



Spatial clusters and change trends of drought co-occurrence regions in Iran

Sousan Heidari¹ , Mostafa Karimi² ✉, Ghasem Azizi³ , AliAkbar Shamsipour⁴

1- Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

Email: Heidari.s@ut.ac.ir

2- (Corresponding Author) Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

Email: Mostafakarimi.a@ut.ac.ir

3- Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

Email: ghazizi@ut.ac.ir

4- Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

Email: Shamsipr@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

29 November 2023

Received in revised form:

25 February 2024

Accepted:

31 March 2024

Available online:

4 May 2024

Keywords:

Precipitation variability,

Drought regions,

Mann-Kendall,

Cluster analysis,

Iran.

ABSTRACT

Precipitation anomalies, especially drought and its changes are among the most important topics in climatology. The current study was carried out to regionalize drought events and evaluate the changes in their extent in annual, seasonal and monthly time scales. For this purpose, EAR5 monthly rainfall data and the RAI drought index were used. Hierarchical cluster analysis based on Ward's correlation-integration distance Mann-Kendall's test and the slope of the regression line were used to extract spatial clusters and their changes. The number of spatial clusters (areas) of co-occurrence of drought in the rainy season and months is wider and more homogeneous than in the less rainy months such as the summer season. Certain geographical-climatic areas such as Southeast, Center, Northwest and West-Southwest are seen most of the time. The annual drought changes in none of the areas show a significant trend, which could be due to intra-seasonal and monthly contrasts in drought changes. So in winter and spring (the main rainfall period of the country), an increasing trend was observed, and on the other hand, in autumn, a decreasing trend of drought was observed. On a monthly scale, the most obvious increase trend has occurred in the two main months of rainfall in the country, namely January and March, and a decrease in November. The results of the research can indicate the temporal shift of rainfall or the change in the country's rainfall regime.

Cite this article: Heidari, S., Karimi, M., Azizi, G., & Shamsipour, A.A. (2024). Spatial clusters and change trends of drought co-occurrence regions in Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 56 (1), 83-101.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2024.374275.1007820>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended abstract

Introduction

Drought is a global challenge with profound economic, social and environmental impacts. The amalgamation of climate change and socio-economic dynamics has exacerbated the frequency and severity of drought occurrences. Delving into the nexus of these factors and scrutinizing the temporal variability of drought as a fundamental priority has fostering advancements in drought management, forecasting and the quest for efficacious solutions.

Iran is a country that constantly confronting the challenges of drought. Numerous research underscores the variegated precipitation oscillations and drought intensities pervading different regions of Iran.

In addition, investigations into the environmental and agriculture repercussions of drought have been conducted, with scholars endeavoring to forecasting future drought trends through forecasting and simulation models. The introduction of drought indicators, modification, and development of methods for drought assessment are of great importance for the management of this phenomenon. Resource optimization and crafting adaptive strategies tailored to the drought patterns across disparate regions can hold promise in surmounting this challenge. Moreover, an incisive assessment of drought risks is imperative for the codification of preemptive policies and the efficacious management of this phenomenon.

However, further research is needed on the temporal and spatial variability of drought. While extant research, has gravitated towards regionalization and impact of drought risks the spatial stability across divergent timeframes remains inadequately explored. Studying spatial clustering elucidating homogeneous drought patterns can significantly improve drought forecasting, warning and management processes. This challenge propelling researchers towards novel inquiries and innovative solutions in the realm of drought dynamics.

Methodology

The scope of research is Iran's expansive terrain, from the Zagros and Alborz mountain ranges to the vast internal plains and coastal margins of the Persian Gulf, the Oman Sea in the south and the Caspian Sea in the north. The extensive environmental diversity, resulting from the country's complex topography,

engender a significant difference in the spatial and temporal patterns of precipitation among different regions. Different precipitation patterns and spatial changes along with temporal changes lead to phenomena such as drought, heavy rains and floods in Iran

To study the spatial and temporal patterns of precipitation in Iran, ERA5 data have been used as a new and powerful data source. In pursuit of comprehending Iran's spatial and temporal patterns of precipitation, ERA5 data have been used as a new and powerful data source. These data are from the ECMWF database and have high spatial accuracy and different time intervals. Prior research has shown that these databases considered as a robust and dependable source for precipitation-related studies in Iran. By utilizing this database, this investigation explore drought patterns, identifying co-occurring drought clusters analysis using drought indices. Furthermore, cluster analysis is used to examine spatial clusters of drought at annual, seasonal, and monthly scales, and to assess changes in drought extent within each cluster.

Results and Discussion

Annual drought clusters in Iran, delineating seven different spatial clusters that are associated with different geographical and climatic features, including topography, geographical latitude, and precipitation system trajectories. These clusters include different regions from the Caspian Sea's southern coast to the central plains and deserts, the northern Zagros and foothills, the southwest from the Persian Gulf coasts to the foothills of the central Zagros, and the southeast and east. These clusters indicate the simultaneous occurrence of annual droughts, with notable regional differences, especially along the Caspian Sea, where variations between the western and northwestern regions, as well as the western and southwestern regions, are evident.

Analyses proffers discernible disparities in the magnitude of drought changes within these annual clusters. While the central region and the southern coasts of the Caspian Sea show a decreasing trend, the central plains and deserts show increasing trends underscoring the disparate climatic and geographical influences. Furthermore, seasonal cluster analysis indicates that different seasonal drought regions are observed in Iran during different seasons of the year. For example, in

summer, despite reduced precipitation in the northern and southeastern regions, the number of drought clusters increases, possibly due to occasional and scattered convective rainfall. In contrast, in fall, spring, and even summer, the seasonal drought regions expand along the geographical length, with significant differences in the northwest, which is divided into two regions in fall and expands widely in winter, covering the northern part of Zagros and the western part of the Caspian Sea and Zagros in spring.

In the analysis of seasonal drought changes in Iran, an overall increase in winter drought and a decrease in fall drought are observed. This trend is associated with significant changes in different regions of Iran. Southern Iran, southwestern Iran, and the northern half of the central plateau are experiencing a decrease in fall drought. Conversely, an increase in winter drought is observed in Kerman-east and northeastern regions of Iran. In spring, changes in seasonal drought are observed, but these changes are not significant and have occurred in two regions: the southwest Zagros in southern and central Iran. Analyses propose that these changes may be due to changes in atmospheric circulation and increased atmospheric moisture during this season. Spatial maps illustrating the monthly occurrence of drought clusters show significant differences across various geographical regions throughout the year. This diversity escalates from a minimum of six regions during consecutive cold months to nine regions during two consecutive warm months. Geographical features, such as the Zagros and Alborz mountain ranges, are implicated in shaping monthly drought clusters, particularly during months such as October, December, April, and May.

While analyzing the changes in extent of drought across Iran's different regions, a noticeable pattern observed throughout the year. In January, drought extent notably increases in the northeast and east of Iran and along the Caspian Sea coasts. While the increase in drought extent is not significant in the central plains and the southern coasts up to the eastern border. In November, this pattern reverses, with a more pronounced reduction in extent of drought observed in the central plains and southern coasts extending to the eastern border. In March and April, an increase in

drought extent evident in the central, eastern, northeastern, and southwestern regions, while a significant decrease is observed in southeastern Iran. The observed pattern indicates that monthly changes in drought in Iran are related to increased precipitation variability and changes in precipitation patterns throughout the year.

Conclusion

This study pursued two primary objectives. Firstly, it employed spatial clustering at monthly, seasonal, and annual scales to delineate regions experiencing concurrent drought conditions. The findings revealed a spatial and temporal alignment of drought patterns in Iran with its geographical and climatic attributes. The emergence of spatial clusters with different drought behaviors at varying times suggests that the influence of changes in atmospheric circulation and precipitation systems outweighs geographical constancy. Notably, while discrepancies in the patterns of monthly and seasonal drought variations do not significantly reflect the annual changes, this feature becomes a distinctive characteristic of the drought variation pattern in Iran. Such differences may be due to changes in the atmospheric circulation pattern and the activity of precipitation systems. Ultimately, the transition in precipitation regimes, characterized by a decrease in the average number of rainy days and an increase in precipitation intensity, underscores future climate challenges in Iran. These challenges could profoundly impact the region's water resources and economy.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

خوشه‌های مکانی و روند تغییرات نواحی هم‌رخداد خشکسالی در ایران

سوسن حیدری^۱، مصطفی کریمی^۲، قاسم عزیزی^۳، علی اکبر شمسی‌پور^۴۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: Heidari.s@ut.ac.ir۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: Mostafakarimi.a@ut.ac.ir۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: Ghazizi@ut.ac.ir۴- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: Shamsipr@ut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

بی‌هنجاری‌های بارشی به‌ویژه خشکسالی و تغییرات آن از مورد توجه‌ترین موضوعات اقلیم‌شناسی است. مطالعه حاضر باهدف ناحیه‌بندی رخداد‌های خشکسالی و ارزیابی روند تغییرات گستره آن در مقیاس‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه انجام پذیرفت. به این منظور از داده‌های بارش ماهانه EAR5 و شاخص خشکسالی RAI بهره گرفته شد. برای استخراج خوشه‌های مکانی و روند تغییرات آنها، از تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی مبتنی بر فاصله همبستگی - ادغام وارد و آزمون من‌کنندال و شیب‌خط رگرسیونی استفاده گردید. تعداد خوشه‌های مکانی (نواحی) هم‌رخداد خشکسالی در فصل و ماه‌های بارشی نسبت به ماه‌های کم‌بارش مانند فصل تابستان، وسیع و همگن‌تر است. نواحی مشخص جغرافیایی - اقلیمی مانند: جنوب شرق، مرکز، شمال غرب و غرب - جنوب غرب، در بیشتر زمان‌ها دیده می‌شود. تغییرات خشکسالی سالانه در هیچ یک از نواحی روند معنی‌داری نشان نمی‌دهد که این می‌تواند از تضاد درون فصلی و ماهانه در روند تغییرات خشکسالی باشد. به طوری که در فصل زمستان و بهار (دوره اصلی بارش کشور) روند افزایشی و در مقابل در فصل پاییز، روندی کاهشی خشکسالی مشاهده شد. در مقیاس ماهانه نیز مشهودترین روند افزایشی در دو ماه اصلی بارش کشور یعنی ژانویه، مارس و کاهشی در ماه نوامبر رخ داده است. نتایج پژوهش می‌تواند گویای جابه‌جایی زمانی بارش یا تغییر رژیم بارش کشور باشد.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۹/۰۸

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۲/۱۲/۰۶

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۱/۱۲

تاریخ چاپ:

۱۴۰۳/۰۲/۱۵

واژگان کلیدی:

ایران،
تحلیل خوشه‌ای،
تعیین‌پذیری بارش،
من-کنندال،
نواحی خشکسالی.

استناد: حیدری، سوسن؛ کریمی، مصطفی؛ عزیزی، قاسم و شمسی‌پور، علی اکبر. (۱۴۰۳). خوشه‌های مکانی و روند تغییرات نواحی هم‌رخداد خشکسالی در ایران. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۶ (۱)، ۸۳-۱۰۱.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2024.374275.1007820>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

© نویسندگان



مقدمه

سیر تغییر شدت خشکسالی از محدوده جغرافیایی به محدوده‌های دیگر و از زمانی به زمان دیگر، امری پیچیده است که هنوز به طور کامل روشن نشده است. تأثیرپذیری متغیرهای اقتصادی، اجتماعی و سیاسی، و حتی جنبه‌های فرهنگی از آثار مستقیم و غیر مستقیم خشکسالی بر جوامع به وضوح مشهود است (Kogan, 1995, 1997; Paul, 1998; Cantos et al., 2000; Ramos, 2001; Quiring & Papakryiakou, 2003; Somorowska, U. 2017; Szabó et al., 2019).

اما مطالعات از گذشته و به‌یژه در سال‌های اخیر، مطالعه تغییرپذیری بارش و پهنه‌بندی روند تغییرات آن با توجه به تغییرات آب‌وهوایی مورد توجه بوده، علاوه بر آن مطالعات مرتبط با خشکسالی نیز به علت افزایش تکرار و شدت در کانون توجه قرار گرفته‌اند (Byun & Wilhite, 1999). در این زمینه، توسعه پایش خشکسالی به عنوان اولویت اساسی (Svoboda et al., 2002) همچنین، علل جوی مؤثر در خشکسالی (Namias, 1983; Ropelewski & Halpert, 1987, 1989) نیز با هدف بهبود فرآیند پیش‌بینی آن، بررسی شده است (Cordery & McCall, 2000; Lloyd- Hughes & Saunders, 2002). چندین تحقیق نیز در جهت بهبود مدیریت کشاورزی با تمرکز بر تحلیل الگوهای فضایی ریسک خشکسالی وجود دارد (Dracup et al., 1980; Lana & Burgueño, 1998; Vicente-Serrano and Yoo, 2003). خوشه‌بندی فراوانی وقوع خشکسالی به منظور شناسایی توزیع احتمال رفتار آن در کره جنوبی (Beguería et al., 2010) و شناسایی خوشه‌های روند خشکسالی در سین کیانگ چین (Xei et al., 2018) نمونه‌هایی از مطالعه خوشه‌بندی مخاطرات و شناسایی نواحی همگن رخداد خشکسالی است. با این حال، تمرکز اصلی اکثر تحقیقات خشکسالی بر روی توسعه شاخص‌ها، آسیب‌پذیری، ریسک و مدل‌سازی پیش‌بینی آن بوده است. (Wilhite & Svoboda, 2000). مطالعات پرشماری در خصوص خشکسالی ایران نیز انجام شده است. برخی از این تحقیقات به بررسی نوسانات بارش و شدت خشکسالی کشور پرداخته‌اند، در حالی که برخی دیگر مطالعه منطقه‌ای و یا با شرایط اقلیمی خاص ایران متمرکز بوده‌اند (Tabari et al., 2012; Rostamian et al. 2013; Zarei et al. 2016; Zarei, 2018; Zarei & Masoudi, 2019; Moghbeli et al. 2020). بخش دیگری از مطالعات نیز به بررسی تأثیر خشکسالی بر محیط زیست و کشاورزی در این مناطق اختصاص یافته (Daneshvar et al. 2013; Aliabad & Shojaei, S. 2019)، در حالی که مطالعات دیگر به ارتباط تغییرات اقلیمی و خشکسالی پرداخته و این ارتباطات را مورد ارزیابی قرار داده‌اند (Khajeh, S. et al. 2017). در حدود ۷۸ درصد تحقیقات خشکسالی، مطالعه ناحیه‌ای بوده‌اند (دوستان، ۱۳۹۴)، با این حال درصد بالایی از مطالعات خشکسالی که در مقیاس کشوری انجام شده که با توجه به محدودیت‌های داده، تعداد محدودی ایستگاه را مورد استفاده قرار داده‌اند (Abarghouei et al. 2011; Amirataee & Montaseri, M. 2017; Nouri & Homaei, M. 2020). علاوه بر مطالعات گفته شده، ارزیابی ریسک‌های خشکسالی (Daneshmand, H. and Mahmoudi, P. 2020; Sharafi, L. et al. 2017)، برآورد و ارزیابی پایداری زمانی دوره‌های خشکسالی (Mahmoudi et al. 2022)؛ دانشمند و همکاران، ۱۳۹۵) و همچنین استفاده از مدل‌های پیش‌بینی و شبیه‌سازی برای تحلیل و پیش‌بینی روند خشکسالی در آینده (Modarres et al. 2016; Bahrami et al. 2019)؛ قائمی و همکاران، ۱۴۰۱) نیز انجام شده است.

در ایران جدا از مطالعات متعدد ناحیه بندی بارش، مطالعات خشکسالی بیشتر به پایش، ارزیابی شاخص‌ها و پهنه بندی شدت این مخاطره توجه داشته‌اند و خوشه و ناحیه بندی رفتاری آن کمتر مورد توجه بوده است. در بین مطالعات خوشه بندی خشکسالی، بیشتر مطالعات با روشهای آمار فضایی و به ویژه خودهمبستگی موران، در پی شناسایی مناطق داغ خشکسالی‌های با شدت و فراوانی بالا بوده‌اند (صلاحی و فریدپور، ۱۳۹۵؛ جوی‌زاده و حجازی زاده، ۱۳۹۸؛ حیدری و

همکاران، ۱۴۰۱) و یا ناحیه‌بندی خشکسالی هدف اصلی مطالعه نبوده است (Heydari et al., 2018؛ پیری و همکاران، ۱۳۹۲). چند مطالعه محدود برای ناحیه بندی ویژگی خشکسالی مانند فراوانی و شدت در مقیاس منطقه ای (خسروی و همکاران، ۱۳۹۱؛ میراحسنی و همکاران ۱۳۹۷) و پژوهش فغانی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از داده‌های ۱۲۰ ایستگاه در گستره ملی انجام شده است (فغانی و همکاران، ۱۳۹۵). در تحقیق یاد شده براساس فراوانی خشکسالی‌های سالانه، ایران به ۹ الی ۱۲ ناحیه تقسیم گردیده است.

گرچه شناسایی نواحی همگن رفتار خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف، می‌تواند در هشدار و پایش اولیه خشکسالی اهمیت داشته باشد، ولی شاید مهمترین استفاده آن در شناسایی مناطق پرریسک خشکسالی، مدیریت مخاطره و نحوه اقدامات، اعم از کاهش اثرات و سازگاری به صورت یک برنامه منطقه‌ای باشد. از این رو، بررسی این که آیا ناحیه‌های هم‌رخداد خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف پایدار هستند یا خیر، امری ضروری می‌باشد. با وجود انجام تعداد زیادی تحقیق در زمینه تغییرات و ناحیه‌بندی بارش در کشور، اما این ضرورت در مورد خشکسالی کمتر مورد توجه بوده است. این پژوهش سعی دارد دو مساله در حوزه خشکسالی ایران را بررسی کند. الف) رفتار مکانی خشکسالی‌های ایران در مقیاس‌های زمانی، چه نواحی مشخصی تشکیل می‌دهند؟ و ب) روند تغییرات گستره خشکسالی در نواحی یا خوشه‌های مکانی خشکسالی مشخص شده چگونه است؟

روش پژوهش

گرچه دقت داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاهی بالا است اما محدودیت‌هایی مانند پوشش فضایی و دوره‌های زمانی محدود باعث چالش‌هایی در فرآیند تعمیم نتایج به مناطق فاقد داده می‌شود. به همین دلیل، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای که دارای پوشش فضایی گسترده‌تری هستند و به‌یژه داده‌های شبکه‌بندی که در تولید آنها از هردو منبع داده ایستگاهی و ماهواره‌ای استفاده می‌گردد، جایگزینی مناسب تلقی می‌شود. داده ERA5 آخرین نسل از پایگاه داده ECMWF، با دقت مکانی ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه و فواصل زمانی ماهانه و ساعتی، امکان استفاده گسترده را فراهم می‌کند. بررسی‌های گذشته نیز نشان داده‌اند که این داده‌ها، به‌ویژه در مطالعات مرتبط با بارش ایران، به عنوان یک منبع قدرتمند مورد توجه قرار گرفته‌اند (Izadi et al. 2021؛ Ghajarnia et al. 2022؛ حیدری و همکاران، ۱۴۰۲). برای پاسخ به پرسش‌های پژوهش، ابتدا سری‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه از داده‌های ERA5 ایجاد شدند.

شاخص‌های خشکسالی برای کمی کردن رخداد خشکسالی و ویژگی‌های آن استفاده می‌شود. از بین شاخص‌های هواشناسی، شاخص بی‌هنجاری بارش (RAI)، که در مطالعات ارزیابی خشکسالی به عنوان شاخص مناسب برای کل ایران معرفی شده، استفاده شد (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰؛ حیدری و همکاران، ۱۴۰۲). این شاخص توسط روی (Rooy) در سال ۱۹۶۵ ارائه شده است. اساس این شاخص محاسبه انحراف مقادیر بارش نرمال است. این شاخص از طریق رابطه‌های زیر به دست می‌آید

$$RAI = 3 \left[\frac{p_i - \bar{p}}{\bar{m} - \bar{p}} \right] \quad \text{رابطه ۱}$$

$$RAI = -3 \left[\frac{p_i - \bar{p}}{\bar{x} - \bar{p}} \right] \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن، p_i بارش مورد نظر، \bar{p} : میانگین بارش، \bar{m} : میانگین ده مورد از بیشترین مقادیر بارش رخ داده در دوره آماری، \bar{x} : میانگین ده مورد از کمترین مقادیر بارش رخ داده در دوره آماری، در نهایت، خشکسالی به شدت بسیار شدید ($-3 <$)،

شدید (2.1 - -3)، متوسط (1.2 - -2.1)، ضعیف (0.3 - -1.2) و عدم خشکسالی (> -0.3) طبقه‌بندی می‌شوند. به منظور استخراج خوشه‌های مکانی و شناسایی نواحی هم‌رخداد خشکسالی از تحلیل خوشه‌ای بهره گرفته شد. تحلیل خوشه‌ای یکی از نمایه‌های یادگیری بدون نظارت محسوب می‌شود که به صورت خودکار، نمونه‌ها را دسته‌بندی می‌کند که اعضای هر دسته با یکدیگر شباهت بالایی دارند و این دسته‌ها به نام خوشه (Cluster) شناخته می‌شوند. به طور کلی، روش‌های خوشه‌بندی را می‌توان به دو دسته اصلی، یعنی فازی (Sert et al. 2015; Bonis and Oudot 2018) و قطعی (De Carvalho et al. 2012; Ferreira et al. 2016) تقسیم کرد. در روش فازی، پس از خوشه‌بندی، به هر نمونه درجه تعلق به هر خوشه نسبت داده می‌شود. در حالی که در روش قطعی، هر نمونه به دقت به یک خوشه تعلق می‌یابد.

در تحلیل خوشه‌ای، معمولاً p ویژگی بر روی n نمونه اندازه‌گیری می‌شود و یک ماتریس $p \times n$ از داده‌های خام تشکیل می‌شود. این ماتریس سپس به یک ماتریس شباهت یا فاصله تبدیل می‌شود و با استفاده از یکی از تکنیک‌های طبقه‌بندی گروه‌بندی انجام می‌شود (حسنعلی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳). ماتریس داده‌های ورودی تحلیل خوشه‌ای، تبدیل مقادیر شدت خشکسالی محاسبه شده به مقادیر صفر و یک بوده، که مقادیر صفر، مقدار کمی شاخص از شرایط نرمال تا ترسالی شدید (شرایط نرمال و ترسالی) و مقادیر یک، دربرگیرنده رخداد خشکسالی از خشکسالی ضعیف تا بسیار شدید بوده است. از روش سلسه مراتبی مبتنی بر فاصله همبستگی و ادغام وارد برای استخراج خوشه‌های مکانی در مقیاس‌های سالانه، فصلی و ماهانه استفاده گردیده است. در نهایت، با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال روند تغییرات گستره خشکسالی برای هر خوشه بررسی شد. این آزمون روند یکنواخت روبه بالا (افزایشی) و یا روبه پایین (کاهشی) در سری زمانی متغیرهای مورد بررسی را از نظر آماری ارزیابی می‌کند. مقدار آماره آزمون من-کندال که در سال ۱۹۴۵ بوسیله Mann (1945) ارائه و در سال ۱۹۷۵ توسط Kendall توسعه یافت. سطح معنی‌داری میزان Z در جدول ۲ ارائه شده است. آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف^۳ برای نرمال بوده داده‌های مساحت خشکسالی خوشه‌ها یا نواحی، نشان داد که تعدادی از خوشه نرمال و تعدادی دیگر غیرنرمال می‌باشند، بنابراین علاوه بر آزمون من-کندال جهت روند تغییرات از معادله خط رگرسیون نیز استفاده شد.

جدول ۱. سطح معنی‌داری میزان Z حاصل از آزمون من-کندال

Z- Value	Definition	Z- Value	Definition
$\alpha 0.01 = +2.58$	Increase(99%)	$\alpha 0.1 = -1.64$	Decrease(90%)
$\alpha 0.05 = +1.96$	Increase(95%)	$\alpha 0.05 = -1.96$	Decrease(95%)
$\alpha 0.1 = +1.64$	Increase(90%)	$\alpha 0.01 = -2.58$	Decrease(99%)
$\alpha = 0 / Z > 1$	Increase (NS)	$\alpha = 0 / Z < -1$	Decrease (NS)
+1 & -1	No		

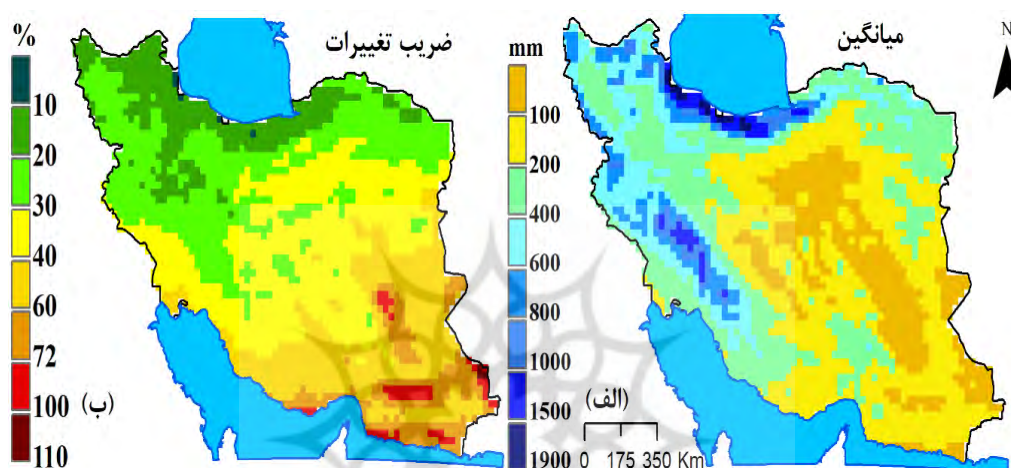
منبع: (Lentz, 2012; Yan et al., 2018)

محدوده مورد مطالعه

حوضه مکانی پژوهش، محدوده سرزمینی ایران است. رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز در غرب و شمال ایران، دشت‌های گسترده داخلی و ساحلی منتهی به خلیج فارس و دریای عمان در جنوب و دریای خزر در شمال، تنوع زیست‌محیطی فراوانی

1. Fuzzy
2. Crisp or Hard
3. Kolmogorov-Smirnov

را در این سرزمین به وجود آورده‌اند. یکی از ویژگی‌های بارز در توزیع الگوی بارش در ایران، اختلاف بسیار چشمگیر در مکان و زمان بارش است. با فاصله گرفتن از نواحی سواحل جنوبی دریای خزر در شمال کشور به سمت جنوب و جنوب‌شرق، میزان بارش کمتر ولی تغییرات بارش بیشتر می‌شود (شکل ۱). ناهمواری‌ها و نحوه فعالیت سامانه‌های همدیدی الگوهای مکانی-زمانی بارش ایران را شکل می‌دهند. گرچه الگوی مکانی بارش بیشتر متأثر از آرایش مکانی ناهمواری‌ها است ولی توزیع زمانی تحت تأثیر گسترده سامانه‌های گردش جو سیاره‌ای و منطقه‌ای قرار دارد و حتی کمترین تغییر در این الگو، ناهنجاری‌های جدی در شرایط آب‌وهوایی و بارش به همراه می‌آورد (مسعودیان، ۱۳۹۰). از این رو، وقوع بارش در نقاط مختلف ایران یکسان نبوده و دارای تغییرات زمانی و مکانی متنوع است. این وضعیت به وقوع مخاطراتی همچون خشکسالی، بارش شدید و سیل آسا در ایران، به صورت متکرر منجر می‌گردد (کریمی و حیدری، ۱۴۰۲).

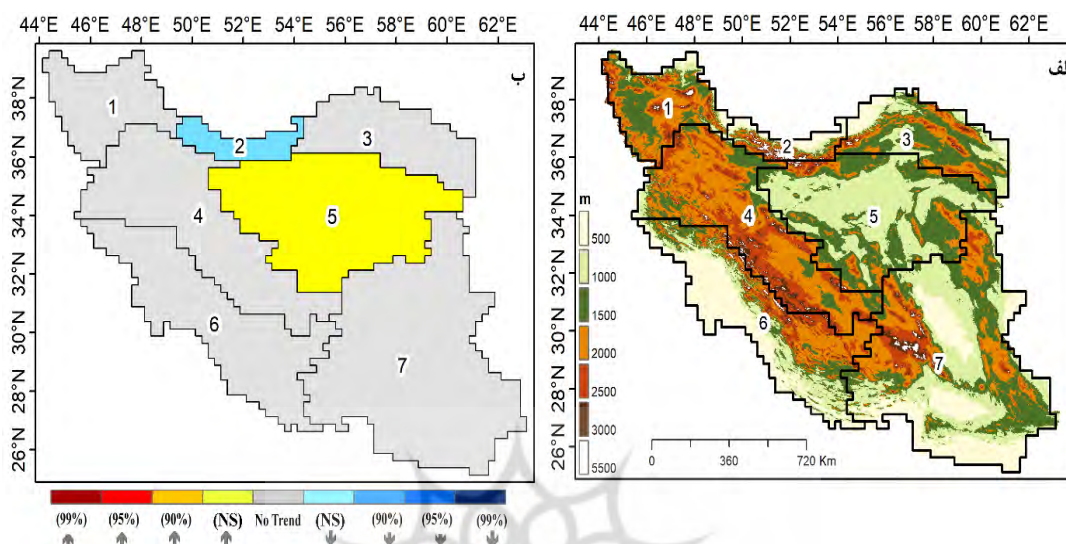


شکل ۱. الف) میانگین و ب) ضرب تغییرات بارش سالانه ایران، داده‌های ERA5 (۱۹۷۹-۲۰۲۱)

یافته‌ها

رخدادهای خشکسالی سالانه در ایران به گونه‌ای است که هفت خوشه مکانی مشخص تشکیل می‌دهند (شکل ۲ الف). این خوشه‌ها که بر روی نقشه با شماره مشخص شده‌اند، عبارتند از نواحی مرکزی سواحل جنوبی دریای خزر (۱)، شمال غرب و ساحل غربی دریای خزر (۲)، شمال شرق (۳)، دشت‌ها و کویر مرکزی (۴)، زاگرس شمالی و دامنه‌های بادپناه زاگرس میانی و جنوبی (۵)، جنوب غرب از سواحل خلیج فارس، زاگرس فارس تا پیشکوه‌های زاگرس میانی (۶)، جنوب شرق و شرق (۷). این خوشه‌های مکانی یا نواحی هم‌رخداد خشکسالی سالانه، مرتبط با ویژگی‌های جغرافیایی-اقلیمی مختلفی مانند توپوگرافی، عرض جغرافیایی و مسیر ورود سامانه‌های بارش‌زا است. گرچه در بعضی از مناطق این خوشه‌ها با نواحی بارشی مشخص شده در تحقیقات قبلی (رورده و همکاران، ۱۳۸۹؛ ناد و خلیلی، ۱۳۹۲) هم‌خوانی دارد، ولی تفاوت‌های بارزی به‌ویژه در سواحل خزری که ناحیه غربی (گیلان) به ناحیه جغرافیایی - اقلیمی شمال غرب پیوسته و یا غرب و جنوب غرب به دو ناحیه بادگیر و بادپناه زاگرس تقسیم شده، دارد (شکل ۲ الف). همچنین مرزهای شرقی و کرمان با ناحیه جنوب شرق، منطقه هم‌رخداد خشکسالی وسیعی را تشکیل داده‌اند. روند تغییرات گسترده خشکسالی خوشه‌های مکانی سالانه (شکل ۲ ب و جدول ۲) گویای این است که گرچه در دو ناحیه، مرکزی سواحل جنوبی دریای خزر (روند کاهش) و دشت‌های مرکزی (روند افزایش) دیده می‌شود ولی روند تغییرات معنی‌داری نشان نمی‌دهد. گرچه این نتیجه با بعضی از تحقیقات قبلی در خصوص روند تغییرات بارش هم‌خوانی ندارد (Modarres et al. 2007؛ آذرخشی و همکاران، ۱۳۹۲، ناظری

تهرودی و همکاران، ۱۳۹۵) اما تعداد دیگری نیز به این نتیجه رسیده‌اند که تغییرات بارش سالانه کشور روند مشخصی نداشته است (محمدی، ۱۳۹۰، داداشی رودباری و کیخسروی کیانی، ۱۳۹۵؛ بارانی و کرمی، ۱۳۹۸؛ کریمی و همکاران، ۱۴۰۰). علاوه بر آن مسعودیان (۱۴۰۲) اشاره داشته که ترسالی گسترده و شدید سال ۲۰۱۹ موجب گردیده که روند تغییرات بارش سالانه بارز نشود (مسعودیان، ۱۴۰۲).



شکل ۲. الف) خوشه‌های مکانی و ب) روند تغییرات ناحیه‌ای خشکسالی سالانه (۱۹۷۹-۲۰۲۱)، اعداد زیر رنگ‌ها، سطح اطمینان معنی‌داری روند و NS، روندهای غیرمعنی‌دار است.

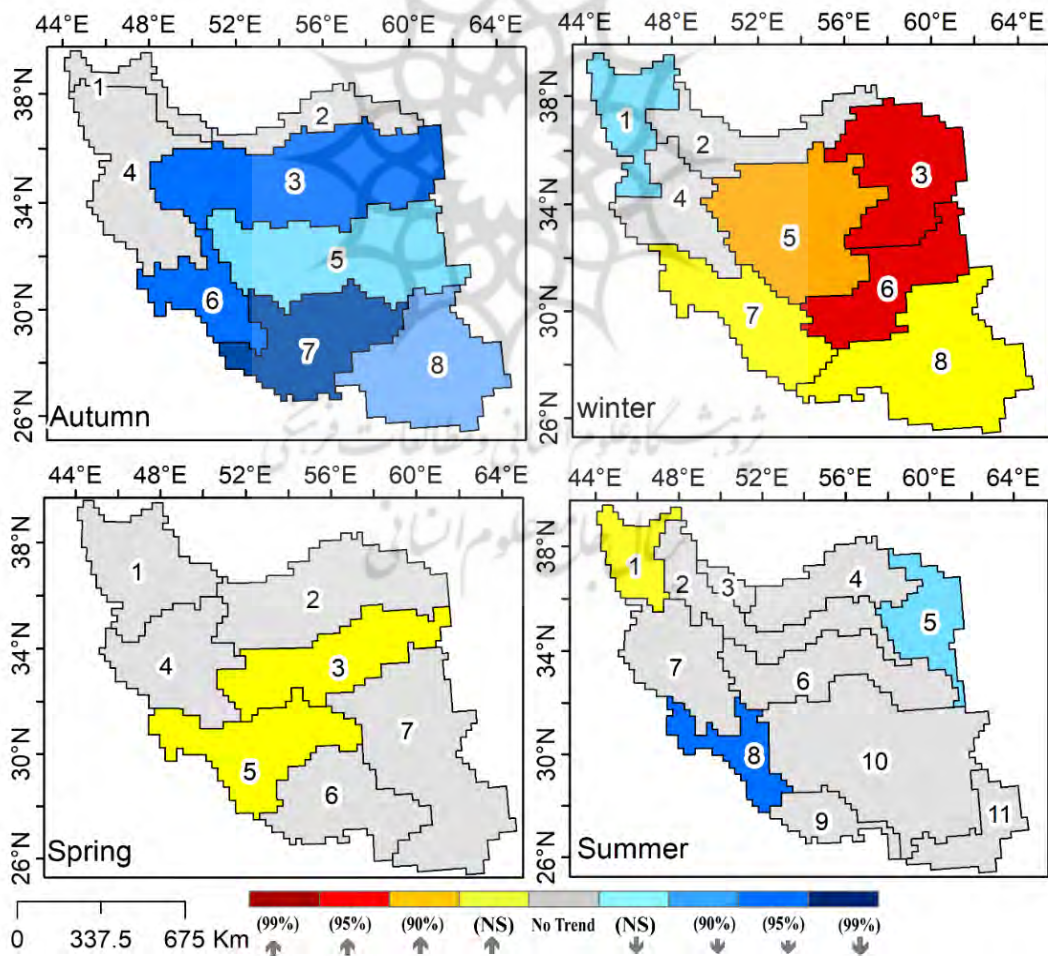
جدول ۲. شیب روند تغییرات گستره خشکسالی سالانه (۱۹۷۹-۲۰۲۱) در خوشه‌های مکانی

خوشه‌های مکانی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
شمال غرب	شمال غرب	ناحیه خزری	شمال شرق	زاگرس	مرکز	جنوب غرب	جنوب شرق
شیب	۰/۱۱	-۰/۶۲	۰/۳۷	-۰/۱۹	۰/۹۱	۰/۳۴	۰/۴۶

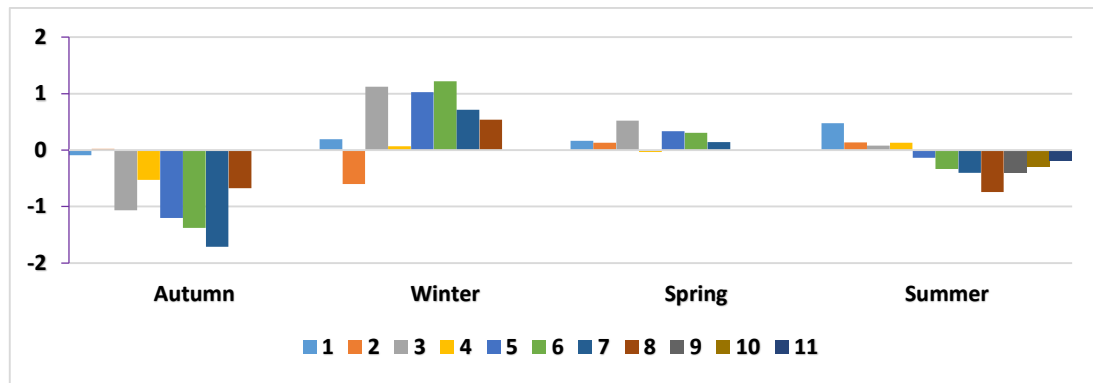
نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای فصلی (شکل ۳) نشان می‌دهد که نواحی مشخص جغرافیای-اقلیمی مانند: جنوب شرق، شمال غرب، غرب و جنوب غرب در بیشتر فصل‌ها قابل مشاهده است. با وجود این که فصل تابستان، به استثنای نواحی شمالی (گیور و همکاران، ۱۳۹۰) و جنوب شرق (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۰) سایر نواحی تحت سیطره زبانه پراارتفاع جنب‌حاره، بارش قابل توجهی ریزش نمی‌کند، تعداد خوشه‌های استخراجی در این فصل نسبت به فصل‌های دیگر بیشتر و در مقابل کوچک‌تر است. این ممکن است به دلیل وجود بارش‌های رگباری اتفاقی و بسیار پراکنده (خسروی و همکاران، ۱۳۹۸) و بارش‌های همرفتی در این فصل باشد (گرامی و همکاران، ۱۴۰۲). در فصل‌های پاییز، بهار و حتی تابستان به جز نیمه غربی و جنوب شرق، نواحی خشکسالی فصلی بیشتر در طول جغرافیایی گسترده شده‌اند اما در فصل زمستان این ترجیح فقط در ناحیه البرز و سواحل خزری دیده می‌شود. نکته قابل ذکر دیگر، تفاوت رفتار خشکسالی در شمال غرب در طی فصل‌های سال است. این منطقه در پاییز خود به دو ناحیه، یکی نوار شمالی که با خزر غربی و بخش جنوبی با زاگرس شمالی و مرکزی ناحیه بزرگی در غرب ناحیه مشترک ایجاد کرده است. همین منطقه در زمستان با بخش شمالی زاگرس و در فصل بهار با بخش غربی خزر و زاگرس شمالی، پهنه وسیعی به وجود آورده است. شاید همگن‌ترین بخش کشور، ناحیه غرب میانی است که در ۳ فصل، زمستان، بهار و تابستان، ناحیه مشخصی تشکیل داده و فقط در پاییز با بخشی از

شمال غرب تلفیق شده است. پهنه‌های تشکیل شده و شکل و جهت قرارگیری آن‌ها می‌تواند متاثر از ناهمواری‌ها و در ارتباط با تفاوت سامانه‌های بارشی فصل و تغییرات آن‌ها باشد.

روند تغییرات فصلی گستره خشکسالی‌های ایران، در شکل‌های ۳ و ۴ نمایش داده شده‌اند. به‌طور کلی در پهنه ایران، افزایش خشکسالی در فصل‌های زمستان و در مقابل کاهش آن در فصل پاییز معنی‌دار می‌باشد (شکل ۳). روند کاهش خشکسالی پاییز، در جنوب با سطح اطمینان ۹۹٪، در جنوب غرب و نیمه شمالی فلات مرکزی با سطح اطمینان ۹۵٪ و جنوب شرق با سطح اطمینان ۹۰٪ معنی‌دار بوده است. در مقابل روند افزایشی خشکسالی زمستان، در ناحیه ارتفاعات کرمان-شرق و شمال شرق در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ناحیه مرکزی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده و روند کاهشی نواحی جنوب غرب و جنوب و روند افزایشی شمال غرب معنی‌دار نبوده است. در فصل بهار نیز گرچه دو ناحیه جنوب غرب-زاگرس جنوبی و مرکز ایران روند کاهشی نشان داده‌اند ولی این روند معنی‌دار نبوده است. تغییرات مشاهده شده در رخداد خشکسالی فصلی در تحقیقات قبلی با روند افزایشی بارش در فصل پاییز و کاهش آن در فصل زمستان و بهار (Pour, 2020; Mosaffa et al., 2020) و به شکل کلان تغییر رژیم بارش بسیاری از مناطق ایران (حیدری و همکاران، ۱۴۰۲) ناشی از تغییرات گردش جو و اثرات آن همانند افزایش رطوبت جو ایران در این فصل (کریمی و همکاران، ۱۴۰۰) دیده شده است.



شکل ۳. خوشه‌های مکانی و روند تغییرات ناحیه‌ای خشکسالی فصلی (۱۹۷۹-۲۰۲۱).



شکل ۴. روند تغییرات گستره خشکسالی فصلی در خوشه‌های مکانی (۱۹۷۰-۲۰۲۱)

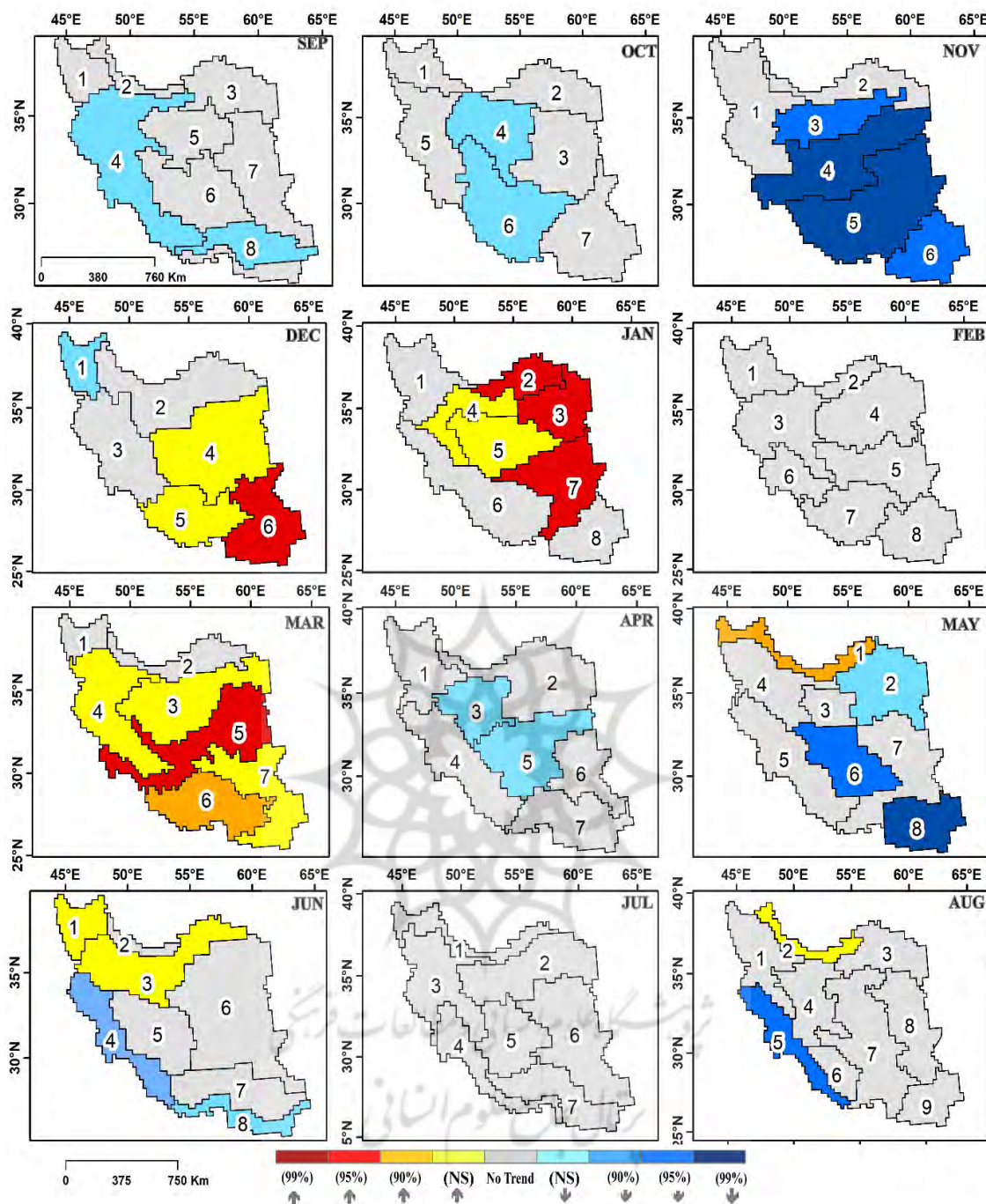
با توجه به نقشه‌های خوشه‌های مکانی رخداد خشکسالی ماهانه (شکل ۵)، در نگاه اول تنوع نواحی تشکیل شده، جلب توجه می‌کند. تفاوت‌های ماهانه رخداد خشکسالی هم در شکل نواحی و هم در گستره و مناطق جغرافیایی دربرگیرنده محسوس است. علاوه بر آن تعداد نواحی تشکیل شده بین حداقل ۶ ناحیه در ماه‌های سرد متوالی نوامبر و دسامبر تا ۹ ناحیه در دو ماه گرم متوالی آگوست و سپتامبر می‌باشد.

سواحل جنوبی دریای خزر از می تا سپتامبر (شروع بارش‌های پاییزه)، خوشه مشخص مکانی تشکیل داده که در دو ماه جولای و آگوست بخش‌هایی از اردبیل و نوار شمالی ناحیه شمال‌غرب را نیز دربر گرفته است. این ناحیه در دیگر ماه‌ها یا بخش غربی و شرقی آن با شمال‌غرب و شمال‌شرق (اکتبر، ژانویه و فوریه) یا با شمال‌شرق و البرز یکی شده است. جنوب‌شرق نیز حداقل در ۷ ماه (اکتبر الی فوریه) و آوریل و می خوشه مکانی رخداد خشکسالی ماهانه به وجود آورده است. این ناحیه که با بارش‌های نامنظم در طول سال و بارش‌های رگباری تابستانه شناخته می‌شود (علیچانی و همکاران، ۱۳۹۰، رضایی، ۱۳۹۶) در همین ماه‌های گرم با جنوب در سواحل تنگه هرمز تلفیق شده است. با این وجود، مطالعات نشان داده‌اند که جنوب‌شرق ایران همواره به عنوان یکی از مناطق پیچیده‌ترین اقلیمی این کشور شناخته شده و مدیریت خشکسالی در این منطقه همواره با چالش‌های جدی روبه‌رو است (بلوچی و همکاران، ۱۴۰۰). غرب و جنوب‌غرب نیز به طور متناوب با نواحی شمال‌غرب و جنوب ناحیه خشکسالی ماهانه تشکیل داده‌اند. این نواحی تحت تاثیر سامانه‌های بارشی سودانی و مدیترانه‌ای در بدو ورود به ایران هستند که با تغییرات حتی اندک در فراوانی و یا جابجایی مکانی فعالیت آنها بی‌هنجاری بارشی محسوسی در این مناطق ایجاد می‌کنند (لشکری و همکاران، ۱۳۹۸). فلات مرکزی نیز گاه دو ناحیه مشخص داخلی (سپتامبر، ژانویه، آوریل و می) به وجود آورده و در مواردی با جنوب و شرق کشور یک خوشه شده است. این می‌تواند نشانگر رژیم بارشی متنوع در پهنه جغرافیایی ایران و همچنین جابه‌جایی‌های ماهانه تا چند ماه در الگوهای مکانی رخداد و بی‌هنجاری بارش در این سرزمین باشد. علاوه بر تفاوت‌های بین سالیانه و فصل سامانه‌های بارشی نقش ویژگی‌های جغرافیایی در تشکیل خوشه‌های ماهانه به خصوص ارتفاعات زاگرس در ماه‌های اکتبر، دسامبر، آوریل و می و ارتفاعات البرز در ماه‌های سپتامبر، نوامبر و مارس مشهود است.

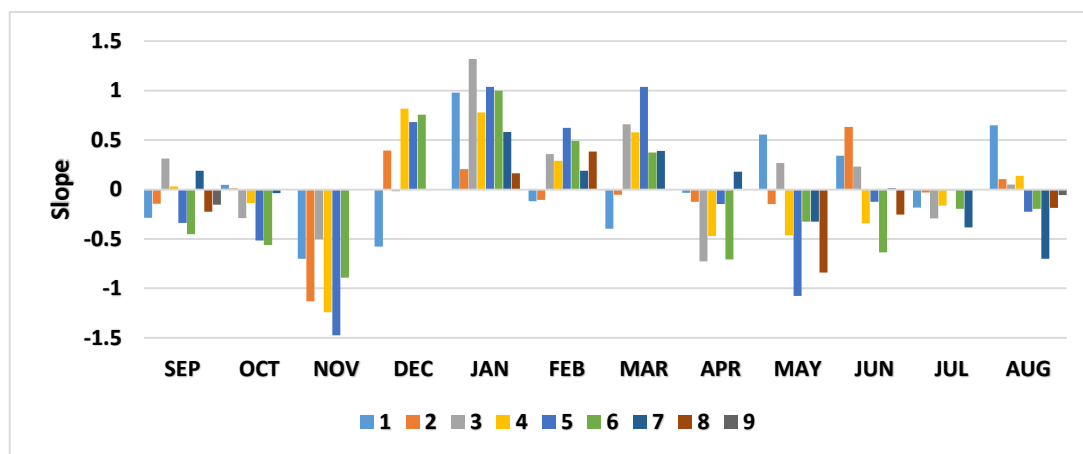
روند تغییرات گستره خشکسالی در نواحی خشکسالی ماهانه، در شکل‌های ۵ و ۶ آمده است. در شکل ۶ تغییرات مشهود و معنی‌دار افزایش خشکسالی در ماه ژانویه و کاهش آن در ماه نوامبر دیده می‌شود. کاهش گستره خشکسالی ماه نوامبر بیشتر در فلات مرکزی و سواحل جنوبی از جنوب‌غرب و جنوب کشور تا مرز شرقی را در ۳ ناحیه مجزا دربر می‌گیرد. افزایش گستره خشکسالی ژانویه نیز تقریباً در همین محدوده اما به طور واضح در شمال‌شرق و شرق و حتی بخش‌های شرقی سواحل خزری دیده می‌شود و روند افزایشی مرکز ایران و دامنه‌های شرقی زاگرس معنی‌دار نبوده است. در بین این دو ماه

یعنی در مارس دسامبر یک تضاد رفتاری در منتهی الیه جنوب‌شرق و شمال‌غرب کشور در روند تغییرات گستره خشکسالی دیده می‌شود، به طوری که این روند در شمال‌غرب کاهش و در جنوب‌شرق افزایشی است با این تفاوت که روند جنوب‌شرق در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار است. در مارس در شروع فصل بهار نیز مانند ژانویه روندهای افزایشی خشکسالی گرچه فقط در ناحیه مرکزی از شرق تا جنوب‌غرب و جنوب معنی‌دار بوده است، اکثر پهنه در ادامه در ماه آوریل فقط روند کاهش در مرکز ایران ولی غیر معنی‌دار دیده می‌شود. در ماه می این کاهش در جنوب‌شرق در سطح ۹۹٪ و در مرکز در سطح ۹۵٪ و در مقابل افزایش رخداد خشکسالی در نوار شمالی کشور از شمال‌غرب تا گلستان در سطح ۹۰٪ معنی‌دار بوده است. در کل الگوی مشاهده شده در این نقشه حاکی از افزایش رخداد خشکسالی و افزایش گستره آن در ماه‌های میانی فصل بارش به‌ویژه در نواحی شرق، شمال‌شرق، مرکز و غرب و جنوب‌غرب و کاهش آن در پاییز و انتهای فصل بهار است. همانند الگوهای مشاهده شده در نقشه‌های فصلی، نقشه‌های ماهانه با وضوح بیشتری تغییرات بارش و رخداد بی‌هنجاری‌ها در ماه‌های بارشی کشور و در نتیجه تغییر رژیم بارش کشور دارد. این ممکن است نشانگر افزایش تغییرات ماهانه و جابه‌جایی زمانی بارش باشد. افزایش تغییرات ماهانه گستره خشکسالی، احتمالاً ناشی از افزایش بی‌هنجاری‌های زمانی بارش در نقاط مختلف ایران در سال‌های اخیر باشد (Ghaedi, 2021؛ حیدری و همکاران، ۱۴۰۱؛ کریمی و حیدری، ۱۴۰۲).





شکل ۵. خوشه‌های مکانی و روند تغییرات ناحیه‌ای خشکسالی ماهانه (۱۹۷۹-۲۰۲۱).



شکل ۶. روند تغییرات گستره خشکسالی در خوشه‌های مکانی ماهانه (۱۹۷۰-۲۰۲۱)

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با دو هدف: الف) خوشه بندی مکانی و تعیین نواحی هم‌رخداد خشکسالی در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه، ب) بررسی روند تغییرات گستره خشکسالی در این نواحی انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که رفتار زمانی-مکانی خشکسالی در ایران به صورت یکپارچه و هماهنگ با ویژگی‌های جغرافیایی (ناهمواری و موقعیت) و اقلیمی (فعالیت سامانه‌های بارش‌زا) شکل گرفته است. تشکیل خوشه‌های مکانی رفتار خشکسالی متنوع در زمان‌های مختلف گویای این است که نقش تغییرات گردش جو و در نتیجه سامانه‌های بارش‌زای فصلی و ماهانه از نقش عوامل ثابت جغرافیایی بیشتر است.

تعداد و پهنه نواحی هم‌رخداد خشکسالی در مقیاس‌های زمانی متفاوت بوده و به طوری که از رخداد‌های سالانه به ماهانه، تعداد خوشه‌ها یا نواحی افزایش یافته است. با توجه به مقیاس مکانی (کشوری) تحلیل، در صورت مطالعه منطقه‌ای و با داده‌های دقت مکانی بالاتر، شناسایی نواحی محلی در داخل نواحی کلان فعلی محتمل است. همانطور که در شناسایی نواحی هم‌رخداد خشکسالی استان گیلان (خسروی و همکاران، ۱۳۹۱) که در این تحقیق در بزرگ ناحیه سواحل خزری و گاه تلفیق شده با شمال غرب دیده شد، ۴ ریزناحیه شناسایی شده است. از جهت دیگر همانگونه که تحقیق ووو و همکاران در کره جنوبی نشان داده است (Yoo et al., 2010) ممکن است رفتار یکی از ویژگی‌های خشکسالی (گستره، شدت، مدت) یک ناحیه همگن ایجاد کند ولی در دیگر ویژگی‌ها این همگنی وجود نداشته باشد یا ناحیه متفاوتی تشکیل شود، بنابراین پیشنهاد می‌شود ناحیه بندی خشکسالی براساس ویژگی مختلف آن در کشور بررسی و مورد توجه بیشتری قرار گیرد.

تفاوت و گاه تضاد در روند تغییرات خشکسالی‌های ماهانه و فصلی باعث شده، تغییرات سالانه روند معنی‌داری نشان ندهند. گرچه همین شرایط در مطالعات تغییرات بارش سالانه نیز دیده شده (ترابی‌پوده و همکاران، ۱۳۹۷) ولی در خشکسالی مشهودتر است. با این که روند تغییرات گستره خشکسالی فصل پاییز در اکثر نواحی خشکسالی این فصل کاهش یافته و در مقابل روند تغییرات در فصل زمستان تقریباً منطبق بر همان نواحی به‌ویژه در شرق کشور افزایش یافته است. در مقیاس ماهانه نیز در شروع فصل زمستان (دسامبر و ژانویه) و بهار (مارس) روند تغییرات خشکسالی‌ها به ترتیب در جنوب شرق، شرق-شمال شرق و مرکز افزایشی و در انتهای فصل پاییز (نوامبر) و بهار (آوریل و می) در مرکز، جنوب-جنوب شرق و شرق کاهش یافته است. این تضادها درون سالانه باعث شده است روند تغییرات معنی‌دار نباشد. این تغییرات درون سالانه و تضاد رفتاری روند می‌تواند ناشی از تغییرات الگوی گردش جو و در نتیجه فراوانی، شدت و محل فعالیت سامانه‌های

بارش‌زا (علیجانی و همکاران، ۱۴۰۰) باشد. همانطور که صادقی‌نیا و همکاران (۲۰۲۳) بیان داشتند که میانگین روزها بارشی در ایران کاهش ولی در مقابل میانگین شدت بارش افزایش یافته است (Sadeghinia et al. 2023). به هر صورت این شرایط به چالش‌های اقلیمی آینده ایران اشاره دارد و شاید یکی از نمودهای آن تغییر رژیم بارش باشد که پیامد آن می‌تواند اثرات محسوسی در بخش‌های منابع آب، اقتصاد داشته باشد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- آذرخشی، مریم؛ فرزادمهر، جلیل؛ اصلاح، مهدی و صحابی، حسین. (۱۳۹۲). بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب‌وهوایی ایران. *مرتع و آبخیزداری*، ۶۶ (۱)، ۱۶-۱.
- بارانی، نادر و کریمی، آیت‌اله. (۱۳۹۸). تحلیل روند سالانه پارامترهای اقلیمی دما و بارش در نواحی ده‌گانه زراعی-اکولوژیکی ایران. *علوم محیطی*، ۱۷ (۴)، ۷۵-۹۰. <https://doi.org/10.29252/ENVS.17.4.75>
- بلوچی، زیور؛ محمودی، پیمان و حمیدیان‌پور، محسن. (۱۴۰۰). تحلیل خشکسالی‌های محلی و منطقه‌ای ایران با استفاده از تئوری گردش‌ها و شاخص بارش استاندارد شده (SPI). *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۹ (۴۶)، ۵۳-۷۵.
- پیری، حلیمه؛ عباس‌زاده، محبوبه؛ راهداری، وحید و ملکی، سعیده. (۱۳۹۲). ارزیابی تطبیقی ۴ نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای (مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان). *مهندسی منابع آب*، ۶ (۱۷)، ۲۵-۳۶. <https://doi.org/20.1001.1.20086377.1392.6.17.3.1>
- ترابی‌پوده، حسن؛ ایزدجو، فرهاد و همه‌زاده، پرستو. (۱۳۹۷). تحلیل روند تغییرات بارش کل و بارش مؤثر در کل ایران. *پژوهش آب/ایران*، ۱۲ (۴)، ۱۰-۱.
- جوی‌زاده، سعید و حجازی‌زاده، زهرا. (۱۳۹۸). تحلیل آمار فضایی خشکسالی در ایران. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۹ (۵۳)، ۲۷۷-۲۵۱.
- حجازی‌زاده، زهرا؛ پژوه، فاطمه و شکیبیا، هانیه. (۱۴۰۰). واکاوی دقت شاخص‌های خشکسالی و تعیین بهترین شاخص اقلیمی در جنوب شرق ایران. *جغرافیا*، ۱۹ (۶۸)، ۲۱-۵. <https://doi.org/20.1001.1.27172996.1400.19.1.1.3>
- حسنعلی‌زاده، نفسیه؛ مساعدی، ابوالفضل؛ ظهیری، عبدالرضا و بابائزاد، منوچهر. (۱۳۹۳). تعیین نواحی همگن توزیع بارش سالانه در سطح استان گلستان با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و روس گشتاورهای خطی. *آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۸ (۵)، ۱۰۷۱-۱۰۶۱. <https://doi.org/10.22067/JSW.V0I0.26319.1061-1071>

- حیدری، سوسن؛ کریمی، مصطفی و بیرانوند، آذر. (۱۴۰۲). ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل ERA5 در تخمین بارش ایران و واکاوی فضایی رژیم بارشی کشور. *پژوهش‌های دانش زمین*، ۱۵ (۲)، ۱-۲۴. <https://doi.org/10.48308/esrj.2024.232757.1191>
- حیدری، سوسن؛ کریمی، مصطفی؛ عزیزی، قاسم و شمسی‌پور، علی اکبر. (۱۴۰۱). تبیین الگوهای مکانی شدت‌های خشکسالی در ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۹ (۴)، ۱-۲۰. <https://doi.org/20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4>
- حیدری، سوسن؛ کریمی، مصطفی؛ عزیزی، قاسم و شمسی‌پور، علی اکبر. (۱۴۰۲). کمی‌سازی، چالش اولیه ارزیابی و مدیریت ریسک خشکسالی. *کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*، ۱۱ (۱)، ۱۹۲-۲۰۶. <https://doi.org/10.22034/GRD.2023.20370.1588>
- خسروی، محمود؛ زهرایی، اکبر؛ حیدری، حسین و بنی‌نعمه، سارا. (۱۳۹۱). تعیین مناطق هم خشکسالی استان گیلان با استفاده از شاخص ناهنجاری بارش، ۱ (۳)، ۱-۲۰. <https://doi.org/10.22067/GEO.V1I3.13231>
- خسروی، محمود؛ شجاع، فائزه و پاکباز، هاجر. (۱۳۹۸). بررسی منابع تأمین رطوبت رویدادهای بارشی تابستانه جنوب‌شرقی ایران. *مهندسی منابع آب*، ۱۲ (۴۱)، ۱۲-۱۳۴. <https://doi.org/20.1001.1.20086377.1398.12.41.10.8>
- داداشی رودباری، عباسعلی و کیخسروی کیانی، محمد. (۱۳۹۵). واکاوی مکانی و زمانی روند بارش سالانه ایران طی سال‌های ۱۳۲۹ تا ۱۳۸۶. *محیط زیست و مهندسی آب*، ۲ (۲)، ۱۱۱-۱۲۱.
- دانشمند، حجت‌الله و محمودی، پیمان. (۱۳۹۵). تحلیل طیفی خشکسالی‌های ایران. *ژئوفیزیک ایران*، ۱۰ (۴)، ۲۸-۴۷.
- دوستان، رضا. (۱۳۹۴). تحلیل بر خشکسالی‌های ایران در نیم قرن گذشته. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۳۹۴ (۲۳)، ۱۸-۱.
- رضیعی، طیب. (۱۳۹۶). شناسایی رژیم‌های بارشی ایران با استفاده از روش‌های چند متغیره. *فیزیک زمین و فضا*، ۴۳ (۳)، ۶۷۳-۶۹۵. <https://doi.org/10.22059/JESPHYS.2017.60290>
- رورده، همت‌الله؛ قاسمی، جمال؛ یوسفی، یدالله و قاسمی، زهره. (۱۳۹۸). خوشه‌بندی بارش ایران با استفاده از روش نوین مبتنی بر کاربرد نگاشت SVD و خوشه‌بندی فازی FCM. *آمایش جغرافیایی فضا*، ۹ (۳۱)، ۱۱-۱۲۴. <https://doi.org/10.30488/GPS.2019.90113>
- صلاحی، برومند و فریدپور، مجتبی. (۱۳۹۵). تحلیل فضایی خشکسالی اقلیمی شمال‌غرب ایران با استفاده از آماره خودهمبستگی فضایی. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۳ (۳)، ۱-۲۰.
- علیجانی، بهلول؛ سلیقه، محمد، سلیقه، دارند، محمد و جاهدی، آرمان. (۱۴۰۰). تغییرات میانگین مداری و نصف‌النهاری بادهای غربی در دوره‌های تر و خشک غرب ایران. *نیوار*، ۴۵ (۱۱۲)، ۷۷-۹۰. <https://doi.org/10.30467/NIVAR.2021.276760.1183>
- علیجانی، بهلول؛ مفیدی، عباس؛ جعفرپور، زین‌العابدین و اکبری بیدختی، عباسعلی. (۱۳۹۰). الگوهای گردش جو بارش‌های تابستانه جنوب شرق ایران در ماه ژوئیه ۱۹۹۴. *فیزیک زمین و فضا*، ۳۷ (۳)، ۲۰۵-۲۲۷. <https://doi.org/20.1001.1.2538371.1390.37.3.15.0>
- غیور، حسنعلی؛ مسعودیان، سیدابوالفضل؛ آزادی، مجید و نوری، حمید. (۱۳۹۰). تحلیل زمانی و مکانی رویدادهای بارشی سواحل جنوبی خزر. *تحقیقات جغرافیایی*، ۲۵ (۱۰۰)، ۱-۳۰.
- فغانی، منیره؛ قربانی، خلیل و سالاری جزی، میثم. (۱۳۹۵). تحلیل تغییرات زمانی-مکانی خشکسالی‌های فصلی هواشناسی. *هواشناسی کشاورزی*، ۴ (۱)، ۱-۱۱.
- فغانی، منیره؛ قربانی، خلیل و سالاری جزی، میثم. (۱۳۹۵). خوشه‌بندی پهنه جغرافیایی ایران از لحاظ رخداد خشکسالی‌های بلندمدت هواشناسی، *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۰ (۵۹)، ۶۴۹-۶۵۹.
- قائمی، علیرضا؛ هاشمی منفرد، سیدآرمان؛ بحرپیما، عبدالحمید؛ محمودی، پیمان و ذونعمت کرمانی، محمد. (۱۴۰۱). تغییرات مکانی-زمانی ویژگی‌های خشکسالی پیش‌بینی شده ایران، تحت سناریوهای تغییر اقلیم. *هواشناسی و علوم جو*، ۵ (۱)، ۶۸-۸۰. <https://doi.org/10.22034/JMAS.2023.390166.1199>
- 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)، ۳۳-۵۴.
- 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>
- گرامی، محمد صالح. (۱۴۰۲). تحلیل زمانی-مکانی و مکانیسم بارش همرفتی در ایران. رساله دکتری، به راهنمایی مصطفی کریمی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- لشکری، حسن؛ کیانی، مهرداد و قائمی، هوشنگ. (۱۳۹۸). رخداد فرین بارشی فرین فصل زمستان بر روی ناهمواری‌های زاگرس در غرب ایران؛ مطالعه موردی ماه ژانویه. *مطالعات علوم محیط زیست*، ۴(۲)، ۱۳۶۲-۱۳۵۰.
- محمدی، بختیار. (۱۳۹۰). تحلیل روند بارش سالانه ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۲(۳)، ۱۰۶-۹۵. <https://doi.org/20.1001.1.20085362.1390.22.3.6.1>
- مسعودیان، سیدابوالفضل. (۱۳۹۰). *آب‌وهوای ایران*. چاپ اول، مشهد: شریعه توس.
- مسعودیان، سیدابوالفضل. (۱۴۰۲). بررسی آب‌وهوایشناختی بارش‌های سیل‌زای بهار ۱۳۹۸ در غرب ایران. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۲(۳۷)، ۱۱۶-۱۰۱. <https://doi.org/10.22111/JNEH.2022.43039.1914>
- میرا حسنی، مرضیه‌سادات؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ مدرس، رضا؛ سفیانیان، علیرضا؛ جعفری، رضا و محمدی، جهانگیر. (۱۳۹۷). پایش مکانی-زمانی خشکسالی هواشناسی براساس پهنه‌های خوشه‌های ایستگاهی در حوزه آبخیز زاینده‌رود. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۰(۴)، ۷۳۹-۷۶۰.
- نادی، مهدی و خلیلی، علی. (۱۳۹۲). طبقه‌بندی اقلیم بارش ایران با روش تحلیل عاملی-خوشه‌ای. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۴(۳)، ۲۴۲-۲۳۵. <https://doi.org/10.22059/IJSWR.2013.50213>
- ناظری تهرودی؛ محمد؛ خلیلی، کیوان و احمدی، فرشاد. (۱۳۹۵). تحلیل روند تغییرات ایستگاهی و منطقه‌ای بارش نیم قرن اخیر کشور ایران. *آب‌و خاک*، ۳۰(۲)، ۶۵۴-۶۴۳. <https://doi.org/10.22067/JSW.V30I2.39130.643-654>

References

- Abarghouei, H., Asadi Zarch, M.A., Dastorani, M.T., Kousari, M.R., & Safari Zarch, M. (2011). The survey of climatic drought trend in Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25, 851-863. <https://doi.org/10.1007/s00477-011-0491-7>
- Aliabad, F.A., hakimzadeh, M.A., & Shojaei, S. (2019). The impact of drought and decline in groundwater levels on the spread of sand dunes in the plain in Iran. *Sustainable Water Resources Management*, 5, 541-555. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0204-6>
- Alijani, B., Mofidi, A., & Aliakbari-Bidokhti, A. A. (2011). Atmospheric circulation patterns of the summertime rainfalls of southeastern Iran during July 1994. *Journal of the Earth and Space Physics*, 37(3), 205-227. <https://20.1001.1.2538371.1390.37.3.15.0> [In Persian].
- Alijani, B., Saligheh, M., Darand, M., & Jahedi, A. (2021). Mean Zonal and Meridional Variations of Westerlies in wet and dry periods in the western Iran. *Nivar*, 45(112-113), 77-90. <http://doi.org/10.30467/NIVAR.2021.276760.1183> [In Persian]
- Amirataee, B., & Montaseri, M. (2017). The performance of SPI and PNPI in analyzing the spatial and temporal trend of dry and wet periods over Iran. *Natural Hazards*, 86, 89-106. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2675-4>
- Azarakhshi, M., Farzadmehr, J., Eslah, M., & Sahabi, H. (2013). An Investigation on Trends of Annual and Seasonal Rainfall and Temperature in Different Climatologically Regions of Iran. *Journal of Range and Watershed Managment*, 66(1), 1-16. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2013.35324> [In Persian]
- Bahrami, M., Bazrkar, S., & Zarei, A.R. (2019). Modeling, prediction and trend assessment of drought in Iran using standardized precipitation index. *Journal of Water and Climate Change*, 10(1), pp.181-196. <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.174>
- Balouchi, Z., Mahmoudi, P., & Hamidianpour, M. (2022). Analyzing Iranâ s Local and Regional Droughts Using the Theory of Runs and Standardized Precipitation Index (SPI). *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 12(46), 53-75. [In Persian].

- Barani, N., & Karami, A. (2019). Annual trend analysis of climate parameters of temperature and precipitation in decuple agroecology regions of Iran, *Environmental Sciences*, 17(4), 75-90. <http://doi.org/10.29252/envs.17.4.75> [In Persian]
- Bonis, T., & Oudot, S. (2018). A fuzzy clustering algorithm for the mode-seeking framework. *Pattern Recognition Letters*, 102, 43-73.
- Byun, H.R., & Wilhite, D.A. (1999). Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of climate*, 12(9), 2747-2756. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<2747:OQODSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2747:OQODSA>2.0.CO;2)
- Cantos, J.O., Gil, A.M., & Amorós, A.M.R. (2000). Diferentes percepciones de la sequía en España: adaptación, catastrofismo e intentos de corrección. *Investigaciones Geográficas (España)*, (23), 5-46.
- Cordery, I., & McCall, M. (2000). A model for forecasting drought from teleconnections. *Water Resources Research*, 36(3), 763-768. <https://doi.org/10.1029/1999WR900318>
- Dadashi Roudbari, A., & Keykhosravi Kiani, M. (2016). Analysis of the Spatial and Temporal Trend of Annual Rainfall in Iran during 1950-2007. *Environment and Water Engineering*, 2(2), 111-121. [In Persian]
- Daneshmand, H. & Mahmoudi, P. (2017). A spectral analysis of Iran's droughts. *Iranian Journal of Geophysics*, 10(4), 28-47. [In Persian].
- 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>
- Daneshmand, H. and 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>
- De Carvalho, F.D.A., Lechevallier, Y., & De Melo, F.M. (2012). Partitioning hard clustering algorithms based on multiple dissimilarity matrices. *Pattern Recognition*, 45(1), 447-464. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2011.05.016>
- Doostan, R. (2015). Analysis of the Iran droughts in the past half century. *Journal of Climate research*, 1394(23), 1-18. [In Persian].
- Dracup, J.A., Lee, K.S., & Paulson Jr, E.G. (1980). On the statistical characteristics of drought events. *Water resources research*, 16(2), 289-296. <https://doi.org/10.1029/WR016i002p00289>
- Faghani, M., Ghorbani, K., & Salarijazi, M. (2016). Spatial-temporal analysis of seasonal meteorological drought. *Journal of Agricultural Meteorology*, 4(1), 1-11. [In Persian].
- Ferreira, M. R., de Carvalho, F. D. A., & Simões, E. C. (2016). Kernel based hard clustering methods with kernelization of the metric and automatic weighting of the variables. *Pattern Recognition*, 51, 310-321. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2015.09.025>
- Ghaedi, S. (2021). Anomalies of precipitation and drought in objectively derived climate regions of Iran. *Hungarian Geographical Bulletin*, 70(2), 163-174. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.70.2.5>
- Ghaemi, A., Hashemi Monfared, S. A., Bahrpeyma, A., Mahmoudi, P., & Zounemat-Kermani, M. (2022). Spatiotemporal variation of projected drought characteristics of Iran under the climate change scenarios. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 5(1), 68-80. <https://doi.org/10.22034/JMAS.2023.390166.1199> [In Persian].
- Ghajarnia, N., Akbari, M., Saemian, P., Ehsani, M.R., Hosseini Moghari, S.M., Azizian, A., Kalantari, Z., 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>
- Ghayor, H. A., Masoudian, S. A., Azadi, M., & Noori, H. (2011). Temporal and Spatial Analysis of Precipitation Events in the Southern Coasts of Caspian Sea. *Geographical Research*, 2011; 26(100): 1-30. [In Persian].
- Hasanalizadeh, N., Mosaedi, A., Zahiri, A., & Babanezhad, M., 2015. Determine of homogeneous regions distribution of annual rainfall in Golestan Province using clustering and L-moments. *Water and Soil*, 28(5), 1061-1071. [In Persian].
- Heidari, Karimi, M., S., Azizi, G., & Shamsipour, A. (2023). Explaining the spatial patterns of drought intensities in Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental hazards*, 9(4), 1-20.

- <https://doi.org/20.1001.1.24237892.1401.9.4.2.4> [In Persian].
- Heidari, S., Karimi, M., Azizi, G., & Shamsipour, A. (2023). Quantification, The first challenge of drought risk assessment and management. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 11(1), 192-206. <https://doi.org/10.22034/GRD.2023.20370.1588> [In Persian].
- Heidari, S., Karimi, M., & Beyranvand, A. (2024). Evaluation the performance of ERA5 Reanalysis Data in Iran's rainfall estimation and spatial analysis of the country's precipitation regime. *Researches in Earth Sciences*, 16(2). <https://doi.org/10.48308/esrj.2024.232757.1191>. [In Persian].
- Hejazizadeh, Z., Pajooch, F., & Shakiba, H. (2021). Analyzing the accuracy of drought indicators and determining the best climatic indicators in southeastern Iran. *Geography*, 19(68), 5-21. [In Persian].
- Heydari, H., Momeni, M., & Nadi, S., (2024). Innovative data clustering method improves drought prediction in heterogeneous landscapes using GEE-derived remote sensing indices. *Remote Sensing Applications*, 33, 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101112>.
- 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>
- Javizadeh, S., & hejazizadeh, Z. (2019). Analysis of Drought Spatial Statistics in Iran. *Applied Research in Geographical Sciences*, 19 (53), 251-277. [In Persian].
- Karimi, M., & Heidari, S. (2023). Variability and trend of changes in the severity-area of drought and wet in Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(36), 1-1. <https://doi.org/10.22111/JNEH.2022.42519.1905> [In Persian].
- Karimi, M., Heidari, S., & Rafati, S. (2021). The trend of atmospheric water cycle components (precipitation and precipitable water) in catchments of iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 8(2), 33-54. <https://doi.org/10.52547/jsaeh.8.2.33> [In Persian].
- Kendall M G. (1975). *Rank Correlation Methods*. 4th Edition Charles Griffin, London. 6 P.
- Khajeh, S., Paimozd, S., & Moghaddasi, M. (2017). Assessing the impact of climate changes on hydrological drought based on reservoir performance indices (case study: ZayandehRud River basin, Iran). *Water Resources Management*, 31, 2595-2610. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1642-5>
- Khosravi, M., Shoja, F., & Pakbaz, H. (2019). A Survey on the of the Summer Precipitation Events Moisture Supply Resources of Southeast of Iran'. *Water Resources Engineering*, 12(41), 127-144. [In Persian].
- Khosravi, M., Zahraei, A., Heydari, H., & Bani Naimeh, S., 2012. Designated drought regions of Gilan using rainfall anomaly index. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 1(3), pp.1-20. <https://doi.org/10.22067/GEO.V1I3.13231> [In Persian].
- Kiani, M., Lashkari, H., & Ghaemi, H. (2019). Extreme Precipitation Event of Winter Over the Zagros Mountains in Western Iran. *Journal of Environmental Science Studies*, 4(2), pp.1350-1362. [In Persian].
- Kogan, F.N. (1995). Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(5), 655-668. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1995\)076<0655:DOTLIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1995)076<0655:DOTLIT>2.0.CO;2)
- Kogan, F.N. (1997). Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(4), 621-636. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2)
- Lana, X., & Burgueño, A. (1998). Probabilities of repeated long dry episodes based on the Poisson distribution. An example for Catalonia (NE Spain). *Theoretical and Applied Climatology*, 60, 111-120. <https://doi.org/10.1007/s007040050037>
- Lentz, J.A. (2012). *Developing a geospatial protocol for coral epizootiology*. Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College.
- Lloyd Hughes, B., & Saunders, M.A. (2002). Seasonal prediction of European spring precipitation from El Niño–Southern Oscillation and local sea surface temperatures. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 22(1), 1-14. <https://doi.org/10.1002/joc.723>
- Mahmoudi, P., Maity, R., Amir Jahanshahi, S.M., & Chanda, K. (2022). Changing spectral patterns of long term drought propensity in Iran through reliability–resilience–vulnerability

- based Drought Management Index. *International Journal of Climatology*, 42(8), pp.4147-4163. <https://doi.org/10.1002/joc.7454>
- Mann H B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245–259.
- Mansouri Daneshvar, M.R., Bagherzadeh, A., & Khosravi, M. (2013). Assessment of drought hazard impact on wheat cultivation using standardized precipitation index in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 6, pp.4463–4473. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0695-2>
- Masoodian, S.A. (2023). A Climatological Survey of Spring of 2019 Flood-causing precipitations in the western parts of Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(37), 101-116. <https://doi.org/10.22111/JNEH.2022.43039.1914> [In Persian].
- Masoudian, S.A. (2011). *Climate of Iran*. first edition, Mashhad: *Sharia Tos*. [In Persian].
- Mirahsani, M.S., Mahini, A.S., Moddares, R., Soffianian, A., Jafari, R., & Mohhamadi, J. (2018). Spatio-temporal monitoring of meteorological drought based on the zoning of station clusters in Zayandeh-rud Basin. *Watershed Engineering and Management*, 10(4), 739-760. [In Persian].
- Modarres, R., & da Silva, V.D.P.R. (2007). Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of arid environments*, 70(2), 344-355. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.12.024>
- 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>
- Moghbeli, A., Delbari, M., & Amiri, M. (2020). Application of a standardized precipitation index for mapping drought severity in an arid climate region, southeastern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5201-7>
- Mohammadi, B. (2011). Trend Analysis of annual rainfall over Iran. *Geography and Environmental Planning*, 22(3), 95-106. <https://doi.org/20.1001.1.20085362.1390.22.3.6.1> [In Persian]
- Mosaffa, H., Sadeghi, M., Hayatbini, N., Afzali Goroooh, V., Akbari Asanjan, A., Nguyen, P., & Sorooshian, S., 2020. Spatiotemporal variations of precipitation over Iran using the high-resolution and nearly four decades satellite-based PERSIANN-CDR dataset. *Remote Sensing*, 12(10), 1584. <https://doi.org/10.3390/rs12101584>
- Nadi, M., & Khalili, A. (2013). Classification of Iran's precipitation climate using factor-cluster analysis method. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 44(3), 235-242. <https://doi.org/10.22059/IJSWR.2013.50213> [In Persian].
- Namias, J. (1983). Some causes of United States drought. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 22(1), 30-39. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1983\)022<0030:SCOUSD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1983)022<0030:SCOUSD>2.0.CO;2)
- Nazeri Tahrudi, M., Khalili, K., & Ahmadi, F. (2016). Spatial and regional analysis of precipitation trend over Iran in the last half of century. *Water and Soil*, 30(2), 643-654. <http://doi.org/10.22067/JSW.V30I2.39130> [In Persian]
- Nouri, M., & Homae, M. (2020). Drought trend, frequency and extremity across a wide range of climates over Iran. *Meteorological Applications*, 27(2), p.e1899. <https://doi.org/10.1002/met.1899>
- Paul, B.K. (1998). Coping mechanisms practised by drought victims (1994/5) in North Bengal, Bangladesh. *Applied geography*, 18(4), 355-373. [https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(98\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(98)00026-5)
- Piri, H., Abbaszadeh, M., Rahdari, V. & Maleki, S., 2013. Comparative evaluation of four meteorological drought indices using the cluster analysis (Case study: Sistan and Baluchestan). *Water Resources Engineering*, 6(Vol6/No17/Summer 2013), 25-36. <https://doi.org/20.1001.1.20086377.1392.6.17.3.1> [In Persian].
- 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>
- Quiring, S.M., & Papakryiakou, T.N. (2003). An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. *Agricultural and forest meteorology*, 118(1-2), pp.49-62. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(03\)00072-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(03)00072-8)
- Ramos, M.C. (2001). Divisive and hierarchical clustering techniques to analyse variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region. *Atmospheric Research*, 57(2), 123-138. [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(01\)00065-5](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(01)00065-5)
- Raziei, T. (2017). Identification of precipitation regimes of Iran using multivariate

- methods. *Journal of the Earth and Space Physics*, 43(3), 673-695. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2017.60290>. [In Persian].
- Ropelewski, C.F., & Halpert, M.S. (1987). Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly weather review*, 115(8), 1606-1626. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115<1606:GARSPP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115<1606:GARSPP>2.0.CO;2)
- Ropelewski, C.F. and Halpert, M.S. (1989). Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *Journal of climate*, pp.268-284.
- Roradeh, H., Ghasemi, J., Yousefi, Y. and Ghasemi, Z. (2019). Clustering the rainfall of Iran with using new approach based on Singular Value Decomposition Mapping and Fuzzy C-Means Clustering. *Geographical Planning of Space*, 9(31), 113-124. <https://doi.org/10.30488/gps.2019.90113>. [In Persian].
- Rostamian, R., Eslamian, S. and Farzaneh, M.R. (2013). Application of standardised precipitation index for predicting meteorological drought intensity in Beheshtabad watershed, central Iran. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 3(1), 63-76. <https://doi.org/10.1504/IJHST.2013.055233>
- Sadeghinia, A., Nazaripour, H., & Rafati, S. (2023). Changes in Classified Precipitation in Iran. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*, (25), 23-38. <http://doi.org/10.12775/bgeo-2023-0007>
- salahi B, faridpour M. 2016. Spatial analysis of climatic drought in North West of Iran using spatial autocorrelation statistics. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 3 (3), 1-20. [In Persian].
- Sert, S.A., Bagci, H., & Yazici, A. (2015). MOFCA: multi-objective fuzzy clustering algorithm for wireless sensor networks. *Applied Soft Computing*, 30, 151-165. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.11.063>.
- Sharafi, L., Zarafshani, K., Keshavarz, M., Azadi, H., & Van Passel, S. (2020). Drought risk assessment: Towards drought early warning system and sustainable environment in western Iran. *Ecological Indicators*, 114, 106276. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106276>
- Somorowska, U. (2017). Soil water storage in Poland over the years 2000-2015 in response to precipitation variability as retrieved from GLDAS Noah simulations. *Geographia Polonica*, 90(1), 53-64. <https://doi.org/10.7163/GPol.0078>
- Svoboda, M., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M., Stooksbury, D., & Miskus, D. (2002). The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1181-1190. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1181>
- Szabó, S., Szopos, N.M., Bertalan-Balázs, B., László, E., Milošević, D.D., Conoscenti, C., & Lázár, I. (2019). Geospatial analysis of drought tendencies in the Carpathians as reflected in a 50-year time series. *Hungarian Geographical Bulletin*, 68(3), 269-282. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.68.3.5>
- Tabari, H., Abghari, H., & Hosseinzadeh Talaei, P. (2012). Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semiarid regions of Iran. *Hydrological Processes*, 26(22), 3351-3361. <https://doi.org/10.1002/hyp.8460>
- Torabi Poudeh, H., Izadjoo, F., & Hamezade, P. (2018). The trend changing analysis of total and effective rainfall in Iran'. *Iranian Water Researches Journal*, 12(4), 1-10. [In Persian]
- Van Rooy, M. P. (1965). A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, 14, 43-48.
- Vicente Serrano, S.M., & Beguería Portugués, S. (2003). Estimating extreme dry spell risk in the middle Ebro valley (northeastern Spain): a comparative analysis of partial duration series with a general Pareto distribution and annual maxima series with a Gumbel distribution. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 23(9), 1103-1118. <https://doi.org/10.1002/joc.934>
- Wilhite, D.A., & Svoboda, M.D. (2000). Drought early warning systems in the context of drought preparedness and mitigation. *Early warning systems for drought preparedness and drought management*, pp.1-21.
- Xie, P., Lei, X., Zhang, Y., Wang, M., Han, I., Chen, Q. (2018). Cluster analysis of drought

- variation and its mutation characteristics in Xinjiang province, during 1961–2015. *Hydrology Research*, 49 (4): 1016–1027. <https://doi.org/10.2166/nh.2018.105>
- Yan, N., Tian, F., Wu, B., Zhu, W., & Yu, M. (2018). Spatiotemporal analysis of actual evapotranspiration and its causes in the Hai Basin. *Remote Sensing*, 10(2), 332. <https://doi.org/10.3390/rs10020332>
- Yoo, J., Kwon, H. H., Kim, Tae-Woong. A., & Jae-Hyun. (2012). Drought frequency analysis using cluster analysis and bivariate probability distribution. *Journal of Hydrology*, 420-421, 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.046>
- Zarei, A.R., & Masoudi, M. (2019). Trend assessment of climate changes in Iran. *EQA-International Journal of Environmental Quality*, 34, 1-16. <https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/8202>
- Zarei, A.R. (2018). Evaluation of drought condition in arid and semi-arid regions, using RDI index. *Water Resources Management*, 32, 1689-1711. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1898-9>
- Zarei, A.R., Moghimi, M.M., & Mahmoudi, M.R. (2016). Analysis of changes in spatial pattern of drought using RDI index in south of Iran. *Water resources management*, 30, 3723-3743. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1380-0>

