



Research Paper

Investigation of the Hydrological Response to Meteorological Drought in Kashkan Sub-Catchments

Rahim Kazemi^{1*}, Jahangir Porhemmat² and Bagher Ghermez-Cheshme¹

¹Assist. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

²Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

Article information

Received: November 27, 2021

Revised: April 17, 2022

Accepted: April 14, 2022

Keywords:

Correlation

Hydrological Response

Standardized Precipitation Index

Time Scale

*Corresponding author:

kazemi@itc.nl



Abstract

The meteorological drought phenomenon and its relationship to the hydrological response of the catchments are of particular importance in the development of programs related to the comprehensive water management of the basin. In this study, a common period (1982-2017) in five corresponding hydrometric and rainfall stations in the Kashkan watershed was considered. The regression relationship between rainfall and discharge was investigated. Then, the standardized precipitation index (SPI) and the standardized discharge index (SDI) were calculated in time scales of 3, 6, 9, 12, 18, and 24 months. The interrelationships of SPI and SDI in sub-catchments were analyzed using the correlation method. The results showed that in more than 50% of the study period, the meteorological drought was close to normal. hydrological drought investigation of the sub-catchments showed that in the catchments with fewer karst formations, the frequency of years with severe drought was higher. The maximum drought with a severe situation in the Afrine catchment was 20% and the minimum was 6% in the Cham-Anjir catchment. The trend of changes in correlation coefficients between SPI and SDI in Sarab- Seyed Ali, Pol-e Dokhtar, and Cham-Anjir were similar and the maximum was at 18- and 24-month time scale with a coefficient determination of 0.67.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

Awareness of the interaction of the drought phenomenon with the hydrological response of the catchment is of particular importance in water resources management. Drought affects communities through a direct impact on water resources, the environment, and energy resources. Researchers have used a variety of

methods to monitor drought. The standardized precipitation index (SPI) is one of the common indicators in drought monitoring. The appropriateness of this index has been proven to detect drought, its monitoring, and prediction, and can be used in various time scales - short-term for agricultural purposes and long-term for hydrological purposes. Literature review showed that in the last two decades, several studies have



been conducted to identify the interaction of drought with the hydrological response of the watershed, in order to estimate and predict the future conditions of surface and groundwater. The purpose of this study is to investigate and analyze the frequency of meteorological and hydrological drought classes and their relationships in catchments with similar climates and different coverage of karst formations.

Materials and Methods

Kashkan watershed with an area of 25466 km² at the outlet of Pole-Dokhtar hydrometric station is one of the main tributaries of the Karkheh basin of I. The area is mainly located in the Lorestan province of Iran. The minimum altitude is 522 m above sea level and the maximum altitude is 3503 m. The location of the research area is in Fig. 1. Moreover, the names and characteristics

of selected stations and the general characteristics of the leading catchments are presented in Table 1.

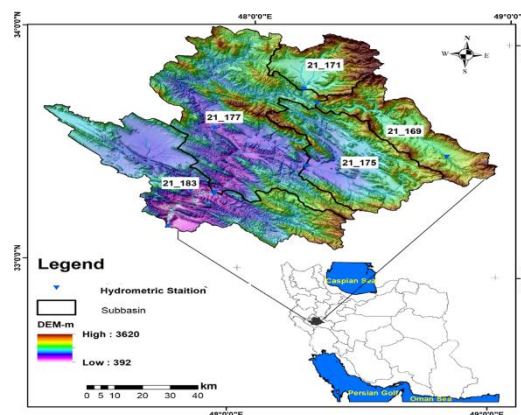


Fig. 1 Location map of the study area

Table 1 Characteristics of selected sub-catchments of Kashkan watershed

Name	Code	Latitude	Longitude	Area (km ²)	Height (m)	Alluvial area%	Area of Limestone Formation%
Kaka Reza	21-169	33° 43'	48° 16'	1130	2027	35.06	50.54
Sarab Seyd Ali	21-171	33° 47'	48° 12'	786	2104	36.86	50.98
Cham Anjir	21-175	33° 30'	48° 18'	1630	1650	35.03	42.81
Afrine	21-177	33° 19'	47° 54'	6842	1718	31.59	35.79
Pole-Dokhtar	21-183	32° 09'	47° 43'	9267	1632	19.34	32.91

In this study, a common period from 1982 to 2017 in five corresponding hydrometric and rainfall stations in the Kashkan watershed was considered. The relationship between rainfall and discharge in the region was investigated. Then, the standardized precipitation index (SPI) and the standardized discharge index (SDI) were calculated in time scales of 3, 6, 9, 18, 12, and 24 months. The interrelationships of SPI and SDI in sub-catchments were analyzed using the correlation method.

Results

The results of drought monitoring in the Kaka Reza sub-catchment showed that the average frequency of severe and very severe drought was 2.2% and 2.5% of the study period, respectively. Also, the average frequency of the moderate situation in all time steps was 10.6%. The average normal years was 65% and the maximum frequency of hydrological drought with the severe condition was 14.3%. The Extremely dry part of hydrological drought was 5.7% of the study period.

The results of the Sarab Seyd Ali sub-catchment showed that 67% of the years were normal and the frequency of moderate to high drought was equal to wet years with similar conditions. The frequency of hydrological drought under normal conditions was 52% and severe hydrological drought was 14% of the study period. The results of the study in the Cham Anjir sub-catchment showed that in all years, the rule was normal and with a frequency of 68%. The frequency of severe hydrological drought was 6%. No Extremely hydrological drought was observed in this catchment. The results of Afrine sub-catchment showed that in all years, the rule was normal with a frequency of 66%. Also, 10% of the drought was moderate, 3% severe, 2% extremely dry and the rest wet. The highest frequency of severe hydrological droughts was detected at 20%. The most severe hydrological drought was 20% of the studied years. The result of drought monitoring of the Pole-Dokhtar sub-catchment showed that in all years, the rule was normal and with a frequency of 66%. The frequency of meteorological drought with a

moderately class was 10% and the normal condition was 68% and 9% of severe drought. Also, the hydrological drought situation was not extremely dry. The results of correlations between SPI and SDI were presented in Figure (2).

In Sarab Seyd Ali, Pole-Dokhtar, and Cham Anjir, the trend of changes in correlation coefficients between SPI and SDI indices was similar with a slight difference. In these three sub-catchments, the correlation between SPI and SDI increases with increasing time steps.

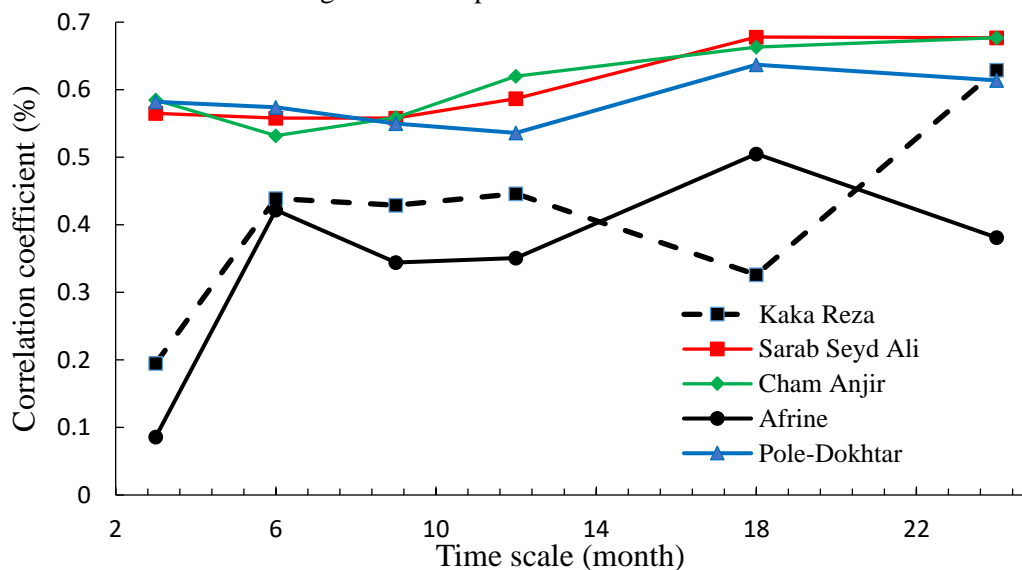


Fig. 2 The correlation coefficient between SDI and SPI of different stations at different time scales

Conclusion

Summarizing the results of investigating the relationships between drought indices and analyzing the frequency of meteorological and hydrological drought classes in catchments with different coverage of Karst, showed different hydrological responses to meteorological drought in catchments with different karst areas. The overall conclusion Showed that in catchments with a lower percentage of karst formations. The frequency of severe droughts was higher.

Acknowledgment

This research is extracted from a part of the results of the research project entitled "Investigation of the effect of drought on Kashkan surface water" with the code 980229-98008-9801-012-29-29-1248, which is financially supported by the water, drought,

Investigation of the spatial order of meteorological and hydrological droughts showed that the highest correlation was in Cham Anjir and Sarab Seyd Ali sub-catchments with a coefficient of determination higher than 0.6. The high correlation between the two types of droughts in Cham Anjir and Sarab Seyd Ali catchments can be interpreted due to the coverage of 42% and 50% of karst formations, and the coverage of more than 30% of alluvium and high permeability of the basin.

erosion and the environment working group of Vice-Presidency for Science and Technology of Iran. Has been done in the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute of Iran. We would like to thank the esteemed officials for their support and assistance.

Data Availability

The data of this research belongs to the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute of Iran (SCWMRI); and it can be obtained from the publisher of the research institute.

Conflicts of Interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

بررسی پاسخ هیدرولوژیک حوضه به خشک‌سالی هواشناسی در زیرحوضه‌های کارستی کشکان

رحیم کاظمی^{۱*}، جهانگیر پرهمت^۲ و باقر قرمز چشمه^۱

^۱استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
^۲استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۹/۰۶]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۰۱/۲۸]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۰۱/۳۱]

واژه‌های کلیدی:

پاسخ هیدرولوژیک
شاخص بارش استاندارد شده
گام زمانی
همبستگی

*نویسنده مسئول:

kazemi@itc.nl



پدیده خشک‌سالی هواشناسی و ارتباط آن با پاسخ هیدرولوژیک حوضه از اهمیت ویژه‌ای در تدوین برنامه‌های مرتبط با مدیریت جامع آبی حوضه، برخوردار است. در این پژوهش برای ارزیابی و تحلیل پاسخ هیدرولوژیک حوضه به وقوع خشک‌سالی‌ها، دوره مشترک ۱۳۹۵-۱۳۶۱ در پنج ایستگاه آب‌سنجی و باران‌سنجی متناظر در حوزه آبخیز کشکان در نظر گرفته شد. رابطه بارندگی و دبی در منطقه به روش رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفت. سپس شاخص بارش استاندارد شده SPI و شاخص دبی استاندارد شده SDI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه، محاسبه شد. روابط متقابل SPI و SDI با استفاده از روش همبستگی و به تفکیک زیرحوضه‌ها، بررسی و تحلیل شد. نتایج نشان داد که در بیش از ۵۰٪ طول دوره مورد مطالعه، وضعیت خشک‌سالی هواشناسی، نرمال بوده است. بررسی خشک‌سالی هیدرولوژیک زیرحوضه‌ها، نشان داد که در حوضه‌های با سازندهای کارستی کمتر، فراوانی سال‌های با وضعیت خشک‌سالی شدید، بیشتر است. حداکثر فراوانی خشک‌سالی هیدرولوژیک با وضعیت شدید در حوضه افرینه با ۲۰٪ و حداقل نیز ۶٪ در حوضه چمانجیر بوده است. روند تغییرات ضرایب همبستگی بین دو شاخص SPI و SDI در حوضه‌های سراب سیدعلی، پل‌دختر و چمانجیر مشابه و حداکثر همبستگی در گام زمانی ۱۸ و ۲۴ ماهه با ضریب تبیین ۰/۶۷ به دست آمد.

۱- مقدمه

برای پایش خشک‌سالی از روش‌های مختلفی استفاده کرده‌اند. در این میان، شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد شده (SPI)^۱ یکی از شاخص‌های مرسوم در این زمینه می‌باشد.

آگاهی از برهم‌کنش مؤلفه‌های مختلف پدیده خشک‌سالی با پاسخ هیدرولوژیک حوضه از اهمیت ویژه‌ای در مدیریت جامع منابع آب حوضه، برخوردار است. خشک‌سالی جوامع را از طریق تأثیر مستقیم بر منابع آب، محیط‌زیست و ذخایر انرژی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Karimi 2002). پژوهشگران

^۱Standardized Precipitation Index



تحلیلی نظام‌مند از روابط بین شدت و مدت خشک‌سالی در سه حوضه رودخانه Huai در چین توسط Li et al. (2021) با استفاده از SPI و SDI^2 در مقیاس‌های زمانی سه و شش-ماهه، ارائه شده است؛ نتایج، نشان‌دهنده یک همبستگی قوی (ضریب تعیین $< 0/55$) بین SPI و SDI در هر سه زیر-حوضه، به‌ویژه در مقیاس زمانی شش‌ماهه است. تأثیرات فزاینده فعالیت‌های انسانی از بالادست به پایین‌دست، منجر به همبستگی ضعیف‌تر بین SPI و SDI در پایین‌دست می‌شود. در زمینه روابط متقابل خشک‌سالی و شرایط هیدرولوژیکی حوضه، پژوهش‌های متعددی در کشور به انجام رسیده است؛ به‌نحوی که (Doostan (2020) در پژوهشی مروری و تحلیلی، پژوهش‌های مرتبط با خشک‌سالی را در محدوده زمانی ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی ایشان نشان داد که بیشترین پژوهش‌های انجام‌شده در خصوص خشک‌سالی مربوط به حوزه علوم کشاورزی با $41\%/2$ و سپس مرتبط با علوم جغرافیایی با $29\%/3$ است. (Mofidipoor et al. (2011) روابط بین شاخص‌های SPI و SDI را در سطح حوضه اترک مورد بررسی قرار داده و نتایج پژوهش آن‌ها، رابطه زمانی وقوع خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را در گام زمانی سه‌ماهه با بیش‌ترین همبستگی و در سطح 99% نشان داد.

نتایج پژوهشی که توسط Azareh et al. (2014) در خصوص رابطه خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه سد کرج انجام شد، نشان داد که وقوع خشک‌سالی هواشناسی، بدون تأخیر، بر آب‌های سطحی اثر می‌گذارد. رابطه زمانی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی توسط Koushki et al. (2017) در حوضه کرخه با استفاده از دو شاخص SPI و SDI در پایه‌های زمانی مختلف مورد پژوهش قرار گرفت و نتایج نشان داد که همبستگی بین دو شاخص در تمام پایه‌های زمانی مورد استفاده دارای معنی‌داری در سطح 99% است ولی این همبستگی در حالت بدون تأخیر دارای بیش‌ترین همبستگی است، و گزارش کردند که خشک‌سالی هواشناسی در این حوضه بدون تأخیر بر آب‌های سطحی اثرگذار است. روند زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هواشناسی در حوزه آبخیز کرخه، توسط Mesbah-Zadeh and Soleimani-Sardoo (2018) نیز مورد پژوهش قرار گرفته و نتایج ایشان نشان داد، رابطه زمانی وقوع

تناسب این شاخص برای تشخیص زمان شروع خشک‌سالی، پایش و پیش‌بینی آن به اثبات رسیده، و قابل‌استفاده در مقیاس‌های متعدد زمانی- کوتاه‌مدت برای اهداف کشاورزی و بلندمدت برای اهداف هیدرولوژی می‌باشد (MesbahZadeh and SoleimaniSardoo 2018).

Mishra and Singh (2010) خشک‌سالی را به چهار دسته هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی اجتماعی طبقه‌بندی نموده‌اند. این چهار نوع ذاتاً از این نظر مرتبط هستند که یک سیگنال خشک آب و هوایی ناشی از کمبود بارندگی و دمای بالا می‌تواند به چرخه هیدرولوژیکی منتقل شود و به‌طور متوالی منجر به کاهش رطوبت خاک، کاهش جریان رودخانه و کاهش سطح آب می‌شود (Van Lanen and Van Loon 2012). پاسخ هیدرولوژیکی حوضه در قبال پدیده تغییر اقلیم در ۱۴ حوزه آبخیز مجاور هم و تقریباً مشابه با استفاده از مدل HBV توسط (2015) Teutschbein et al. مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حوضه‌های واقع در یک منطقه، می‌توانند پاسخ‌های هیدرولوژیکی متفاوتی به پدیده خشک‌سالی از خود نشان دهند. رابطه بین خشک‌سالی و عوامل گردش اتمسفر توسط Xiao et al. (2016) با استفاده از یک جفت مدل آماری سه متغیره، ارائه شده است.

علاوه بر این، پژوهشگران متعددی از فن‌های آماری برای پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیکی از دیدگاه هواشناسی استفاده کرده‌اند (Yuan et al. 2017; Zhu et al. 2016). ارتباط زمانی و مکانی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را با استفاده از شاخص SPI و شاخص خشک‌سالی استاندارد شده ترکیبی بارش و تبخیر و تعرق (SPETI)¹ در حوضه‌های اطراف رود زرد در چین توسط Liu et al. (2019) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که خشک‌سالی‌های کوتاه‌مدت اثر قابل‌توجهی بر خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی، به‌ویژه در فصل زمستان، نداشته و برعکس خشک‌سالی‌های بلندمدت در همه ابعاد، موجب خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی است.

²Standardized Discharge Index (SDI)

¹Standardized precipitation evapotranspiration index

سطحی و زیرزمینی به انجام رسیده است؛ ولی نتایج، متناسب با مشخصه‌های اختصاصی حوضه‌ها، متفاوت می‌باشد و لازم است؛ این مطالعات برای حوضه‌های موردنظر انجام شود. هدف از این پژوهش، بررسی و تحلیل فراوانی طبقات خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک و روابط متقابل آن‌ها در حوضه‌های با اقلیم مشابه و درصد پوشش متفاوت سازند-های کارستی است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

زیر حوضه کشکان با مساحتی برابر با 25466 km^2 در محل خروجی از استان لرستان و در ایستگاه آب‌سنجی پل‌دختر، یکی از سرشاخه‌های اصلی حوضه کرخه است. این حوضه عمدتاً در استان لرستان واقع شده است. حداقل ارتفاع حوضه از سطح دریای آزاد 522 m و حداکثر ارتفاع 3503 m است. بر اساس روش آمبرژه، حوضه کشکان در محدوده اقلیم نیمه مرطوب سرد قرار می‌گیرد (Kazemi et al. 2022). بیش از 50% پوشش سطحی این حوضه از سازندهای نفوذپذیر آبرفتی و آهک‌های کارستی تشکیل شده است. سازندهای زمین‌شناسی غالب عبارت‌اند از: امیران، کنگلومرای بختیاری، آهک توده‌ای آسماری، کنگلومرا و ماسه‌سنگ کشکان، رادیولاریت، آهک دولومیتی، آهک اوبیتولین‌دار، آهک مارنی، آهک نازک‌لایه، مارن و کنگلومرای آغاجاری، مارن سازند گچساران، و آبرفت‌های جوان و قدیمی است. در این پژوهش تعداد ۵ ایستگاه باران‌سنجی و آب-سنجی با توجه به شاخص‌های، طول دوره آماری مشترک، فعال بودن ایستگاه و وجود سری زمانی کامل در سطح حوضه انتخاب شد که نام و مشخصات این ایستگاه‌ها و مشخصه‌های عمومی حوضه‌های منتهی به هر ایستگاه آب‌سنجی در جدول (۱) و موقعیت منطقه پژوهش در شکل (۱) ارائه شده است.

خشک‌سالی هواشناسی در سطح 99% معنی‌دار است و این همبستگی در بازه ۴۸ ماهه حداکثر است. شدت خشک‌سالی هواشناسی با روش SPI در استان لرستان توسط (2020) Mirmohammad Hosseini et al. بررسی و یک شاخص برای ارزیابی خطر خشک‌سالی ارائه کردند. نتایج پژوهش آن-ها نشان داد که در مناطق کم‌ارتفاع با بارش کم، خطر خشک‌سالی، نسبت به مناطق پر بارش و مرتفع استان بیش‌تر است.

Mirmohammad Hosseini et al. (2021) تأثیر خشک‌سالی هواشناسی بر اراضی دیم در استان لرستان را با استفاده از شاخص سنجش‌ازدور VCI و SPI مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین SPI نه-ماهه چندماهه قبل (چندمتغیره) و VCI وجود دارد. تأثیر خشک‌سالی بر کاهش دبی چشمه توسط Porhemmat et al. (2021) در چشمه سراب نیلوفر واقع در غرب ایران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش ایشان، نشان داد، کاهش دبی با وقوع خشک‌سالی‌ها منطبق ولی در ترسالی‌ها روند کاهشی آن همچنان ادامه یافته و شیب کاهش دبی نسبت به بارندگی بیش‌تر است.

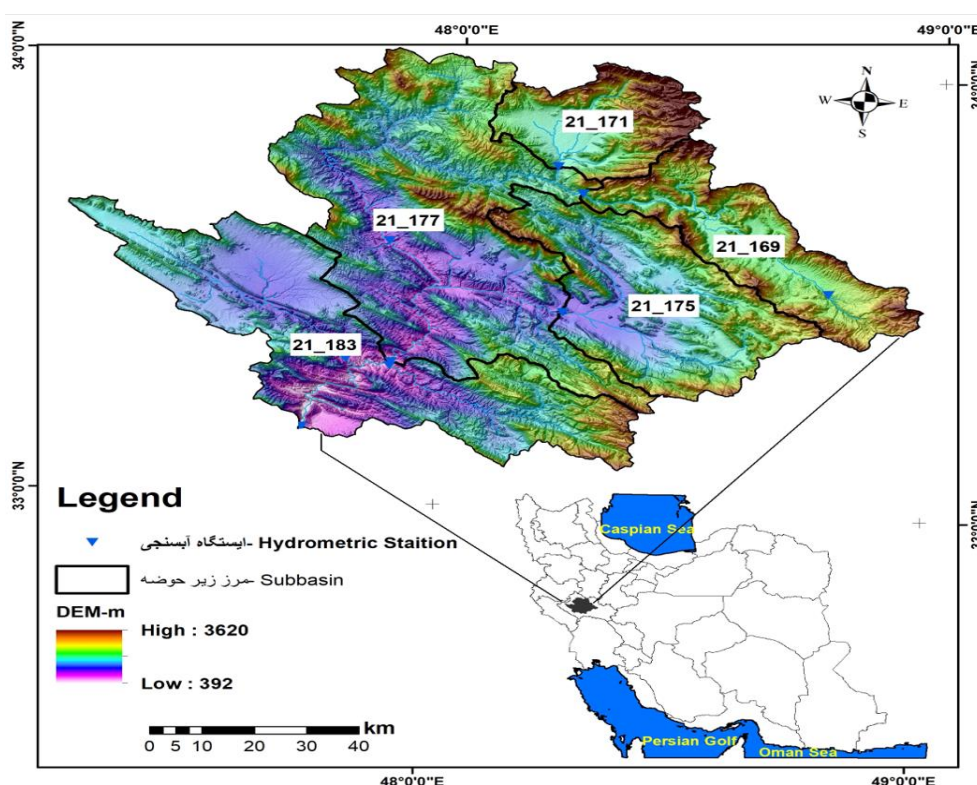
بررسی تأثیر خشک‌سالی بر منحنی تداوم جریان در آبخیز کارستی کاکارضا توسط Kazemi and Ghermezcheshmeh (2021) با استفاده از دو شاخص‌های SPI و SDI و شاخص‌های منحنی تداوم جریان بررسی شد. نتایج نشان داد که روند کلی تغییرات دو شاخص SPI و SDI در پایه‌های زمانی متناظر، از هم تبعیت می‌کند. ولی بیش‌ترین تطابق روندها مربوط به گام زمانی سه‌ماهه است. میزان تغییرات نسبی در بخش شاخص کم‌آبی (Q_{90}/Q_{50})، بسیار کم و در حد 0.16% و در بخش پرآبی (Q_{25}/Q_{50}) در حد 4.41% است. جمع‌بندی مرور منابع نشان می‌دهد که در دو دهه گذشته، مطالعات متعددی در خصوص شناخت برهم‌کنش شاخص‌های خشک‌سالی با پاسخ هیدرولوژیک حوضه، به‌منظور برآورد و پیش‌بینی شرایط آبی آب‌های

¹Vegetation Condition Index

جدول ۱- مشخصات زیرحوضه‌های منتخب از حوزه آبخیز کشکان

Table 1 Characteristics of selected sub-catchments of Kashkan watershed

Name	Code	latitude	Longitude	Area(km ²)	Height (m)	Alluvial Area (%)	Area of Limestone Formation (%)
Kaka Reza	21-169	33° 43'	48° 16'	1130	2027	35.06	50.54
Sarab Seyed Ali	21-171	33° 47'	48° 12'	786	2104	36.86	50.98
Cham Anjir	21-175	33° 30'	48° 18'	1630	1650	35.03	42.81
Afrine	21-177	33° 19'	47° 54'	6842	1718	31.59	35.79
Pole-Dokhtar	21-183	32° 09'	47° 43'	9267	1632	19.34	32.91



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1 Location map of the study area

۲-۲-۱- شاخص PSI

چنانچه سری‌های زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه‌های منطقه به صورت P_i معرفی شوند که در آن اندیس i سال آبی و اندیس j ماه مربوط به سال آبی را مشخص کند (برای مهر $j=12$ و $j=12$ برای شهریور) سری‌های زمانی بارندگی با مدت‌های مختلف را می‌توان با استفاده از رابطه (۱) به دست آورد.

$$R_{ik} = \sum_{j=1} P_{ij} \quad (1)$$

۲-۲-۲- روش پژوهش

در این پژوهش، پنج حوضه کارستی منتهی به ایستگاه آب-سنجی که در بالادست فاقد سد و بند بودند، انتخاب شد. پس از کنترل داده‌ها، دوره مشترک (۱۳۹۵-۱۳۶۱) برای ایستگاه‌های آب‌سنجی و باران‌سنجی در نظر گرفته شد. ابتدا شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص دبی استاندارد-شده (SDI) در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه، محاسبه شد. سپس روابط متقابل SPI و SDI با استفاده از روش همبستگی، بررسی و تحلیل شد.

$$SDI = \frac{V_{ik} - \bar{V}_k}{S_k} \quad (۴)$$

که، V_k و S_k به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریانات تجمعی برای دوره مبنای k است.

جدول ۳ - طبقه‌بندی خشک‌سالی هیدرولوژیک بر اساس شاخص SDI (Nalbantis and Tsakiris.2009)

Table 3 Classification of hydrological drought based on SDI index (Nalbantis and Tsakiris.2009)

Category	SDI value	Row
Normal	$SDI \geq 0$	0
Mild dry	$-1.0 \leq SDI < 0$	1
Moderately dry	$-1.5 \leq SDI < -1.0$	2
Severe dry	$-2.0 \leq SDI < -1.5$	3
Extremely dry	$SDI < -2.0$	4

۳- یافته‌ها و بحث

نتایج محاسبه مقادیر میانگین دبی ماهانه و سالانه برای هر حوضه در طی دوره ۳۵ yr در جدول (۴) ارائه شده است. بر اساس داده‌های ثبت شده، متوسط بارش سالانه در سطح حوضه‌های منتخب ۴۷۳ mm است که از نظر مکانی ایستگاه کاکارضا در حوضه کاکارضا، با مقدار ۵۳۵ mm بیشینه مقدار بارندگی و ایستگاه پلدختر با مقدار ۳۸۸ mm کمینه مقدار بارندگی را دارند. بیشترین دبی متوسط سالانه درازمدت، مربوط به کل حوضه و در محل ایستگاه آب‌سنجی پلدختر و کم‌ترین مقدار آن نیز در ایستگاه آب‌سنجی سراب سیدعلی و به حوضه سراب سیدعلی تعلق دارد. برای بررسی وضعیت دبی جریان در ایستگاه‌های منتخب، دبی متوسط سالانه نسبت به درازمدت استاندارد شد تا رفتار زمانی جریان در ایستگاه‌های مختلف قابل‌مقایسه شوند. همان‌گونه که در شکل (۲) آمده است، رفتار جریان در کلیه ایستگاه‌ها مشابه بوده و سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۶ اغلب سال‌ها بالاتر از میانگین و در سال‌های بعد اغلب، کمتر از میانگین به دست آمد. علت این تغییر رفتار در حوضه کشکان، برداشت بی‌رویه از منابع سطحی و زیرزمینی و همچنین کاهش بارش در سال‌های اخیر می‌تواند باشد. حوضه سراب سیدعلی در بالادست و ایستگاه پلدختر در پایاب حوضه واقع شده است. هرچند در حوضه‌های بالادست، قاعدتاً می‌بایست، تغییرات سالانه نسبت به میانگین بیشتر از پایاب باشد؛ ولی سرشاخه‌های این حوضه اغلب کارستیک بوده و به دلیل وجود

شاخص SPI بر اساس ارتفاع بارش تجمعی (R_k) برای دوره مبنای k مربوط به (i) سال آبی به صورت رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$SPI_{ik} = \frac{R_k - \bar{R}_k}{S_k} \quad (۲)$$

که، $i=1,2,3, \dots$ ، $j=1,2,3, \dots, 12$ ، $k=1,2,3,4,5,6$ ، \bar{R}_k و S_k به ترتیب، میانگین ارتفاع بارش تجمعی و انحراف معیار ارتفاع بارش تجمعی برای دوره مبنای (k) است. جدول (۲) طبقه‌بندی حالات مختلف خشک‌سالی هواشناسی به روش SPI را نشان می‌دهد.

جدول ۲ - طبقه‌بندی خشک‌سالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI (Mckee et al. 1995)

Table 2 Classification of meteorological drought based on SPI index (Mckee et al. 1995)

Category	SPI value
Extremely wet	$SPI \geq 2.0$
Very wet	$1.5 \leq SPI < 2.0$
Moderately wet	$1.0 \leq SPI < 1.5$
Normal	$-1.0 \leq SPI < 1.0$
Moderately dry	$-1.5 \leq SPI < -1.0$
Very dry	$-2.0 \leq SPI < -1.5$
Extremely dry	$SPI < -2.0$

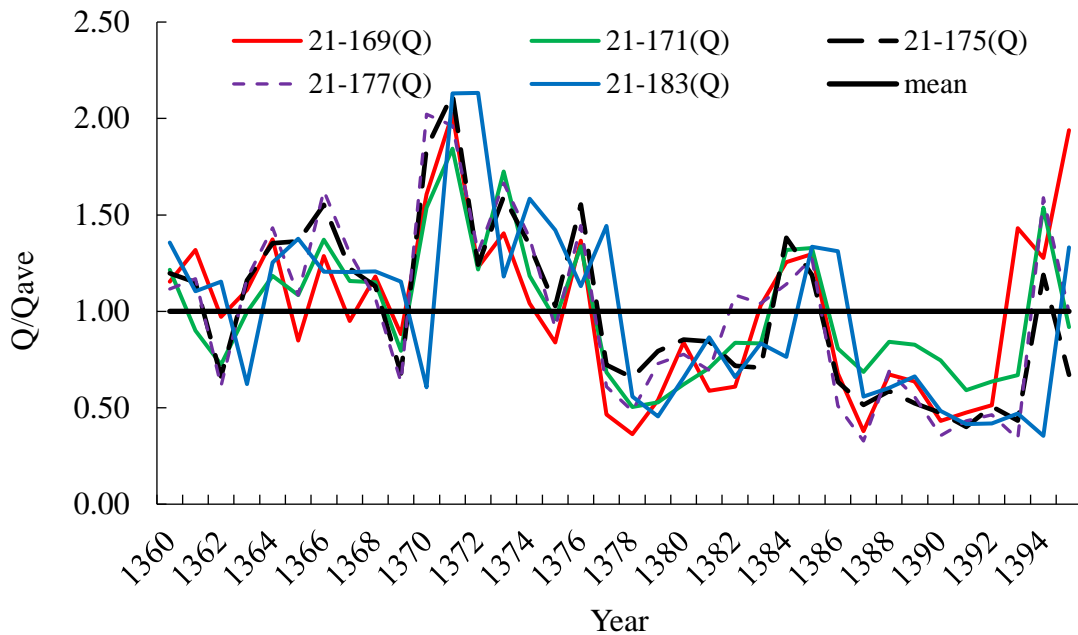
۲-۲-۲- شاخص خشک‌سالی جریان‌های رودخانه‌ای

در پژوهش حاضر شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی با اقتباس از الگوریتم محاسباتی شاخص بارش استاندارد شده محاسبه شد؛ با این تفاوت که به جای بارش از مقادیر دبی استفاده شد. طبقه‌بندی خشک‌سالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص SDI در جدول (۳) ارائه شده است. در این روش فرض بر این است که سری‌های زمانی حجم جریان‌های ماهانه رودخانه‌ای به صورت Q_{ij} موجود است که اندیس i سال هیدرولوژیکی و اندیس j ماه مربوط به سال هیدرولوژیکی است. اساس این سری بر رابطه (۳) استوار است.

$$V_{ik} = \sum_{i=1}^n Q_{ij} \quad (۳)$$

مبنای k ماهانه است و مقادیر آن از ۱ تا ۶ به ترتیب، بیان‌کننده دوره‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ ماهه است. شاخص SDI بر اساس حجم تجمعی جریانات رودخانه‌ای V_{ik} برای دوره مبنای (k) مربوط به سال (i) سال هیدرولوژیکی به صورت رابطه (۴) به دست می‌آید.

چشمه‌های کارستیک، مانع از تغییرات زیاد رفتار جریان شده و رفتار ایستگاه‌های پایین دست به دلیل بزرگ بودن حوضه تا حدود زیادی تعدیل شده است. شکل مذکور به طور واضح کاهش جریان را در سال‌های اخیر نشان داده و بیانگر روند کاهشی جریان است.



شکل ۲- روند تغییرات دبی متوسط سالانه ایستگاه‌های آب‌سنجی منتخب طی دوره پژوهش

Fig. 2 Trend of changes in average annual discharge of selected hydrometric stations during the research period

نبود رابطه همبستگی معنی‌دار، در حوضه پل‌دختر، نتیجه بارشی است که در بالادست بوده و لذا طبیعی است که با بارش در محل ایستگاه آب‌سنجی انطباق خوبی نداشته باشد. همچنین، معمولاً به تأخیر زمانی ناشی از ساختار فیزیکی، زمین‌شناسی، خاک و پوشش گیاهی حوضه ارتباط دارد و نیازمند داده‌های بیشتری برای تحلیل آن است. لذا بررسی دقیق‌تر با استفاده از شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی در ادامه ارائه و تحلیل خواهد شد.

۳-۱- ارتباط بین بارش و دبی حوضه

در خصوص ارتباط بین تغییرات زمانی و مکانی دبی با بارندگی حوضه، روابط بین دبی متوسط سالانه و بارش متوسط سالانه مورد توجه قرار گرفت و نتایج در جدول (۴) ارائه شده است. همبستگی بین بارش و دبی در حوضه‌های سراب سیدعلی؛ چمانجیر و افرینه به طور واضح، نمایان است و میزان ضریب تبیین مناسبی را نشان می‌دهد؛ ولی در دو حوضه پل‌دختر و کاکارضا رابطه مشخصی به دست نیامد؛

جدول ۴- مقادیر میانگین بارندگی، دبی و روابط مربوطه در سطح حوضه کشکان طی دوره پژوهش

Table 4 Mean rainfall, discharge and related relationships in Kashkan watershed during the research period

Station	parameters		
	Annual rainfall (mm)	Annual Discharge (m ³ /s)	Correlation coefficient
Kaka Reza	535.58	10.84	0.09
Sarab Seyd Ali	502.21	7.44	0.54
Cham_Anjir	472.85	9.03	0.48
Afrine	467.85	38.99	0.43
Pole-Dokhtar	387.77	44.45	0.02

تغییرات آن در طول دوره مورد پژوهش در شکل (۳) ارائه شده است. روندها و فرازوفروندهای این شاخص‌ها، مشابه و از هم تبعیت می‌کند؛ ولی میزان آن با اندکی تغییرات مواجه شده است. روند تغییرات شاخص PSI متناسب با پایه زمانی مربوطه، قابلیت آشکارسازی خشک‌سالی‌ها را دارد،

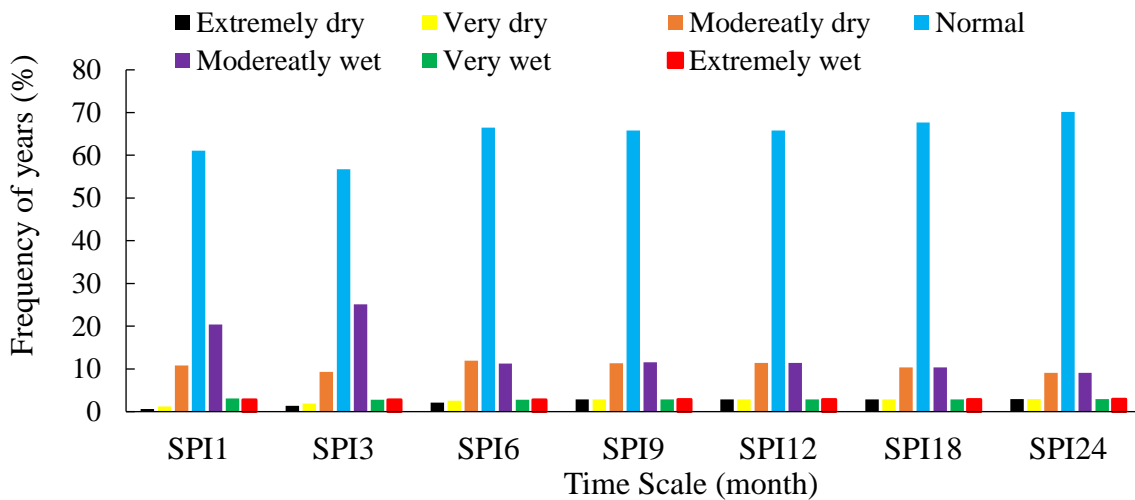
۳-۲- پایش خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی

نتایج محاسبه شاخص SPI و SDI در ایستگاه‌های باران‌سنجی و آب‌سنجی متناظر در حوضه کاکارضا و فراوانی سال‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک و هواشناسی و روند

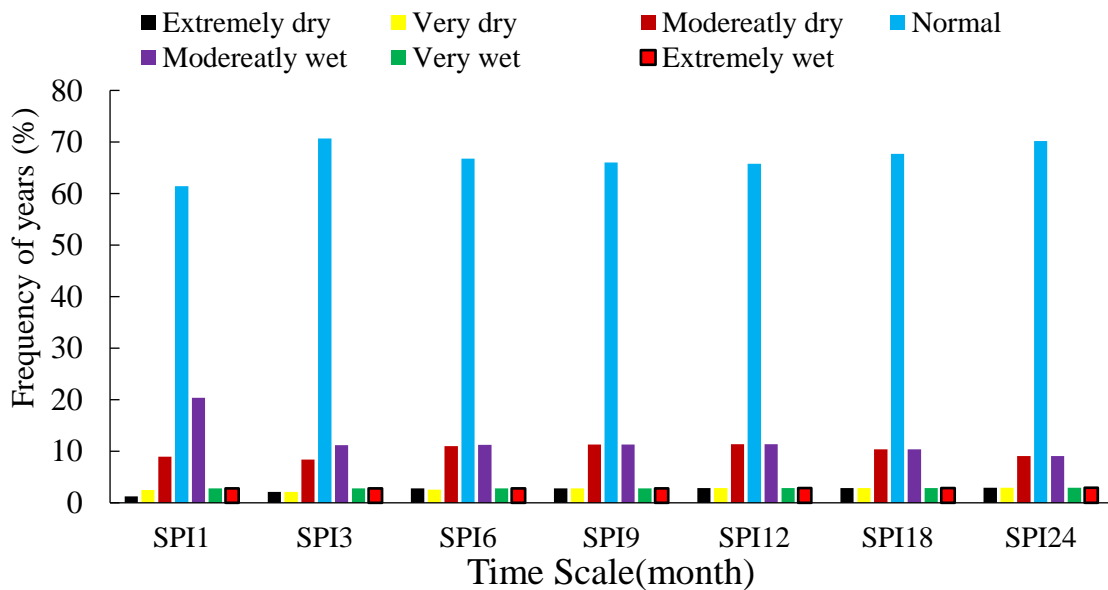


تحلیل نتایج شاخص SPI و روند تغییرات آن در طول دوره آماری، نشان داد که در کنار تشابه روندها، نمودارها متناسب با پایه زمانی مربوطه، قابلیت آشکارسازی خشک‌سالی‌ها را دارد، در پایه زمانی سه‌ماهه، خشک‌سالی به‌طور واضح، نمایان نشده است. ولی از پایه زمانی شش‌ماهه به بالا، خشک‌سالی به نحو مناسبی، آشکارسازی شده است. حداکثر فراوانی خشک‌سالی هیدرولوژیک با وضعیت شدید در حوضه کاکارضا به‌میزان $14/3\%$ در پایه ۶ و ۲۴ ماهه به‌دست آمد. فراوانی وضعیت خشک‌سالی هیدرولوژیک شدیدتر به‌میزان $5/7\%$ از ایام سال در پایه زمانی ۱۸ ماهه نمایان شد.

به‌نحوی که در نمودار مربوط به پایه زمانی سه‌ماهه مشخص است، خشک‌سالی را به‌طور واضح، نمایان نکرده است. ولی با افزایش گام زمانی، وضعیت خشک‌سالی‌های متوسط، شدید و خیلی شدید، آشکار شد. میانگین خشک‌سالی‌های شدید و خیلی شدید، به‌میزان $2/2\%$ و $2/5\%$ از ایام دوره مطالعه است. همچنین میانگین فراوانی وضعیت خشک‌سالی متوسط در تمامی گام‌های زمانی، به‌میزان $10/6\%$ است. میانگین سال-های نرمال، به‌میزان 65% می‌باشد. میانگین فراوانی وضعیت خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در کلیه پایه‌های زمانی با اندکی تغییرات از هم تبعیت می‌کند. جمع‌بندی



شکل ۳- روند تغییرات فراوانی سال‌های خشک‌سالی هواشناسی در پایه‌های زمانی مختلف در حوضه کاکارضا طی دوره پژوهش
Fig. 3 The trend of frequency changes of meteorological drought years in different time scales in Kaka Reza catchment during the research period

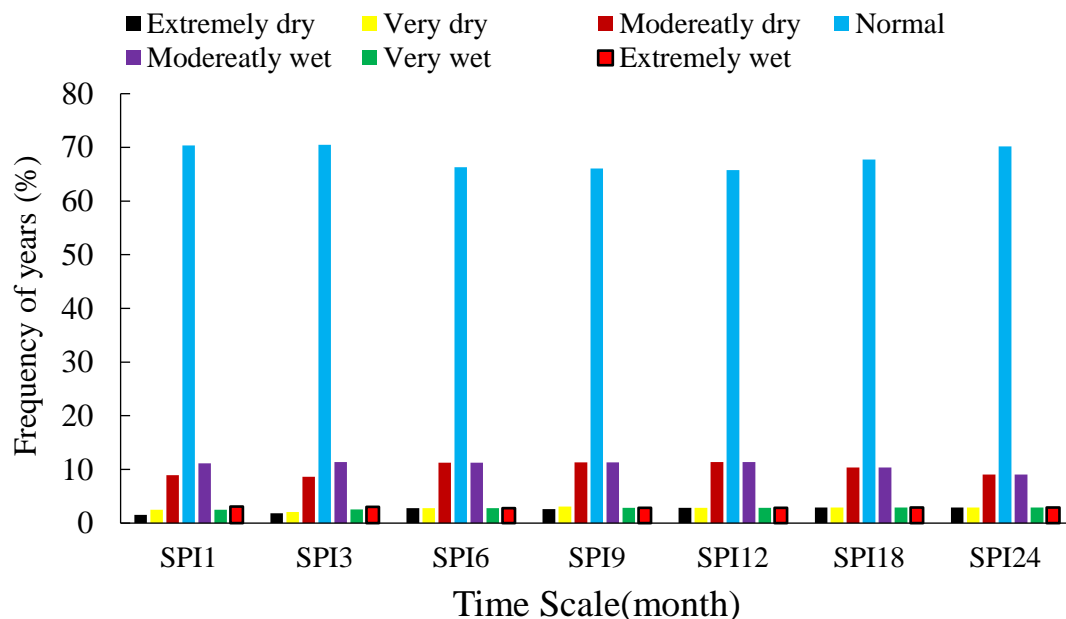


شکل ۴- روند تغییرات فراوانی سال‌های خشک‌سالی هواشناسی در پایه‌های زمانی مختلف در حوضه سراب سیدعلی طی دوره پژوهش
Fig. 4 The trend of frequency changes of meteorological drought years in different time scales in Sarab Seyed Ali catchment during the research period

خشک‌سالی هیدرولوژیک شدیدتر از پایه شش‌ماهه به بالا مشاهده شد.

نتایج بررسی روند تغییرات فراوانی سال‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه چمانجیر در شکل (۵) ارائه شده است. همان‌طور که از نمودار قابل دریافت است، وضعیت خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در تمامی سال‌ها، حاکمیت با وضعیت نرمال و با فراوانی ۶۸٪ است. در پایه شش‌ماهه، و بالاتر فراوانی سال‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک و شدت آن‌ها دقیقاً از هم تبعیت می‌کند. جمع‌بندی نتایج تحلیل خشک‌سالی این حوضه نشان داد که در تمامی پایه‌های زمانی، وضعیت خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک، حاکمیت سال‌های نرمال در تمامی پایه‌های زمانی، بارز است. فراوانی سال‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک با وضعیت شدید نیز ۶٪ در گام زمانی ۱۸ و ۲۴ ماهه بوده است. در این حوضه خشک‌سالی هیدرولوژیک خیلی شدید، مشاهده نشد.

نتایج بررسی روند تغییرات فراوانی سال‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه سراب سیدعلی در گام-های زمانی ۳ تا ۲۴ ماهه در شکل (۴) ارائه شده است. بررسی دامنه خشک‌سالی هواشناسی در پایه‌های زمانی مختلف نشان داد که به‌طور متوسط ۶۷٪ از سال‌ها وضعیت نرمال بوده و فراوانی سال‌های با شدت خشک‌سالی متوسط به بالا با سال‌های مرطوب با وضعیت مشابه، برابر بوده است. جمع-بندی نتایج تحلیل خشک‌سالی هواشناسی این حوضه نشان داد که در پایه زمانی ۶ ماهه به بالا تعداد سال‌های با وضعیت خشک‌سالی متوسط و خیلی خشک با تعداد سال‌های تر با شدت مشابه برابر است و همچنان، حاکمیت غالب، با وضعیت نرمال است. بررسی محدوده تغییرات فراوانی شاخص SDI در ایستگاه آب‌سنجی سراب سیدعلی در تمامی پایه‌های زمانی نشان داد، میانگین فراوانی خشک‌سالی هیدرولوژیک در کلیه پایه‌های زمانی، با وضعیت نرمال ۵۲٪ خشک‌سالی هیدرولوژیک شدید، به‌میزان ۱۴٪ از طول دوره مورد مطالعه، از پایه زمانی سه‌ماهه به بالا نمایان شده است. وضعیت

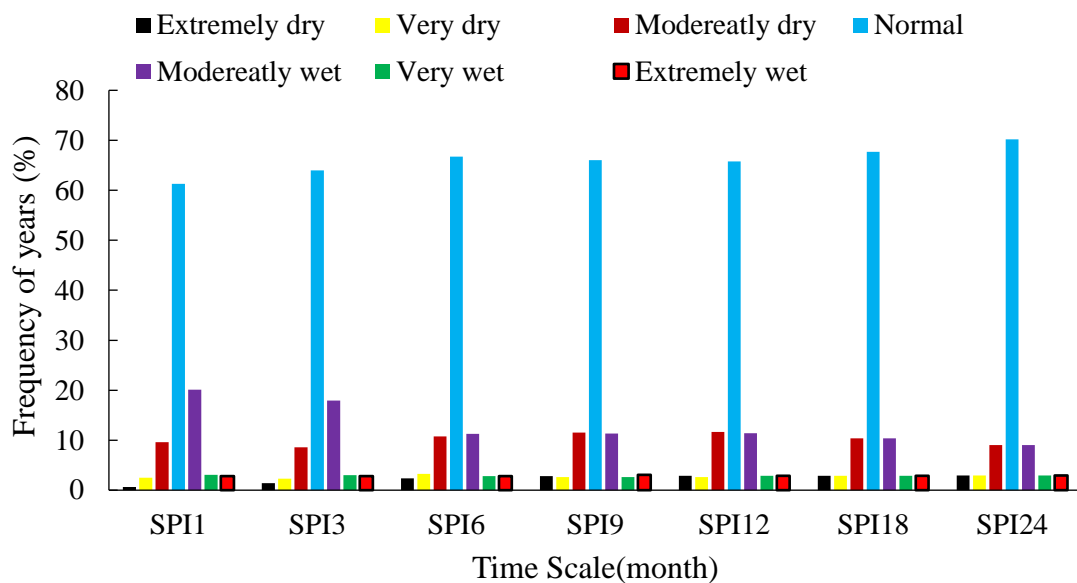


شکل ۵- روند تغییرات فراوانی سال‌های خشک‌سالی هواشناسی در پایه‌های زمانی مختلف در حوضه چمانجیر طی دوره پژوهش
Fig. 5 The trend of frequency changes of meteorological drought years in different time scales in Cham Anjir catchment during the research period

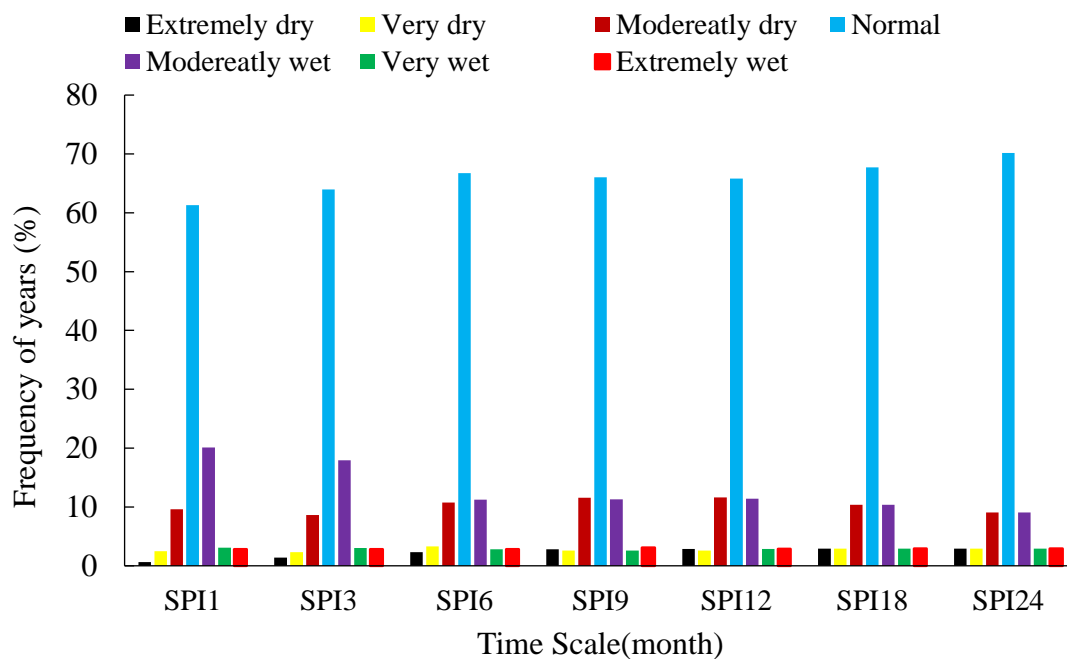
متوسط، ۳٪ شدید، ۲٪ خیلی شدید و مابقی ترسالی بوده است. خشک‌سالی هیدرولوژیک از پایه زمانی سه‌ماهه به بالا قابل تشخیص است و بیشترین فراوانی سال‌های با وضعیت خشک‌سالی هیدرولوژیک شدید در پایه نه‌ماهه با ۲۰٪ فراوانی قابل تشخیص است. وضعیت شدیدتر از پایه زمانی

نتایج بررسی تغییرات فراوانی سال‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه افرینه در شکل (۶) نشان داده شده است. فراوانی سال‌های خشک‌سالی هواشناسی نشان داد که به‌طور میانگین در تمامی پایه‌های زمانی، در ۶۶٪ سال‌ها، وضعیت خشک‌سالی هواشناسی نرمال حاکم بوده است. همچنین ۱۰٪ خشک‌سالی هواشناسی

شش‌ماهه به بالا، نمایان شده است و حداکثر آن در پایه ۲۴ ماهه و به‌میزان ۲۰٪ از سال‌های مورد مطالعه بوده است.



شکل ۶- روند تغییرات فراوانی سال‌های خشک‌سالی هواشناسی در پایه‌های زمانی مختلف در حوضه آفرینه طی دوره پژوهش
 Fig. 6 The trend of frequency changes of meteorological drought years in different time scales in Afrine catchment during the research period



شکل ۷- روند تغییرات فراوانی سال‌های خشک‌سالی هواشناسی در پایه‌های زمانی مختلف در حوضه پل‌دختر طی دوره پژوهش
 Fig. 7 The trend of frequency changes of meteorological drought years in different time scales in Pole-Dokhtar catchment during the research period

بررسی تغییرات فراوانی سال‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه میانی کشکان، ایستگاه پل‌دختر در شکل (۷) نشان داده شده است. وضعیت خشک‌سالی هواشناسی در پایه زمانی سه‌ماهه با ۶۴٪ وضعیت نرمال و در پایه‌های شش‌ماهه تا ۲۴ ماهه به‌طور میانگین ۶۶٪ سال‌ها

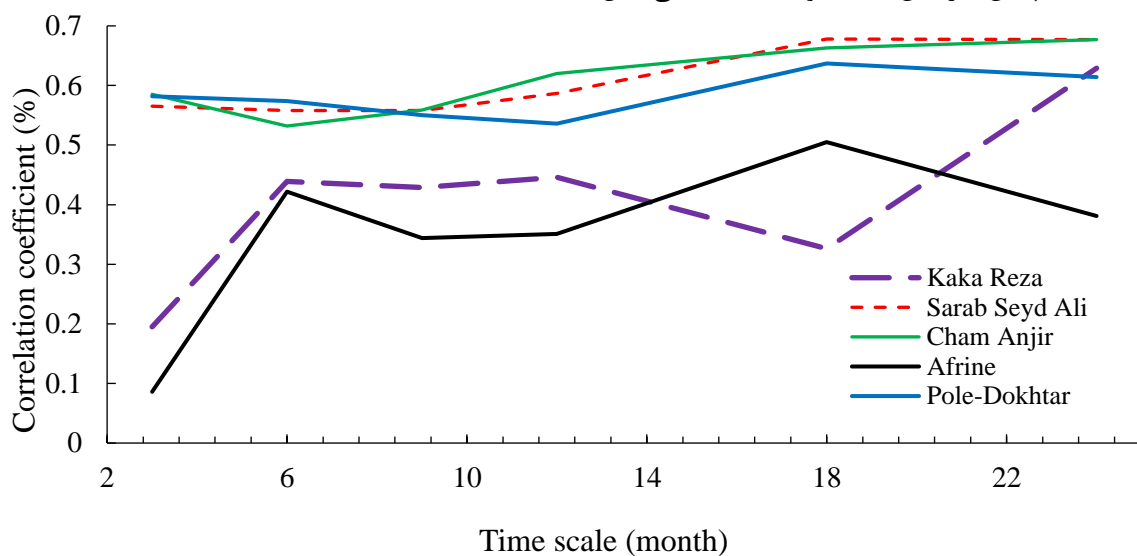
وضعیت نرمال داشته‌اند. خشک‌سالی هواشناسی با شدت متوسط در پایه شش‌ماهه به بالاتر به‌طور متوسط ۱۰٪ از سال‌ها را شامل شده است. از منظر فراوانی خشک‌سالی هیدرولوژیک، ۶۸٪ از سال‌ها وضعیت نرمال، ۹٪ خشک‌سالی



خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی جریان سطحی با افزایش گام زمانی، افزایش می‌یابد. همبستگی بین دو شاخص، در بازه‌های سه و شش‌ماهه، با ضریب تبیین در محدوده ۰/۵ و ۰/۶ و در گام زمانی ۱۲ ماهه و بالاتر در محدوده ۰/۶ تا ۰/۷ می‌باشد. در نتیجه روند افزایشی همبستگی بین دو شاخص خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی آب‌های سطحی، با احتیاط علمی، می‌توان استنتاج کرد که بیشترین تأثیر خشک‌سالی هواشناسی بر خشک‌سالی آب‌های سطحی در گام زمانی ۱۸ و ۲۴ ماهه بوده است.

شدید بوده است. همچنین فاقد وضعیت خشک‌سالی هیدرولوژیک خیلی شدید بود.

نتایج بررسی همبستگی‌های زمانی بین شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در شکل (۸) ارائه شده است. در حوضه‌های سراب سید علی، پل‌دختر و چم انجیر، روند تغییرات ضرایب همبستگی بین دو شاخص SPI و SDI با اندکی تفاوت، مشابه است. در این سه حوضه، تأثیر تأخیری خشک‌سالی هواشناسی بر جریان سطحی از گام زمانی سه‌ماهه به نحو بارز نشان داده شده است؛ که ضریب تبیین بیش از ۰/۵ بین دو شاخص SPI و SDI بیانگر این امر است. همچنین در این سه حوضه، همبستگی بین



شکل ۸- روند تغییرات ضریب همبستگی بین SDI و SPI ایستگاه‌های مختلف در گام‌های زمانی متفاوت

Fig. 8 The trend of changes in the correlation coefficient between SDI and SPI of different stations at different time scales

گستره بیش از ۵۰٪ سازندهای کارستی، و ویژگی آبخوان‌های کارستی، تأثیر وقوع خشک‌سالی هواشناسی بر منابع آب ناچیز بوده و خشک‌سالی هیدرولوژیک با تأخیر چندماهه نسبت به خشک‌سالی هواشناسی اتفاق افتاده است. به دلیل مجاورت حوضه‌های کارستی منتخب، و تشابه اقلیمی آن‌ها و نظر به اینکه تفاوت این حوضه‌ها با سایر مطالعات مشابه در میزان پوشش سازندهای کارستی است، با احتیاط علمی می‌توان تأخیر در تأثیر خشک‌سالی هواشناسی بر خشک‌سالی هیدرولوژیک را به علت وجود مخازن کارستی ارتباط داد. این نتیجه با نتایج حاصل از پژوهش‌های (2009) Moradi et al. در حوضه شهر خرم‌آباد و نتایج (2008) SoleimaniSardoo (2014) در استان سمنان، و (2014) Mesbahzadeh and et al. در حوزه آبخیز جازموریان و

در حوضه‌های آفرینه و کاکارضا، در گام زمانی سه‌ماهه، رابطه همبستگی محسوسی بین خشک‌سالی و جریان سطحی مشاهده نشد. ولی از گام زمانی شش‌ماهه و بالاتر، ضریب همبستگی بین شاخص خشک‌سالی و شاخص دبی استاندارد شده، افزایش داشته است. نتایج تحلیل خشک‌سالی هیدرولوژیک و هواشناسی زیرحوضه‌ها، با نتایج پژوهش (2001) Agrawala et al. مبنی بر تسلط پدیده خشک‌سالی در گستره ۱۰ استان کشور و در محدوده زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ و افت شدید ذخایر آبی در سال ۱۳۸۰ مطابقت دارد. ولی از منظر درجه و شدت خشک‌سالی، میزان شدت در منطقه مورد پژوهش، کمتر از گزارش پژوهش‌های فوق است. تعداد اندک سال‌های با وضعیت خشک‌سالی شدید و متوسط، و تسلط وضعیت عدم خشک‌سالی هیدرولوژیک در بیش از نیمی از سال‌های دوره مورد مطالعه، با توجه به

های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در دوره آماری ۱۳۶۱-۱۳۹۵ مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت. جمع‌بندی نتایج بررسی روابط بین شاخص‌ها و تحلیل فراوانی طبقات خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه‌های با پوشش متفاوت کارست، نشان‌دهنده پاسخ هیدرولوژیک متفاوت در برابر خشک‌سالی هواشناسی در حوضه‌های با مساحت متفاوت کارست است. در این خصوص نتایج ذیل شایان توجه است.

۱- حوضه‌هایی که دارای درصد پوشش سطحی سازندهای کارستی کم‌تری هستند. فروانی سال‌هایی که با خشک‌سالی شدید مواجه بوده‌اند؛ بیش‌تر است.

۲- روند تغییرات ضرایب همبستگی بین دو شاخص SPI و SDI در حوضه‌های سراب سیدعلی، پل‌دختر و چمانجیر، تقریباً مشابه و حداکثر همبستگی در گام زمانی ۱۸ و ۲۴ ماهه با ضریب تبیین ۰/۶۷ به‌دست آمد.

۳- در حوضه‌های آفرینه و کاکارضا، در گام زمانی سه‌ماهه، رابطه همبستگی محسوسی بین خشک‌سالی هواشناسی و جریان سطحی مشاهده نشد. ولی از گام زمانی شش‌ماهه و بالاتر، ضریب همبستگی بین شاخص‌ها افزایش داشته است.

سپاسگزاری

این پژوهش مستخرج از بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی با عنوان "بررسی تأثیر خشک‌سالی بر آب‌های سطحی حوضه کشکان" با کد ۹۸۰۲۲۹-۹۸۰۰۸-۹۸۰۰۱-۹۸۰۱۲-۲۹-۲۹-۲۹ است که در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و با حمایت مالی ستاد توسعه فناوری‌های آب، خشک‌سالی، فرسایش و محیط‌زیست معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری به انجام رسیده است. بدین‌وسیله از همراهی و مساعدت مسئولین محترم آن ستاد و نیز این پژوهشکده تشکر می‌شود.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های این پژوهش متعلق به پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری است و از انتشارات پژوهشکده قابل دریافت است.

تضاد منافع نویسندگان

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

(2018) Soleimanisardoo در حوضه کرخه و (2009) Heydari et al. مطابقت دارد.

بررسی نظم مکانی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک، نشان داد که بیش‌ترین همبستگی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در زیرحوضه چمانجیر و سراب-سیدعلی با ضریب تبیین بیش از ۰/۶ وجود دارد. دلیل همبستگی بالا بین دو نوع خشک‌سالی در حوضه چمانجیر و سراب سیدعلی، علاوه بر پوشش ۴۲ و ۵۰٪ سازندهای کارستی، می‌تواند به پوشش بیش از ۳۰٪ آبرفت‌ها و نفوذپذیری بالای حوضه و همچنین موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و آب‌سنجی مرتبط باشد. این نتیجه با نتایج Fiorillo et al. (2010) که در یک حوضه بزرگ کارستی در جنوب ایتالیا در خصوص رابطه تغییرات چشمه کارستی با خشک‌سالی هواشناسی به انجام رسیده است؛ از منظر ارتباط تأخیری بین خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی هیدرولوژیک در حوضه‌های کارستی، مطابقت دارد. این امر می‌تواند به کارستیک بودن منطقه و تأخیر خشک‌سالی هیدرولوژیک و ژئوهیدرولوژیک نسبت به خشک‌سالی هواشناسی، مرتبط باشد. نتایج این پژوهش همچنین با نتایج Mohammadi Babadi et al. (2020) مبنی بر حداکثر همبستگی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در پایه زمانی ۱۲ ماهه، مطابقت دارد. همچنین طبق نتایج گزارش شده، توسط Koushki et al. (2017) در حوزه آبخیز کرخه در گام‌های زمانی ۳ تا ۱۲ ماهه، همبستگی معناداری بین دو نوع خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک گزارش شده است که با نتایج حوضه‌های مورد مطالعه در این پژوهش، تشابه دارد. البته از منظر دیگر و بر اساس نتایج گزارش شده (Eskandari Damaneh et al. 2016) وقوع خشک‌سالی هواشناسی به‌صورت کوتاه‌مدت و با تأخیر یک ماهه، بیش‌ترین تأثیر را در وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیک در استان تهران گزارش شده است، که با نتایج این پژوهش مبنی بر بیش‌ترین همبستگی در گام زمانی ۱۲ ماهه و بالاتر، تفاوت دارد.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش، پاسخ هیدرولوژیک حوضه به وقوع خشک‌سالی-ها در پنج زیرحوضه منتخب کارستی با مساحت متفاوت سازندهای کربناته و آبرفت‌های نفوذپذیر از حوزه آبخیز کشکان را مورد بررسی قرار داده است. بر این اساس شاخص-

References

- Agrawala, S., Barlow, M., Gullen, H. and Lyon, B. (2001). The drought and humanitarian crisis Central Southwest Asia: A climate perspective. International research institute for climate prediction. Palisades (IRI) Special Report., 1(1), 11-24. DOI:10.7916/D8NZ8FHQ.
- Azareh, A., Rahdari, M. R., Sardoi, E. R. and Moghadam, F. A. (2014). Investigate the relationship between hydrological and meteorological droughts in Karaj dam basin. European J. Experiment. Bio., 4(3), 102-107.
- Doostan, R. (2020). Analysis of drought researches of Iran. J. Spatial Anal. Environ. Hazard., 6 (4), 53-94. DOI: 10.29252/jsaeh.6.4.53 [In Persian].
- Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, G., Khosravi, H. and Azareh, A. (2016). Investigation and analysis of temporal and spatial relationship between meteorological and hydrological drought in Tehran province. Sci. Res. Quart. Geogra. Data, 24(96), 113-120 [In Persian]. DOI: 10.22131/SEPEHR.2016.18947
- Fiorillo, F., Esposito, L. and Guadagno, F. M. (2010). Karst spring discharges analysis in relation to drought periods, using the SPI. Water Resour. Manage., 24, 1867-1884. DOI:10.1007/s11269-009-9528-9
- Heydari, M., Farrokhi, E., Tanian, S. and Hesari, B. (2009). Analysis of meteorological and hydrological drought by the use of DIP software areas to be studied: Urmia and Khoy. Fifth National Conference on Iran Watershed Management Science and Engineering. 114p. Available at: <https://www.en.symposia.ir/WATERSHED05>.
- Karimi, V., Kamkar-Haghighi, A., Sepaskhah, A. and Khalili, D. (2002). An evaluation of meteorological drought in Fars Province. J. Sci. Technol. Agri. Nat. Resour., 5(4), 1-11. DOI: 20.1001.1.22518517.1380.5.4.1.2 [In Persian].
- Kashefi, M. (2008). Zoning and drought risk management in Semnan province. MSc Dissertation, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. 167 pp [In Persian].
- Kazemi, R. and Ghermezcheshmeh, B. (2021). Investigating the impact of drought on flow duration curve in karst catchments (Case study: Kaka-Reza Catchment). J. Environ. Water Eng., 7(3), 433-443. DOI: 10.22034/jewe.2021.265822.1499 [In Persian].
- Kazemi, R., Porhemmat, J. and Ghermezcheshme, B. (2022). Investigating the impact of drought on the base flow using standardized base flow index, case study: Kaka-Reza Catchment. Watershed Eng. Manage., 14(2), 156-167. DOI: 10.22092/ijwmse.2021.352955.1870 [In Persian].
- Koushki, R., Rahimi, M., Amiri, M., Mohammadi, M. and Dastorani, J. (2017). Investigation of relationship between meteorological and hydrological drought in Karkheh watershed. Iran. J. Ecohydrol., 4(3), 687-698 [In Persian].
- Li, J., Wu, C., Xia, C. A., Yeh, P. J. F., Hu, B. X., and Huang, G. (2021). Assessing the responses of hydrological drought to meteorological drought in the Huai River Basin, China. Theo. Appl. Climat., 144(3), 1043-1057. DOI:10.1007/s00704-021-03567-3
- Liu, Y., Zhu, Y., Ren, L., Singh, V. P., Yong, B., Jiang, S., Yuan, F. and Yang, X. (2019). Understanding the spatiotemporal links between meteorological and hydrological droughts from a three-dimensional perspective. J. Geophys. Res. Atmos., 124, 3090-3109. DOI: 10.1029/2018JD028947
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. (1995). Drought monitoring with multiple time scales, Preprints, 9th Conference on Applied Climatology., pp. 233-236, January 15-20, Dallas, Texas.
- Mesbahzadeh, T. and Soleimanisardoo, F. (2018). Temporal trend study of hydrological and meteorological drought in Karkheh watershed. Iran. Watershed Manage. Sci. Eng., 12 (40), 105-114. DOI: 20.1001.1.20089554.1397.12.40.12.9 [In Persian].
- Mirmohammad Hosseini, T. S., Hosseini, S. A., Ghermezcheshmeh, B., and Sharafati, A. (2020). Drought hazard depending on elevation and precipitation in Lorestan, Iran. Theo. Appl. Climat., 142, 1369-1377.



- DOI:10.1007/s00704-020-03386-y [In Persian].
- Mirmohammad Hosseini, T., Ghermezcheshmeh, B., Hosseini, S. and Sharafati, A. (2021). An Assessment of the relationships between meteorological drought index and vegetation condition in dry farming in the Province of Lorestan. *Watershed Manage. Res. J.*, 34(2), 77-90. DOI:10.22092/WMEJ.2020.342647.1332
- Mishra, A. K. and Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *J. Hydrol.*, 391(1-2), 202–216. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.012
- Mofidipoor, N., Brady Sheikh, V., Ownegh, M. and Sydaldyn, A. (2011). The analysis of relationship between meteorological and hydrological droughts in Atrak Watershed. *J. Watershed Manage. Res.*, 3(5), 16-26 [In Persian].
- Mohammadi Babadi, K., Nikbakht Shahbazi, A. and Fathian, H. (2020). Analysis of the Relationship between Spatial and Temporal Droughts in Karoon (1) Dam Basin. *J. Water Soil Sci.*, 24(2), 165-180. DOI:10.47176/jwss.24.2.41671 [In Persian].
- Moradi, H., Sepahvand, A. and Khazaei, M. (2009). Evaluate meteorological and hydrological drought using modify SPI and SDI index (Case study: Khoramabad city area). Fifth National Conference on Iran Watershed Management Science and Engineering. 117p [In Persian].
- Nalbantis, I. and Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resour. Manage.*, 23(5), 881-897. DOI:10.1007/s11269-008-9305-1
- Porhemmat, M., Porhemmat, J. and Mirzaee, M. (2021). Investigation on drought impact on the depletion of spring discharge in western parts of Iran. *Watershed Eng. Manage.*, 12(4), 1040-1054. DOI: 10.22092/IJWMSE.2019.127081.1689 [In Persian].
- Soleimani Sardoo, F. and Bahremand, A. (2014). Hydrological drought analysis using SDI index in Halilrud basin of Iran. *J. Environ. Resour. Res.*, 2(1), 47-56. DOI: 10.22069/IJERR.2014.1678 [In Persian].
- Teutschbein, C., Grabs, T., Karlsen, R. H., Laudon, H. and Bishop, K. (2015). Hydrological response to changing climate conditions: Spatial streamflow variability in the boreal region. *Water Resour. Res.*, 51(12), 9425-9446. DOI:10.1002/2015WR017337
- Van Loon, A. F. and van Lanen, H. A. J. (2012). A process-based typology of hydrological drought. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16(7), 1915–1946. DOI:10.5194/hess-16-1915-2012
- Xiao, M., Zhang, Q., Singh, V. P. and Liu, L. (2016). Transitional properties of droughts and related impacts of climate indices in the Pearl River basin, China. *J. Hydrol.*, 534, 397–406. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.01.012
- Yuan, X., Zhang, M. and Wang, L. (2017). Understanding and seasonal forecasting of hydrological drought in the Anthropocene. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2017, 5477–5492. DOI:10.5194/hess-21-5477-2017
- Zhu, Y., Wang, W., Singh, V. P. and Liu, Y. (2016). Combined use of meteorological drought indices at multi-time scales for improving hydrological drought detection. *Sci. Total Environ.*, 571, 1058–1068. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.096

How to cite this paper:

Kazemi, R., Porhemmat, J. and Ghermez-Cheshme, B. (2022). Investigation of the hydrological response to meteorological drought in Kashkan sub-catchments. *Environ. Water Eng.*, 8(3), 682–697. DOI: 10.22034/JEWE.2022.317026.1683

