



Lorestan University

Applied Research in Natural Resources Engineering

Journal Homepage: <https://arne.lu.ac.ir/>

Propagation of Meteorological Drought to Hydrological and Hydrogeological Drought in Iran

Ali Nouri¹, Vahid Moosavi² and Hamidreza Moradi Rekabdarkalai³

1. MSc student in Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University.
2. Assistant Professor, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. Corresponding author. Email: v.moosavi@modares.ac.ir
2. Professor, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 03 March 2026
Received in revised form
02 June 2026
Accepted 16 June 2026
Available online 01
August 2026

Keywords:
Meteorological drought,
hydrological drought,
hydrogeological drought,
propagation, pearson
correlation

ABSTRACT

In recent years, the occurrence of drought has grown significantly in many countries. There is a close relationship among different types of drought (meteorological, hydrological, and hydrogeological), which involves their mutual influence and transformation. Groundwater is of great importance for combating drought, drinking water supply, food production, and other uses. In arid and semi-arid regions of the world, including Iran, the preservation and management of groundwater resources are of paramount importance. Groundwater drought can cause substantial damage to society and the economy and is usually closely related to meteorological droughts. Investigating the dynamic propagation and the influencing factors in the transition from meteorological drought to groundwater drought is useful for monitoring and assessing groundwater drought risk. Therefore, understanding and examining drought propagation is crucial for early drought warning. The aim of this study is to calculate the propagation time between different types of drought using the Pearson correlation method in Iran. In this research, meteorological, hydrological, and hydrogeological drought indices were calculated using satellite data over a 20-year period. The results showed that meteorological drought intensifies with increasing temperature and potential evapotranspiration in the central region of Iran, leading to a stronger impact of meteorological drought on hydrological drought. In high mountainous areas, the propagation time from meteorological to hydrological drought is longer, which can be attributed to the phase change of precipitation from rain to snow during winter and spring. Additionally, the propagation time from meteorological to hydrogeological drought is noticeably longer than that from meteorological to hydrological drought, which is due to the delayed response of groundwater resources to precipitation changes.

Cite this article: Nouri, A., & et al., (2026). Propagation of Meteorological Drought to Hydrological and Hydrogeological Drought in Iran. *Applied Research in Natural Resources Engineering*, 1 (1), <https://doi.org/10.22034/arne.2026.1.1.12>



© Author(s) retain the copyright.

Publisher: University of Lorestan.

DOI: <https://doi.org/10.22034/arne.2026.1.1.12>

Introduction

In recent decades, drought occurrence has grown significantly in many countries, emerging as one of the most devastating natural phenomena with impacts on agriculture and the environment surpassing those of other natural disasters. Droughts are broadly classified into four main categories: meteorological, agricultural, hydrological, and socio-economic, with close interrelationships enabling transformation from one type to another. Groundwater resources are critically important for combating drought, supplying drinking water, ensuring food production, and supporting economic development. In arid and semi-arid regions, including Iran, where average annual precipitation is insufficient to meet water demands, sustainable groundwater management is paramount. Groundwater drought can cause substantial socioeconomic damage including land subsidence, seawater intrusion, and permanent loss of storage capacity, and is closely linked to meteorological drought. Understanding the dynamic propagation and influencing factors in the transition from meteorological to groundwater drought is essential for monitoring, risk assessment, and early warning systems. Despite the recognized importance of drought propagation, research on this phenomenon in Iran remains limited. The propagation from meteorological to hydrological drought involves complex hydrological processes including evapotranspiration, soil moisture dynamics, and runoff generation, while the transition to groundwater incorporates additional delays associated with infiltration, percolation, and aquifer storage. Various factors including climate conditions, topography, geological characteristics, and land use influence propagation times. The identification of propagation patterns can enable timely drought prediction, reduce agricultural losses, and support integrated water resource management. This study aims to calculate the propagation time from meteorological drought to hydrological and hydrogeological drought across Iran's major watersheds, employing satellite-derived data and Pearson correlation analysis to characterize spatial and temporal patterns and provide essential information for drought monitoring and early warning systems in Iran's diverse climatic zones.

Methodology

This study utilized satellite-derived data from the Google Earth Engine platform over a 20-year period (2003–2022), with precipitation data at 5-day temporal resolution and groundwater storage and surface flow data from GLDAS reanalysis products. Data were converted to monthly time scales using MATLAB and overlaid using ENVI software. The Standardized Precipitation Index (SPI) was calculated for meteorological drought based on the deviation of monthly precipitation from the long-term mean divided by the standard deviation. Hydrological drought was assessed using the Streamflow Drought Index (SDI), calculated from cumulative streamflow volumes across different hydrological periods. Hydrogeological drought was quantified using the Standardized Groundwater Index (SGI) derived from groundwater storage anomalies. Drought propagation times were determined using Pearson correlation analysis between drought indices across various time lags in 6 major watersheds and 6 climatic zones of Iran. The correlation coefficient method was applied to quantify the relationship between SPI and SDI, and subsequently between SDI and SGI, generating spatial maps of propagation time using ArcMAP software. This systematic approach enabled comprehensive analysis of drought propagation across Iran's diverse physiographic and climatic regions.

Results and Discussion

The spatial analysis of drought propagation from meteorological to hydrological drought revealed distinct regional patterns across Iran. The central region, encompassing the largest watershed with extensive plains and low-precipitation desert areas, exhibited the shortest propagation time (2 months), where intense, short-duration rainfall events rapidly convert to surface runoff with minimal infiltration, accelerating drought onset. Conversely, high mountainous regions showed significantly longer propagation times, attributed to precipitation phase change from rain to snow during winter and spring, delayed snowmelt, and enhanced soil infiltration and baseflow contributions. Analysis across six climatic zones demonstrated that propagation time from meteorological to hydrological drought was shortest in very dry regions (approximately 2 months) and progressively increased in wetter climates, reflecting greater water storage capacity and diverse hydrological pathways. The propagation from meteorological to hydrogeological drought was consistently longer than the meteorological-hydrological transition across all regions, averaging 4–6 months due to the delayed response of groundwater systems to precipitation changes, controlled by infiltration rates, vadose zone thickness, aquifer properties, and groundwater flow velocities. The combined propagation maps indicated that groundwater storage responds substantially later than surface water systems, with 68% of hydrogeological drought variance explained by meteorological drought, suggesting that additional non-precipitation factors including temperature, evapotranspiration, and anthropogenic activities influence groundwater drought occurrence. These findings highlight that short-term meteorological drought indices serve as appropriate indicators for hydrological drought assessment, while long-term indices are more suitable for predicting groundwater drought conditions.

Conclusion

This study successfully quantified drought propagation times from meteorological to hydrological and hydrogeological droughts across Iran's major watersheds using satellite data and Pearson correlation analysis. The results demonstrate that propagation time varies considerably across different climatic and physiographic regions, with arid central areas exhibiting the shortest propagation (approximately 2 months) due to rapid rainfall-runoff responses, while high mountains show longer propagation due to snow storage and groundwater contributions. The time lag from meteorological to hydrogeological drought is consistently greater than the meteorological-hydrological transition across all regions, reflecting the inherent buffering capacity and delayed response of groundwater systems. These findings establish that short-term meteorological drought indices are more appropriate for predicting hydrological drought, whereas long-term meteorological drought conditions better indicate groundwater drought development. Understanding these spatiotemporal propagation patterns is crucial for developing early warning systems, improving water resource allocation, implementing sustainable groundwater management, and enhancing drought preparedness across Iran's diverse climatic regions. The study highlights the value of satellite-based monitoring and correlation analysis for characterizing drought propagation, providing essential tools for water managers and policymakers to mitigate drought impacts and ensure water security.



پژوهش های کاربردی مهندسی منابع طبیعی

Journal Homepage: <https://arne.lu.ac.ir/>

دانشگاه لرستان

انتشار خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدرولوژی و هیدروژئولوژی در ایران

علی نوری^۱، وحید موسوی^۲ و حمیدرضا مرادی رکابدار کلائی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

۲. استادیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، نویسنده مسئول. رایانامه: v.moosavi@modares.ac.ir

۳. استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۱۰ کلیدواژه‌ها: خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژی، خشکسالی هیدروژئولوژی، انتشار، همبستگی پیرسون	در سال های گذشته رویداد خشکسالی در بسیاری از کشورها رشد حداکثری داشته است. بین انواع مختلف خشکسالی (هواشناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی)، رابطه نزدیکی وجود دارد که تأثیر و تبدیل به یکدیگر را به همراه دارد. در این بین آب زیرزمینی برای مبارزه با خشکسالی، استفاده شرب، تولید مواد غذایی و... بسیار دارای اهمیت می باشد. در مناطق خشک و نیمه خشک جهان از جمله ایران، حفظ و مدیریت منابع آب زیرزمینی اهمیت بسیار بالایی دارد. خشکسالی آب زیرزمینی می تواند باعث خسارات عظیمی به جامعه و اقتصاد شود و معمولاً با خشکسالی های هواشناسی رابطه نزدیکی دارد. بررسی انتشار پویا و عوامل تأثیرگذار بر انتشار از خشکسالی هواشناسی تا خشکسالی آب زیرزمینی مفید است تا خطر خشکسالی آب زیرزمینی را نظارت و ارزیابی کرد. بنابراین درک و بررسی انتشار خشکسالی ها برای هشدار اولیه خشکسالی بسیار مهم است. هدف این پژوهش محاسبه زمان انتشار بین انواع خشکسالی ها با روش همبستگی پیرسون در کشور ایران است. در این پژوهش شاخص های خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی با استفاده از داده های ماهواره ای در بازه ۲۰ ساله محاسبه شدند. نتایج نشان داد که خشکسالی هواشناسی با افزایش دما و تبخیر و تعرق پتانسیل در ناحیه ایران مرکزی تشدید می شود و باعث اثرگذاری شدیدتر خشکسالی هواشناسی بر خشکسالی هیدرولوژی خواهد شد و در مناطق مرتفع کوهستانی زمان انتشار خشکسالی هواشناسی به هیدرولوژی بیشتر است که دلیل آن را می توان تغییر فاز بارش به برف در فصل های زمستان و بهار دانست. همچنین زمان انتشار خشکسالی های هواشناسی به خشکسالی هیدروژئولوژی به طور محسوسی بیشتر از زمان انتشار خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدرولوژی است که این امر ناشی از پاسخ دیرتر منابع آب زیرزمینی به تغییرات بارش است.

استناد: نوری، علی و همکاران. (۱۴۰۵). انتشار خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدرولوژی و هیدروژئولوژی در ایران. *پژوهش های کاربردی مهندسی منابع طبیعی*,<https://doi.org/10.22034/arne.2026.1.1.12> (۱)

نویسندگان. ©

ناشر: انتشارات دانشگاه لرستان.

مقدمه

در دهه‌های اخیر، رویداد خشکسالی در بسیاری از کشورها رشد حداکثری داشته است (Lee و همکاران، ۲۰۱۶). این پدیده یکی از بزرگترین رخدادهای طبیعی است که اثر آن بر کشاورزی و محیط زیست بیشتر از سایر بلایای طبیعی خواهد بود (Jia و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به انواع مختلف کمبود آب، خشکسالی‌ها به چهار دسته‌ی اصلی خشکسالی هواشناسی^۱، کشاورزی^۲، هیدرولوژیک^۳ و اجتماعی-اقتصادی^۴ تقسیم می‌شوند (Abatzoglou و همکاران، ۲۰۱۳). بین انواع مختلف خشکسالی، رابطه نزدیکی وجود دارد که تأثیر و تبدیل به یکدیگر را می‌تواند به همراه داشته باشد (Peters-Lidard و همکاران، ۲۰۲۱). به‌طور کلی، خشکسالی‌ها می‌توانند به کاهش میزان کمیت و کیفیت آب زیرزمینی^۵، کاهش تولید محصولات کشاورزی، کاهش تأمین آب شرب، افزایش هزینه‌های آب، افزایش خطر آتش‌سوزی و کاهش کیفیت هوا، خسارات به بهداشت عمومی و افزایش نیاز به واردات محصولات کشاورزی منجر شوند (Singh و Mishra، ۲۰۱۰؛ Guo و همکاران، ۲۰۱۹). خشکسالی می‌تواند به‌عنوان کاهش موقت در دسترسی به آب در طول یک دوره معنادار توصیف شود و منابع سطحی و آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و ممکن است بر اکوسیستم‌های آسیب‌پذیر تأثیر بگذارد (Ridder و همکاران، ۲۰۲۰؛ Wossenyeleh و همکاران، ۲۰۲۱). در این بین آب زیرزمینی برای مبارزه با خشکسالی، استفاده شرب، تولید مواد غذایی و حتی در توسعه اقتصادی کشور بسیار دارای اهمیت می‌باشد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران، که میانگین بارندگی سالانه آن کفایت نیاز آبی را نمی‌دهد، حفظ و مدیریت منابع آب زیرزمینی اهمیت بسیار بالایی داشته و آگاهی از چگونگی تغییرات مکانی و زمانی سفره‌ها و همچنین ساختار ریاضی تغییرپذیر، به منظور مدیریت بهینه اطلاعات مهمی در اختیار مدیران قرار می‌دهد (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۵). منابع آب‌های زیرزمینی به‌عنوان اصلی‌ترین و مهمترین منبع آب شرب، کشاورزی و صنعت به‌شمار می‌روند (موسوی و همکاران، ۱۳۹۹). بررسی انتشار^۶ خشکسالی از هواشناسی به خشکسالی هیدرولوژیک و عوامل تأثیرگذار بر آن، می‌تواند به شناسایی فرآیند گسترش خشکسالی و کمک به کنترل آن کمک کند. انتشار خشکسالی‌های هواشناسی در چرخه آب محدود به خشکسالی‌های هیدرولوژیک و کشاورزی نیست، بلکه شامل خشکسالی آب زیرزمینی نیز می‌شود. خشکسالی آب زیرزمینی می‌تواند باعث خسارات عظیمی به جامعه و اقتصاد شود، به‌ویژه باعث فرونشست زمین، نفوذ آب دریا و از بین رفتن دائمی ظرفیت ذخیره‌سازی آب زیرزمینی می‌شود و معمولاً با خشکسالی‌های هواشناسی رابطه نزدیکی دارد (Han و همکاران، ۲۰۲۱). خشکسالی هواشناسی به‌عنوان نقطه شروع خشکسالی هیدرولوژیک به‌عنوان دوره‌هایی با سطوح آب نامتعارف در دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، آب زیرزمینی و مخازن ذخیره آب تعریف می‌شود. هنگامی که خشکسالی هواشناسی به سامانه آب زیرزمینی منتقل می‌شود، به سرعت شناسایی نمی‌شود و فقط زمانی که سطح آب زیرزمینی به میزان کافی کاهش می‌یابد تا برای کشاورزی و مصارف آبی دیگر کمبود آب ایجاد شود، خشکسالی آب زیرزمینی شناسایی می‌شود (Singh و Mishra، ۲۰۱۰). بررسی انتشار خشکسالی از هواشناسی به خشکسالی هیدرولوژیک و عوامل تأثیرگذار بر آن، می‌تواند به شناسایی فرآیند گسترش خشکسالی و کنترل آن کمک کند. خشکسالی آب زیرزمینی می‌تواند باعث خسارات عظیمی به جامعه و اقتصاد شود، به‌ویژه باعث فرونشست زمین، نفوذ آب دریا و از بین رفتن دائمی ظرفیت ذخیره‌سازی آب زیرزمینی می‌شود و معمولاً با خشکسالی‌های هواشناسی رابطه نزدیکی دارد (Han و همکاران، ۲۰۲۱). بررسی انتشار پویا و عوامل تأثیرگذار بر انتشار از خشکسالی هواشناسی تا خشکسالی آب زیرزمینی مفید است تا خطر خشکسالی آب زیرزمینی را نظارت و ارزیابی کرد. بنابراین درک و بررسی انتشار خشکسالی‌ها برای هشدار اولیه خشکسالی بسیار مهم است (Faiz و همکاران، ۲۰۲۳). مطالعه در زمینه انتقال و انتشار خشکسالی در یک دهه‌ی گذشته مورد توجه قرار گرفته است و یافت شده است که ارتباط قابل‌توجهی بین

¹ Meteorological drought

² Agricultural drought

³ Hydrological drought

⁴ Socio-economic drought

⁵ Ground Water Surface

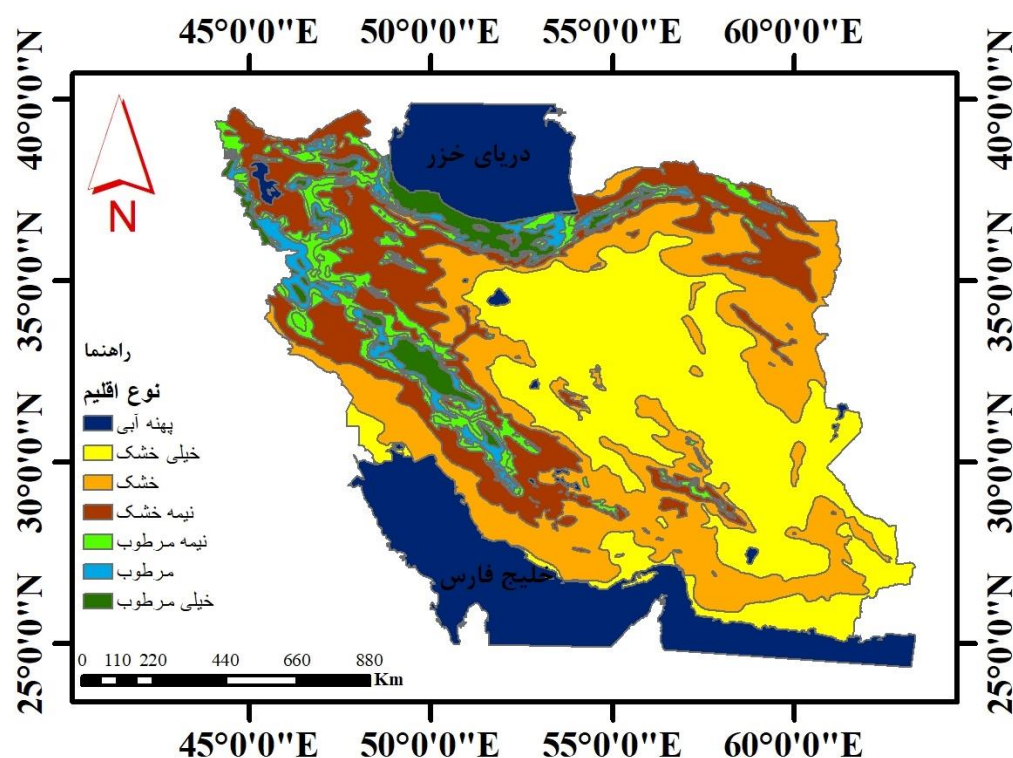
⁶ Propagation

خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیک وجود دارد. با این حال، درک ما از انتقال خشکسالی محدود است. به دلیل زمان تأخیر بین خشکسالی ها و تغییرات مکانی و زمانی و متغیرهای مرتبط با خشکسالی، اگر انتقال و انتشار خشکسالی اندازه گیری شود، پیش بینی به موقع خشکسالی ها ممکن خواهد بود و چنین ابزاری برای مدیران منابع آبی بسیار مفید خواهد بود. در کل، پیش بینی خشکسالی متکی بر دقت و صحت پیش بینی خشکسالی هواشناسی است و برای اینکه بتوان از پدیده خشکسالی هیدرولوژیک جلوگیری کرد و آسیب های آن را کاهش داد، باید از روش های پیش بینی مؤثر و دقیق استفاده کرد و در عین حال، اقدامات بهبود مدیریت منابع آب و کاهش مصرف آب را نیز در نظر گرفت. هدف پژوهش حاضر محاسبه زمان انتشار خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدرولوژیک و خشکسالی هیدروژئولوژیک در محدوده آبخوان های کشور می باشد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه کشور ایران با وسعت ۱۶۴۸،۱۹۵ کیلومتر مربع است که در مختصات جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی جای دارد و در نیمه ی جنوبی منطقه معتدل شمالی قرار دارد. سرزمین ایران بطور کلی کوهستانی و نیمه خشک بوده و میانگین ارتفاع آن بیش از ۱۲۰۰ متر از سطح دریاست. بیش از نیمی از مساحت کشور را کوه ها و ارتفاعات و بخش بزرگی را مناطق خشک و بیابانی تشکیل می دهد. میانگین بارش سالانه در کشور نیز در حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی متر است (تیموری و بذرافشان، ۱۳۹۵). در سطح کشور محاسبه زمان انتشار خشکسالی ها در ۶ حوزه آبخیز اصلی و درجه ۱ و ۶ طبقه بندی اقلیمی اصلی صورت پذیرفته است (شکل ۱ و ۲).



شکل ۱. موقعیت کشور ایران با اقلیم ها



شکل ۲. موقعیت ۶ حوزه درجه ۱ و اصلی کشور

مواد

در ابتدا تصاویر مربوط به بارش سالانه در یک دوره ۲۰ ساله از ابتدای سال ۲۰۰۳ تا انتهای سال ۲۰۲۲ کشور از پایگاه Google Earth Engine دانلود شد که این تصاویر دارای قدرت تفکیک زمانی ۵ روزه است. علت انتخاب این دوره زمانی نبود داده‌های بارش قبل از سال ۲۰۰۳ بوده است. سپس با استفاده از داده‌های ماهواره GLDAS مربوط به سطح آب زیرزمینی و جریان سطحی در همین دوره زمانی دریافت شد. در گام بعد با استفاده از زبان برنامه‌نویسی MATLAB داده‌ها به مقیاس زمانی ماهانه تبدیل و در نرم‌افزار ENVI روی هم‌گذاری شدند.

روش‌ها

خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI^۱ محاسبه شد (Mackee و همکاران، ۱۹۹۳). شاخص SPI بر اساس اختلاف میان مقدار بارندگی در هر ماه و میانگین بارندگی در دوره زمانی مشخص تقسیم بر انحراف معیار بارندگی محاسبه گردید. شاخص خشکسالی (SPI) به عنوان یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی و پایش خشکسالی، به طور گسترده‌ای در حوزه هواشناسی و مدیریت منابع آب استفاده می‌شود. برای محاسبه SPI، معمولاً از توزیع گاما استفاده می‌شود که به دلیل دارا بودن پارامتر موقعیت و پارامتر مقیاس، قابلیت تطبیق با نوع مختلف داده‌های بارش را دارد. برای محاسبه SPI با استفاده از تابع گاما ابتدا مقدار بارش ماهانه در یک منطقه به طول n ماه به دست می‌آید. سپس میانگین ماهانه بارش در این دوره محاسبه می‌شود:

$$Z = (X - X_{\text{mean}}) / S \quad (1)$$

¹ Standardized Precipitation Index.

که در آن X مقدار بارش ماهانه، X_{mean} میانگین ماهانه بارش در دوره مشخص، S انحراف استاندارد بارش ماهانه در دوره مشخص است (سیاسر و شهردازی، ۱۳۹۴).

خشکسالی هیدرولوژیک با شاخص خشکسالی جریان (SDI^1) محاسبه شد. از آنجایی که این شاخص مشابه شاخص SPI است، کارایی یکسانی دارد. مزیت این شاخص کنترل خشکسالی هیدرولوژیک یا در مقدار جریان آب در کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت است زیرا بر اساس آن مقدار جریان مشاهده شده ماهانه در مقیاس های زمانی مختلف در دسترس است. SDI برای هر دوره مرجع k از سال هیدرولوژی به صورت رابطه (۲) بر اساس حجم جریان تجمعی V_i تعریف می شود:

$$SDI = (V_{i,k}) / SK \quad (2)$$

که در آن $k=1,2,3,4$ و $i=1,2;\dots$ هستند. از آنجایی که این شاخص در یک دوره نسبتاً طولانی محاسبه می شود، V_{km} و SK به ترتیب میانگین و انحراف معیار حجم جریان تجمعی از دوره مرجع k هستند (درگاهیان و همکاران، ۱۳۹۹).

خشکسالی آب زیرزمینی با داده های ماهواره $GLDAS$ به وسیله شاخص استاندارد آب زیرزمینی (SGI^2) محاسبه گردید. ابتدا یک دوره پایه که نشان دهنده شرایط عادی یا متوسط آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه باشد تعیین و میانگین ذخیره آب زیرزمینی ($GWS_baseline$) در این دوره با استفاده از داده های GWS_avg محاسبه شد. سپس در محاسبه ناهنجاری با کم کردن مقدار GWS_avg در آن زمان از مقدار $GWS_baseline$ ، ناهنجاری GWS برای هر مرحله زمانی محاسبه گردید. در گام بعد انحراف استاندارد (SD) و میانگین (μ) ناهنجاری های GWS را بر اساس داده های تاریخی یا کل مجموعه داده ها محاسبه گردید. شاخص SGI از رابطه (۳) محاسبه می شود: (Dubey و همکاران، ۲۰۲۲):

$$SGI = (GWS_anomaly - \mu) / SD \quad (3)$$

که در آن SGI نشان دهنده تعداد انحرافات استاندارد ناهنجاری ذخیره آب زیرزمینی از میانگین است.

شرایط ذخیره آب زیرزمینی بالاتر از حد متوسط: $SGI > +1$

شرایط ذخیره آب زیرزمینی نسبتاً بالاتر از حد متوسط: $SGI \leq +1 \geq +0.5$

شرایط ذخیره آب زیرزمینی تقریباً نرمال: $SGI \leq +0.5 \geq -0.5$

شرایط ذخیره آب زیرزمینی نسبتاً کمتر از حد متوسط: $SGI \leq -0.5 \geq -1$

شرایط ذخیره آب زیرزمینی کمتر از حد متوسط: $SGI < -1$

بررسی ارتباط بین خشکسالی ها از نظر زمانی و مکانی با روش همبستگی^۳ صورت پذیرفت. همبستگی یک روش آماری است که برای بررسی ارتباط بین دو متغیر مستقل و وابسته در یک مجموعه داده به کار می رود و متداول ترین روش برای محاسبه انتشار خشکسالی است. در این روش، ابتدا دو متغیر انتخاب شده و سپس بررسی می شود که آیا تغییر در یکی از متغیرها باعث تغییر در متغیر دیگر می شود یا خیر. در این روش متغیرها به ترتیب وارد معادله میشوند و با ورود متغیر جدید کلیه متغیرهای موجود در معادله مورد بررسی قرار میگیرند و اگر هر کدام از آنها سطح معنی داری خود را از دست داده باشند قبل از ورود متغیر جدید این متغیر از معادله خارج میگردد. (حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۲). در پژوهش حاضر پس از محاسبه شاخص های خشکسالی میزان همبستگی بین شاخص های SPI ، SDI و SGI در بازه های زمانی مختلف به روش ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد و تاخیر زمانی خشکسالی هیدرولوژی و هیدروژئولوژی به خشکسالی هواشناسی بررسی گردید. مقدار همبستگی بین دو مولفه X و Y از رابطه (۴) به دست می آید: (مشهدی حیدر و همکاران، ۱۴۰۱)

¹ Streamflow Drought Index

² Standardized Groundwater Index

³ Correlation

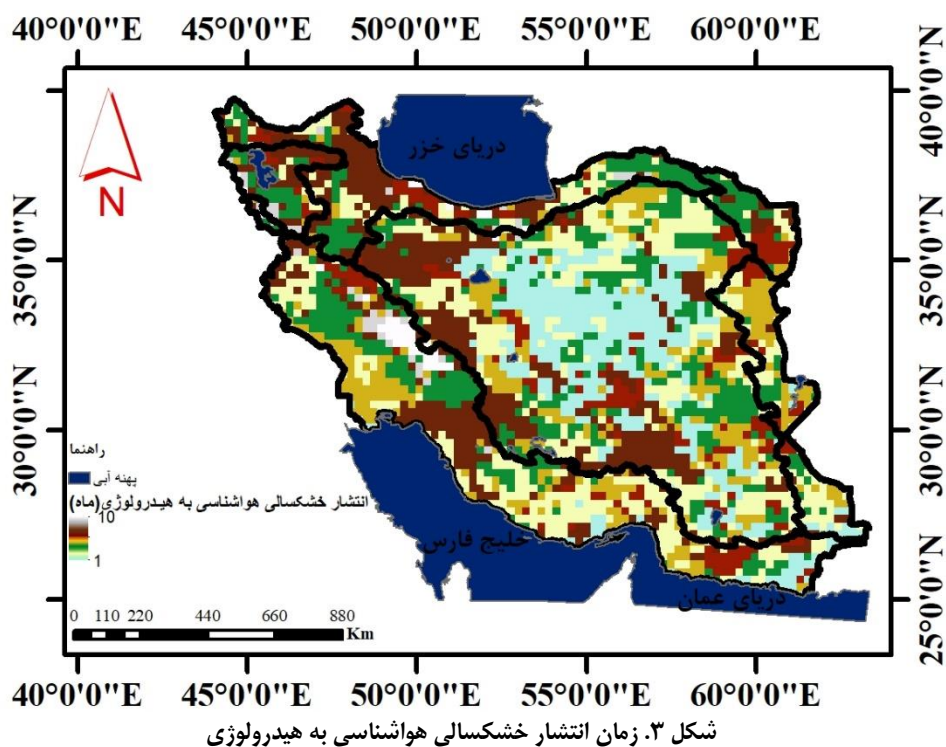
$$r(X,Y) = \frac{\sum(X_t - \bar{X})(Y_t - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_t - \bar{X})^2 \sum(Y_t - \bar{Y})^2}} \quad (۴)$$

که X شاخص SPI و Y شاخص SDI است.

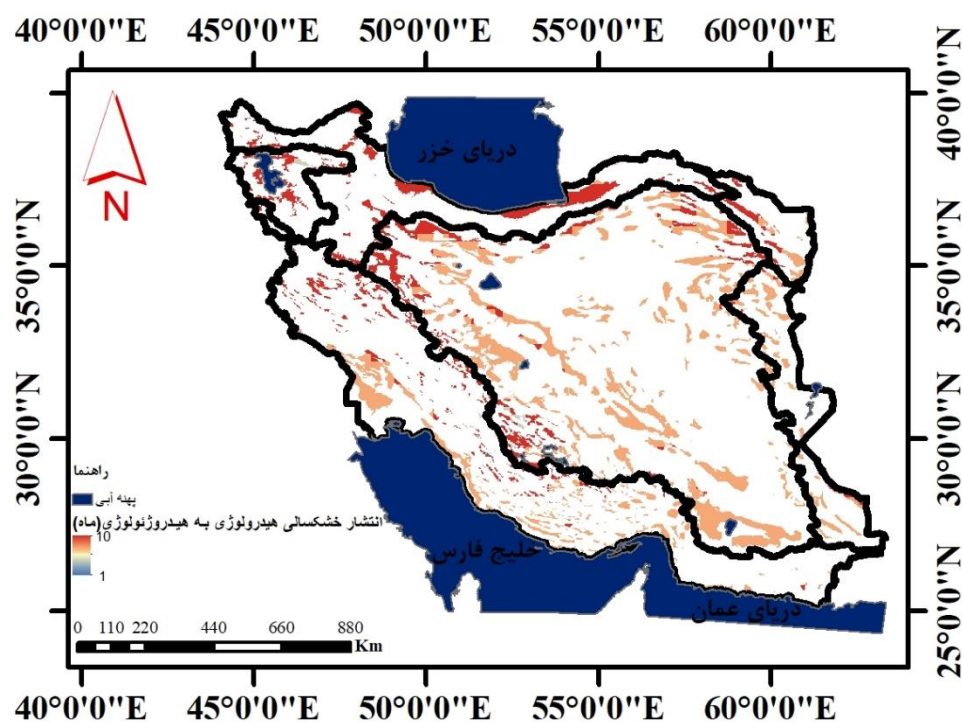
در ادامه همین روش نیز برای انتشار خشکسالی هیدرولوژی به خشکسالی هیدروژئولوژی انجام و نقشه حاصل از انتشار شاخص خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدرولوژی در نرم افزار ArcMAP جمع شده و انتشار خشکسالی از هواشناسی به خشکسالی هیدروژئولوژی نیز به آمد.

نتایج

نتایج حاصل از آزمون همبستگی بین زمان انتشار خشکسالی هواشناسی به هیدرولوژی در ۶ حوزه اصلی کشور در شکل (۳) نشان داده شد. یافته‌ها بیانگر آن است که بخش مرکزی کشور که بزرگ حوزه آبخیز مرکزی با دارا بودن بیشترین مساحت از مناطق دشتی و کویری کم‌باران را شامل می‌شود، بیشترین سرعت انتشار خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدرولوژی را به خود اختصاص داده است.

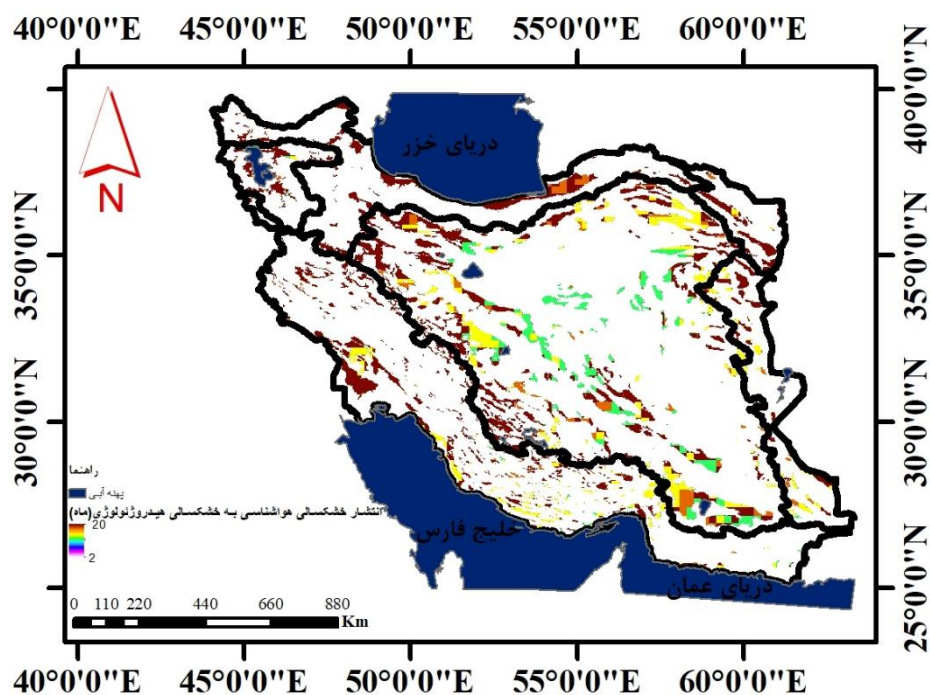


همچنین نقشه زمان انتشار از خشکسالی هیدرولوژی به هیدروژئولوژی در محدوده آبخیزهای ۶ بزرگ حوزه آبخیز اصلی کشور در شکل (۴) نشان داده شد. این نتایج حاکی از آن است که در اکثر نقاط کشور سرعت انتشار خشکسالی هیدرولوژی به خشکسالی هیدروژئولوژی دارای مدت زمان قابل توجهی است.



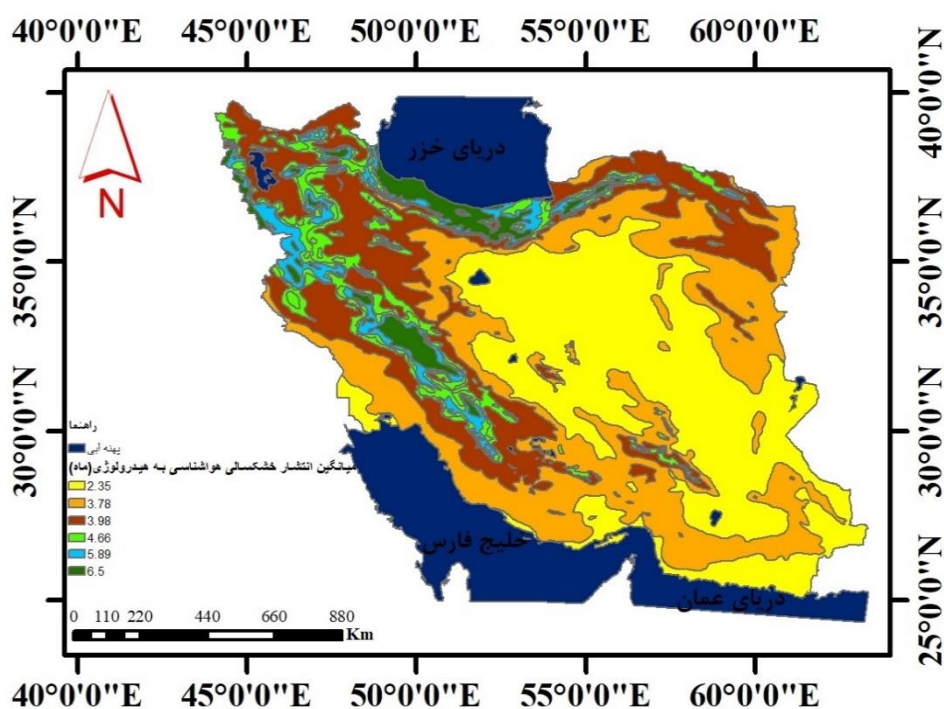
شکل ۴. زمان انتشار خشکسالی هیدروئولوژی به هیدروئولوژی

جمع زمانی دو نقشه زمان انتشار خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدروئولوژی و زمان انتشار خشکسالی هیدروئولوژی به خشکسالی هیدروئولوژی (شکل های ۳ و ۴) نیز نشان دهنده انتشار زمانی خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدروئولوژی می باشد. شکل (۵) این زمان انتشار را در محدوده آبخوان های کشور نشان می دهد.

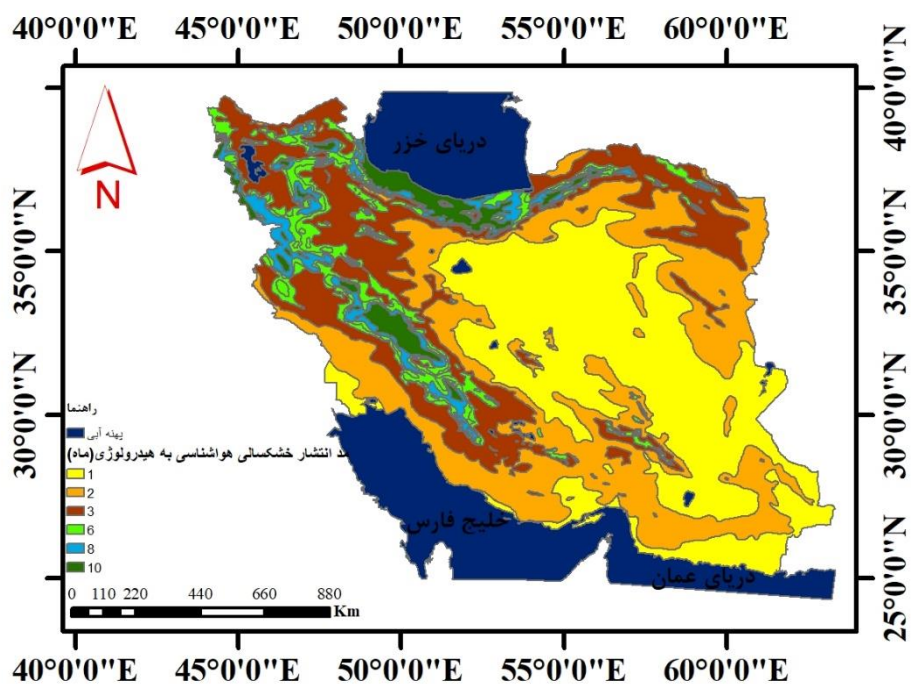


شکل ۵. زمان انتشار خشکسالی هواشناسی به هیدروئولوژی

نقشه‌های حاصل از محاسبه زمان انتشار خشکسالی هواشناسی به هیدرولوژی در ۶ طبقه اقلیمی اصلی کشور در شکل (۶) و (۷) نیز نشان می‌دهد که سرعت انتشار خشکسالی در اقلیم خیلی خشک کمتر و هرچه به اقلیم مرطوب‌تر پیش رویم سرعت انتشار خشکسالی بیشتر است.

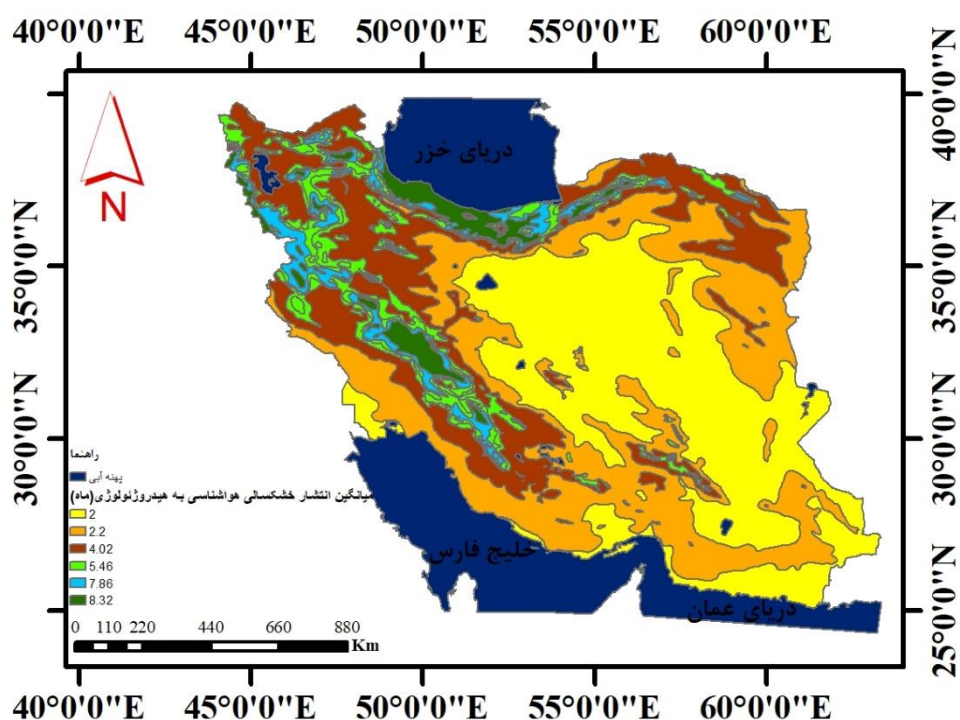


شکل ۶. میانگین زمان انتشار خشکسالی هواشناسی به هیدرولوژی در اقلیم‌ها

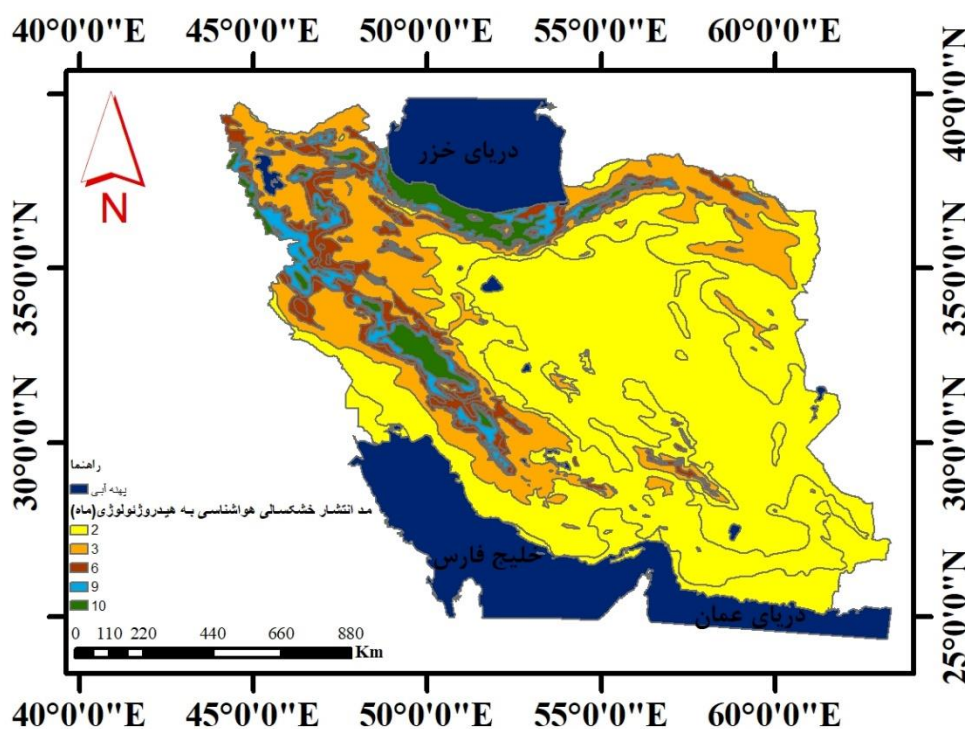


شکل ۷. مد (نما) زمان انتشار خشکسالی هواشناسی به هیدرولوژی در اقلیم‌ها

میانگین و مد زمان انتشار خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدروژئولوژی در اقلیم‌ها در شکل‌های (۸) و (۹) نیز نشان‌دهنده واکنش سریع‌تر سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های موجود در اقلیم‌های خیلی خشک، خشک و نیمه خشک نسبت به مناطق با رطوبت بیشتر بود.



شکل ۸. میانگین زمان انتشار خشکسالی هواشناسی به هیدروژئولوژی در اقلیم‌ها



شکل ۹. مد (نما) زمان انتشار خشکسالی هواشناسی به هیدروژئولوژی در اقلیم‌ها

بحث و نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج حاصل از بررسی زمان انتشار خشکسالی از هواشناسی به سایر خشکسالی‌ها نشان می‌دهد که خشکسالی هواشناسی با افزایش دما و به‌طبع افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل در ناحیه ایران مرکزی یا اقلیم خیلی خشک و خشک تشدید می‌شود و این عوامل باعث اثرگذاری شدیدتر خشکسالی هواشناسی بر خشکسالی هیدرولوژی خواهد شد. طبیعی است در مناطق خشک معمولاً بارش‌ها کوتاه مدت و رگباری و شدید است. بنابراین فرصت نفوذ آب اندک و عمده بارش سریعاً به رواناب تبدیل و وارد جریان رودخانه ای می‌شود. همین امر باعث واکنش زودتر منابع آب سطحی در این نواحی بر اثر کاهش بارش می‌شود به‌طوری که بخش وسیعی از نواحی کشور با مدت زمان ۲ ماه خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدرولوژی انتشار پیدا می‌کند. در برخی از مناطق نیز علاوه بر بارندگی، ویژگی‌هایی از حوزه که معرف ذخیره‌سازی حوزه هستند (مانند شاخص جریان پایه و رطوبت خاک) تاثیر بیشتری بر ویژگی‌های خشکسالی هیدرولوژیک دارند. نتایج حاصل در مناطق مرتفع و کوهستانی نیز نشان‌دهنده زمان بیشتر انتشار خشکسالی هواشناسی به هیدرولوژی نسبت به سایر مناطق کم‌ارتفاع است که این امر نیز می‌تواند ناشی از تغییر فاز بارش به برف در فصل‌های زمستان و بهار باشد. همین امر در مناطق کوهستانی و غنای پوشش گیاهی در مناطق مرطوب باعث می‌شود نفوذ آب حاصل بارش در خاک زیاد بوده که این آب نفوذی به صورت چشمه در رودخانه‌ها تخلیه می‌شود. بنابراین می‌توان انتظار داشت که انتشار خشکسالی هواشناسی به هیدرولوژی و هیدروژئولوژی در این مناطق طولانی‌تر باشد. همچنین با توجه به اینکه طبق مطالعات صورت گرفته معین شده که ۶۸ درصد از واریانس شاخص خشکسالی هیدروژئولوژی توسط شاخص خشکسالی تبیین می‌شود (مشهدی‌حیدر و همکاران، ۱۴۰۱)، لذا مقدار تغییرات خشکسالی هیدروژئولوژی می‌تواند ناشی از عوامل دیگری غیر از بارش مانند دما، عوامل غیر اقلیمی، برداشت بیش از حد مجاز و... باشد. طبق نتایج به‌دست آمده زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی هیدروژئولوژی به‌طور محسوسی بیشتر از زمان انتشار خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدرولوژی است که این امر ناشی از پاسخ دیرتر منابع آب زیرزمینی به تغییرات بارش است. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که بررسی زمان انتشار خشکسالی در بازه کوتاه‌مدت نمی‌تواند همه شرایط محتمل در کشور را آشکار سازد اما می‌توان اذعان داشت که بررسی شاخص خشکسالی هواشناسی در بازه کوتاه‌مدت معیار مناسب‌تری برای ارزیابی خشکسالی هیدرولوژی، و در بازه بلندمدت معیاری مناسب برای ارزیابی خشکسالی هیدروژئولوژی خواهد بود.

References

- Jia, J. Y., Han, L. Y., Liu, Y. F., He, N., Zhang, Q., Wan, X., ... & Hu, J. M. (2016). Drought risk analysis of maize under climate change based on natural disaster system theory in Southwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 36(5), 340-349.
- Sadeghi, S., & Sharafi, S. (2023). A new approach for determining the propagation time from agricultural drought to hydrological drought in Iranian climates. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 13(Summer Special Issue 2023), 323-345.
- Hejazizadeh, Z., Fattahi, E., Saligheh, M., & Arsalan, F. (2013). Investigation of the effect of climatic signals on precipitation in the central region of Iran using artificial neural network. *Journal of Applied Geographical Sciences Research*, 13(29), 75-89.
- Mousavi, A., Soleimani, K., Shekarian, F., & Roshan, S. H. (2020). Investigation of temporal and spatial changes of groundwater quality parameters using geostatistical methods (Case study: Lordegan Plain, Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 10(3), 262-275.
- Bazrafshan, O., Rahimi, F., & Mohammadi Kangarani, H. (2016). Optimal water management under drought conditions, case study: Sarkhoon Plain, Hormozgan Province. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 6(23), 103-117.
- Teymouri, F., & Bazrafshan, O. (2016). Analysis of temporal distribution of precipitation in Iran over the past four decades. *Geography and Development Quarterly*, 15(48), 171-188.
- Siasar, H., & Shahrarazi, F. (2015). Estimation of drought and wet year probabilities using SPI drought index and Markov chain. *International Conference on Agricultural Engineering and Natural Resources*, 2.
- Dargahian, F., Khosroshahi, M., & Lotfinasab Asl, S. (2020). Investigation of changes in water area of Shadegan Wetland and its relationship with hydrological drought and sugarcane drainage water. *Environmental Studies*, 46(94), 225-240.
- Mashhadi Heidar, S., Montaseri, M., & Hejabi, S. (2023). Propagation time of meteorological droughts to hydrological and hydrogeological droughts in Nazluchay sub-basin. *New Research in Sustainable Water Engineering*, 1(2), 117-127.

- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Abatzoglou, J. T., McEvoy, D. J., & Redmond, K. T. (2017). The west wide drought tracker: drought monitoring at fine spatial scales. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(9), 1815-1820.
- Han, Z., Huang, S., Huang, Q., Leng, G., Wang, H., Bai, Q., ... Du, M. (2019). Propagation dynamics from meteorological to groundwater drought and their possible influence factors. *Journal of Hydrology*, 578, 124102.
- Dubey, S. K., Lal, P., Choudhari, P., Sharma, A., Dubey, A. K. (2022). Assessment of long-term groundwater variation in India using GLDAS reanalysis. In *Advances in Remediation Techniques for Polluted Soils and Groundwater* (pp. 219-232). Elsevier.
- Guo, Y., Huang, S., Huang, Q., Wang, H., Fang, W., Yang, Y., Wang, L. (2019a). Assessing socioeconomic drought based on an improved Multivariate Standardized Reliability and Resilience Index. *Journal of Hydrology*, 568, 904-918.
- Guo, Y., Huang, S., Huang, Q., Wang, H., Wang, L., Fang, W. (2019b). Copulas-based bivariate socioeconomic drought dynamic risk assessment in a changing environment. *Journal of Hydrology*, 575, 1052-1064.
- Mishra, A. K., Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2), 202-216.
- Peters, E., Torfs, P. J. J. F., Van Lanen, H. A., Bier, G. (2003). Propagation of drought through groundwater—a new approach using linear reservoir theory. *Hydrological processes*, 17(15), 3023-3040.
- Ridder, K. D., Couderé, K., Depoorter, M., Liekens, I., Pourria, X., Steinmetz, D., Vanuytrecht, E., Verhaegen, K., and Wouters, H. (2020). Evaluation of the Socio-Economic Impact of Climate Change in Belgium, *vito, Report*, 1–253.
- Wossenyeleh, B. K., Worku, K. A., Verbeiren, B., Huysmans, M. (2021). Drought propagation and its impact on groundwater hydrology of wetlands: a case study on the Doode Bemde nature reserve (Belgium). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(1), 39-51.
- Faiz M. A., Zhang Y., Tian X., Zhang X., Ma N., Aryal S., Naz F. (2023). Time series analysis for droughts characteristics response to propagation. *International Journal of Climatology*, 43(3), 1561-1575.