A., Van Lanen, H.A., & Solomatine, D. (2018). September. Intelligent drought tracking for its use in Machine Learning: implementation and first results. In HIC (Vol. 3, 601-606). DOI: 10.29007/klgg.

Documents of ArcGis, (2025). https://doc.arcgis.com/en/allsource/1.0/analysis/geoprocessing-tools/spatial-statistics/mean-center.htm

Emadodin, I., Reinsch, T., & Taube, F. (2019). Drought and desertification in Iran. *Hydrology*, 6(3), 66. https://doi.org/10.3390/hydrology6030066

Fallah Ghalhari, G.A., Dadashi Roudbari, A.A., & Asadi, M. (2016). Identifying the spatial and temporal distribution characteristics of precipitation in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-12. https://doi.org/10.1007/s12517-016-2606-4

Galton, F. (1886). Regression towards mediocrity in hereditary stature. *The Journal of the Anthropological Institute of Great Britain and Ireland*, 15, 246-263. https://doi.org/10.2307/2841583

Ghaedi, S., & Shojaian, A. (2020). Spatial and temporal variability of precipitation concentration in Iran. *Geographica Pannonica*, 24(4). https://doi.org/10.5937/gp24-27361

Ghajarnia, N., Akbari, M., Saemian, P., Ehsani, M.R., Hosseini-Moghari, S.M., Azizian, Kalantari, A., Behrangi, A., Tourian, M.J., Klöve, B., & Haghighi, A.T. (2022). Evaluating the evolution of ECMWF precipitation products using observational data for Iran: From ERA40 to ERA5. *Earth and Space Science*, 9(10), p.e2022EA002352. https://doi.org/10.1029/2022EA002352

Ghamghami, M., & Irannejad, P. (2019). *An analysis of droughts in Iran during 1988–2017*. SN Applied Sciences, 1, 1-21. https://doi.org/10.1007/s42452-019-1258-x

Hao, Z., Hao, F., Singh, V.P., Ouyang, W., & Cheng, H. (2017). An integrated package for drought monitoring, prediction and analysis to aid drought modeling and assessment. *Environmental modelling & software*, 91, 199-209. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.02.008

Herrera-Estrada, J.E., Satoh, Y., & Sheffield, J. (2017). Spatiotemporal dynamics of global drought. *Geophysical Research Letters*, 44(5), 2254-2263. https://doi.org/10.1002/2016GL071768

Izadi, N., Karakani, E.G., Saadatabadi, A.R., Shamsipour, A., Fattahi, E., & Habibi, M. (2021). Evaluation of ERA5 precipitation accuracy based on various time scales over Iran during 2000–2018. *Water*, 13(18), 2538. https://doi.org/10.3390/w13182538

Kallis, G. (2008). Droughts. *Annual review of environment and resources*, 33(1), 85-118. https://doi.org/10.1146/annurev.environ.33.081307.123117

Kazemzadeh, M., Noori, Z., Alipour, H., Jamali, S., Akbari, J., Ghorbanian, A., & Duan, Z. (2022). Detecting drought events over Iran during 1983–2017 using satellite and ground-based precipitation observations. *Atmospheric Research*, 269, 106052. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106052

Kendall, M.G. (1948). *Rank correlation methods*. 4th Edition Charles Griffin, London. 6 P.

Lin, H., Wang, J., Li, F., Xie, Y., Jiang, C., & Sun, L. (2020). Drought trends and the extreme drought frequency and characteristics under climate change based on SPI and HI in the upper and middle reaches of the Huai River Basin, China. *Water*, 12(4), 1100. https://doi.org/10.3390/w12041100

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]

[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

Lloyd-Hughes, B. (2012). A spatio-temporal structure-based approach to drought characterisation. *International Journal of Climatology*, 32(3), 406-418. https://doi.org/10.1002/joc.2280

Luo, Y., Yu, H., Liu, S., Liang, Y., & Liu, S. (2019). Spatial heterogeneity and coupling of economy and population gravity centres in the Hengduan mountains. *Sustainability*, 11(6), 1508.

Mahajan, D.R., & Dodamani, B.M. (2015). Trend analysis of drought events over upper Krishna basin in Maharashtra. *Aquatic Procedia*, 4, 1250-1257. https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.163

Malayeri, A.K., Saghafian, B., & Raziei, T. (2021). Performance evaluation of ERA5 precipitation estimates across Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-18. https://doi.org/10.1007/s12517-021-09079-8

Mallick, J., Talukdar, S., Alsubih, M., Salam, R., Ahmed, M., Kahla, N.B., & Shamimuzzaman, M. (2021). Analysing the trend of rainfall in Asir region of Saudi Arabia using the family of Mann-Kendall tests, innovative trend analysis, and detrended fluctuation analysis. Theoretical and Applied *Climatology*, 143, 823-841.https://doi.org/10.1007/s00704-020-03448-1

Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. Econometrica, *Journal of the econometric society*,13, 245–259.

Mishra, A.K., Singh, V.P., & Desai, V.R. (2009). Drought characterization: a probabilistic approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23, 41-55. https://doi.org/10.1007/s00477-007-0194-2

Modarres, R., Sarhadi, A., & Burn, D.H. (2016). Changes of extreme drought and flood events in Iran. *Global and Planetary Change*, 144, 67-81. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.07.008

Patel, N.R., Chopra, P., & Dadhwal, V.K. (2007). Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. Meteorological Applications: *A journal of forecasting, practical applications, training techniques and modelling*, 14(4), 329-336. https://doi.org/10.1002/met.33

Pour, S.H., Wahab, A.K.A., & Shahid, S. (2020). Spatiotemporal changes in precipitation indicators related to bioclimate in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 141, 99-115. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03192-6

Raziei, T., Saghafian, B., Paulo, A.A., Pereira, L.S., & Bordi, I. (2009). Spatial patterns and temporal variability of drought in western Iran. *Water resources management*, 23, 439-455. https://doi.org/10.1007/s11269-008-9282-4

Tabari, H., & Willems, P. (2016). Daily precipitation extremes in Iran: decadal anomalies and possible drivers. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 52(2), 541-559. https://doi.org/10.1111/1752-1688.12403

Tech, T. (2011). Statistical analysis for monotonic trends.

Van Rooy, M.P. (1965). A rainfall anomally index independent of time and space, *Notos*, 14, 43-48.

Wang, S.Y., , Liu, J.S., & Ma, T.B. (2010). Dynamics and changes in spatial patterns of land use in Yellow River Basin, China. *Land Use Policy*, 27(2), 313-323. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.04.002

Wilhite, D.A., & Glantz, M.H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, 10(3), 111-120. https://doi.org/10.1080/02508068508686328

World Meteorological Organization (WMO), (2006). Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges. progress and future chal- lenges. WMO-No, WMO-No. 1006. WMO, Geneva, Switzerland Retrieved from http://www. droughtmanagement.info/literature/WMO_drought_monitoring_early_ warning_ 2006.pdf

Zhou, H., Liu, Y., & Liu, Y. (2019). An approach to tracking meteorological drought migration. *Water Resources Research*, 55(4), 3266-3284. https://doi.org/10.1029/2018WR023311

Zhu, J., Zou, Y., Chen, D., Zhang, W., Chen, Y., & Cheng, W. (2024). Analyzing the Spatiotemporal Dynamics of Drought in Shaanxi Province. *Atmosphere*, 15(11), 1264. https://doi.org/10.3390/atmos15111264

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]

[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.5.4]

[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.91]