



The using of SPI and SPEI indices in evaluating the effect of drought on quality of surface water resources (Case study: Kashafroud river)

Mahtab Helmi^{1*}, Ali Shahidi^{2,3}

1. Ph.D. Student, Water Resources, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2. Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
3. Department of Research Group of Drought and Climate Change, University of Birjand, Birjand, Iran.

*Corresponding Author: mahtabhelmi@birjand.ac.ir

Keywords:

Anion, Cation, River,
Standard precipitation index.

Extended abstract

Introduction

Severe droughts in arid and semi-arid regions caused by inappropriate human interventions have reduced the quantity and quality of surface water in these regions. Generally, rainfall, drought, climate, industrial and agricultural activities are among the factors that have a significant impact on surface water quality. Due to the importance of the drought phenomenon and its effects on the quality of surface water and groundwater, the investigation of this issue has attracted the attention of researchers in Iran and other parts of the world. For this purpose, researchers have used various indicators to monitor drought and its effect on water quality.

It is necessary to use appropriate methods and study the effect of phenomena such as drought on the quality of surface water. This is a tool for water resources in critical conditions. This topic has been considered in various researches.

As a result of Iran's location, and especially its Khorasan Razavi Province, a large part of its area is prone to droughts. Also, taking into account that having sufficient and quality water resources is necessary and fundamental to preserve the environment, economic development and agricultural activities, it is important to control and monitor the factors affecting the quality of surface water for different uses.

Considering the above explanations and the importance of the Kashafroud river in the part that passes through Mashhad city and the lack of studies in this regard in this area, this research was conducted with the aim of identifying the water quality parameters in the Kashafroud river of Mashhad and evaluating the effect of droughts on the water quality of

Received:

Jan/18/2023

Revised:

Feb/24/2023

Accepted:

Mar/28/2023

How to cite this article:

Helmi, M., & Shahidi, A. (2023). The using of SPI and SPEI indices in evaluating the effect of drought on quality of surface water resources (Case study: Kashafroud river). *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(1), 83 - 96. [10.22077/JDCR.2023.6023.1008](https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.6023.1008).



this river. In this study, SPI and SPEI indices were used to determine drought and finally, changes in the quality of surface water resources were researched.

Materials and Methods

The Kashafrud River is one of the largest rivers in Iran and is part of Khorasan Razavi Province. Considering the important role of the Kashafrud River in the biological, ecological, economic and social balance of the region and the water supply of Mashhad, identification of polluting sources and continuous awareness of the qualitative changes of this river is the first step towards the sustainable management of water resources on this river.

In order to conduct this research, the daily temperature and precipitation data of 6 meteorological stations were used to calculate the drought index. Also, the daily quality parameters of 6 hydrometric stations with a time period of 30 years (1989-2019) have been used.

SPI and SEPI indices have been presented to determine and monitor drought. The SPI allows an analyst to quantify drought or abnormal moisture events on a specific time scale over any region of the globe where precipitation is recorded. The advantage of SEPI over SPI is to consider the effect of evapotranspiration on drought. At different time scales, this index uses the simple equation of water balance, i.e. the difference between precipitation and potential transpiration evaporation based on the Torrent-White method.

Negative values of these indices indicate the occurrence of drought and positive values indicate the end of drought. In this research, 10 qualitative parameters were determined from 6 hydrometric stations in the period 1989-2019. These parameters include TDS, Hco₃⁻, SO₄⁻, Cl⁻, Ca, Mg, Na, SAR, EC and pH.

Discussion of Results

Based on calculated SPI and SPEI indices, all the stations were introduced in 1992 as drought and in 2013 as wet. During drought, surface water quality parameters in the studied basin showed significant changes. Therefore, based on the results of Pearson's correlation test, there was a significant relationship between drought and changes in water quality parameters at all stations.

Considering the role of temperature in the electrical conductivity of water and the increase in temperature during the period when drought occurs, it can be expected that EC will increase during drought. In this study, according to the obtained results, the value of EC parameter increased in all stations in the drought year (2013) and on the other hand, it decreased in the drought year (2013). The average value of EC in Jaghargh, Golmakan, Hesardehbar, Jang, Kertian and Olang Asadi stations in drought compared to the long-term average increased by 30.64, 1.75, 9.45, 6.73, 5.04 and 70.73%. In fact, the increase in temperature due to drought has enhanced the value of EC.

According to the results, the average of other water quality parameters has changed between droughts and droughts during the entire statistical period. Therefore, the value of these parameters increased in drought and decreased in drought. There is a significant relationship between drought and sulfate ion changes at all stations. At Jaghargh station, during the drought, the amount of this ion increased by 0.45 mg/liter compared to the long-term average and caused a change of 14.23%. While the amount of SO₄ has decreased by 0.68 mg/liter compared to the long-term average in 2013. These results are in agreement with the results of Zwolsman who reported the negative effect of drought on the concentration of the main ions in water such as sulfate.

The ratio of sodium absorption in the drought period has increased compared to the long-term average, similar to other investigated parameters. The maximum of this increase was in Olang Asadi station (49.12 percent) and the minimum was at Golmakan station (14.73 percent).

The results of the mentioned research showed that the increase in temperature due to drought caused an increase in EC value. Finally, an increase in other quality parameters was observed in the dry period. In confirmation of these results, we studied the effect of drought on surface water quality in Golestan province. The results showed that the occurrence of drought periods has a significant effect on water quality factors compared to the long-term period.

Conclusions

In general, droughts are associated with water crises and a severe reduction in surface water resources. Continuous monitoring and evaluation of surface water and the effect of drought on it is necessary to know the quantitative and qualitative changes and to plan the catchment area. Therefore, conducting studies to investigate the quality of surface water as well as the factors affecting it can provide useful information for the realization of future goals and plans. Therefore, this research was carried out in order to investigate the changes in the water quality of the Kashafrud river in the part of Mashhad city. This was done under the influence of drought and drought.

Finally, it should be mentioned that the results of this research were limited to the effects of drought on the Kashafrud river of Mashhad without considering other factors on its quality. How water enters and leaves the river and other factors can be considered in future research. It is suggested to determine the role of polluting sources such as runoff and sewage in changing the water quality of this river.



استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI در ارزیابی تأثیر خشکسالی بر کیفیت منابع آب سطحی

(مطالعه موردی: رودخانه کشف‌رود)

مهتاب حلمی^{۱*}، علی شهیدی^۲

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲. دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۳. عضو گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

*نویسنده مسئول: mahtabhelmi@birjand.ac.ir

چکیده

واژه‌های کلیدی:

خشکسالی پدیده‌ای است که علاوه بر کمبود منابع آب، موجب کاهش کیفیت آب‌های سطحی می‌شود. هدف انجام این پژوهش بررسی تأثیر خشکسالی بر کیفیت آب رودخانه کشف‌رود می‌باشد. به منظور انجام مطالعه، آمار بارش، دما و داده‌های کیفی شش ایستگاه هواشناسی و هیدرومتری طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۸) استفاده شد. با استفاده از نتایج شاخص SPI و SPEI محاسبه شده، سال ۱۳۷۱ و ۱۳۹۲ به‌عنوان ترسالی و خشکسالی مشترک بین تمام ایستگاه‌ها انتخاب گردید. تغییرات پارامترهای کیفی آب در کل دوره آماری و خشکسالی و ترسالی بررسی شد. نتایج نشان داد میانگین پارامترهای کیفی آب در خشکسالی تغییرات قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند. در تمامی ایستگاه‌ها غلظت پارامترهای EC، TDS، کاتیون‌های Ca، Mg و Na و آنیون‌های SO_4^{2-} ، HCO_3^- و Cl^- در خشکسالی نسبت به میانگین درازمدت افزایش یافته است. حداکثر آن برای پارامتر کلر و در ایستگاه اولنگ اسدی به مقدار ۷/۶۶ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. در مقابل، زمانی که شاخص‌های خشکسالی افزایش داشته و ترسالی رخ داده است، مقدار کلر ۳۲/۷۳ درصد کاهش داشته است. با توجه به افزایش دما در خشکسالی و افزایش مقدار EC، بیش‌ترین درصد تغییرات در ایستگاه اولنگ اسدی با ۷۰/۷۳ درصد و کم‌ترین آن در ایستگاه گلمکان ۱/۷۵ درصد می‌باشد. براساس نتایج، میانگین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در ایستگاه اولنگ اسدی نسبت به ایستگاه گلمکان حدود ۵ برابر افزایش نشان می‌دهد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت با کاهش میزان بارندگی، افزایش دما و شروع خشکسالی، کیفیت آب بخصوص در ایستگاه‌های پایین‌دست کاهش یافته است.

آنیون، رودخانه، شاخص بارش
استاندارد، کاتیون.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۱۰/۲۸

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۱/۱۲/۰۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۱/۰۸

مقدمه

از پیامدهای افزایش دما و تغییر اقلیم، تغییر در شکل و مقدار بارش و بروز انواع خشک‌سالی‌ها می‌باشد (Malekinezhad and Soleimani Motlagh, 2011). خشک‌سالی از مخرب‌ترین رویدادهای آب و هوایی است که باعث خسارت‌های قابل توجهی بر زندگی بشر می‌شود (Nohegara et al., 2016). خشک‌سالی و بررسی تأثیر آن، به‌طور معمول با شاخص‌های خشک‌سالی تعیین می‌گردد. شاخص‌های خشک‌سالی مختلفی به منظور ارزیابی انحراف متغیرهای آب و هوایی از شرایط نرمال، توسعه یافته‌اند (Vicente-Serrano et al., 2010). بارش و دما، مهم‌ترین متغیرهایی هستند که در پایش خشک‌سالی هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در اقلیم‌های مختلف، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که میزان تبخیر و تعرق پتانسیل بسیار زیاد است، متغیر دما و تأثیر آن بر بیلان آب دارای اهمیت ویژه‌ای است. لذا لازم است تا شاخص خشک‌سالی متناسب، مورد استفاده قرار گیرد. به‌طور مسلم یکی از زمینه‌هایی که خشک‌سالی در آن تأثیر اساسی می‌گذارد، منابع آب سطحی است. در واقع، خشک‌سالی‌های شدید در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بر اثر دخالت‌های نامناسب بشر اتفاق افتاده است باعث کاهش کمیت و کیفیت آب‌های سطحی در این مناطق شده است (Huang et al., 2013). به‌طور کلی می‌توان گفت بارش، خشک‌سالی، اقلیم، فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی از جمله عواملی هستند که بر کیفیت آب‌های سطحی تأثیر بسزایی دارند (Mishra et al., 2017). با توجه به اهمیت پدیده خشک‌سالی و تأثیرات آن بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی، بررسی این موضوع مورد توجه پژوهشگران در ایران و سایر نقاط دنیا قرار گرفته است. بدین منظور پژوهشگران از شاخص‌های مختلفی برای پایش خشک‌سالی و بررسی تأثیر آن بر کیفیت آب استفاده کرده‌اند (Soleimani Motlagh et al.; Zielinski et al., 2009; Zeinali et al.; Mahmoudi et al., 2015; al., 2016).

آنچه ضرورت دارد استفاده از روش‌های مناسب و مطالعه‌ی تأثیر پدیده‌هایی مانند خشک‌سالی بر کیفیت آب‌های سطحی به‌عنوان ابزاری جهت مدیریت منابع آب در شرایط بحرانی و بهبود آن می‌باشد. این موضوع را در پژوهش‌های مختلفی مورد توجه قرار داده‌اند. هردینکا و همکاران (Hrdinka et al., 2012) تأثیر خشک‌سالی و سیل را در منطقه‌ای از جمهوری چک بررسی نمودند. نتایج حاکی از آن بود که هر دو پدیده باعث تغییر در کیفیت آب می‌شوند. شاه‌روخی و همکاران (Shahrokh et al., 2019) از شاخص بارش استاندارد و شاخص شناسایی احیائی و چندین شاخص مختلف مبتنی بر داده‌های اقلیمی و سنجش از دور برای ارزیابی خشک‌سالی بر منابع آب سطحی بهره گرفتند. نتایج نشان داد بین پارامترهای کیفی آب (یون کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات، سولفات، سدیم، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول و نسبت جذب سدیم) و رخداد پدیده‌ی خشک‌سالی رابطه معنی‌داری در سطح اطمینان پنج درصد وجود دارد. در پژوهشی دیگر، رجب‌زاده و همکاران (Rajabzade et al., 2021) به منظور تعیین خصوصیات خشک‌سالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و آب زیرزمینی دشت کاشمر و بردسکن و ارتباط زمانی وقوع آن‌ها، از شاخص‌های SPEI، SDI و GRI استفاده کردند. براساس نتایج به دست آمده، به‌طور کلی وضعیت خشک‌سالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و آب زیرزمینی در منطقه روند افزایشی دارد. گیری و همکاران (Giri et al., 2021) نیز در مطالعه‌ی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی و تأثیر آن بر کیفیت آب را تجزیه و تحلیل نمودند. نتایج نشان داد میانگین غلظت آلاینده در دوره‌های خشک‌سالی به دلیل فرآیندهای مختلف از جمله فرسایش و انتقال رسوبات بیش‌تر از دوره‌های غیر خشک‌سالی است. در مطالعه‌ی علی‌پناهی و همکاران (AliPanahi et al., 2022) تغییرات پارامترهای کیفی آب سطحی دشت مهران را در دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی بررسی نمودند. نتایج کلی نشان داد که افزایش فعالیت‌های انسانی و نوسانات آب و هوایی از عوامل مؤثر بر کیفیت آب رودخانه گاوی می‌باشند. با توجه به موقعیت مکانی کشور ایران و بخصوص

خشک‌سالی استفاده گردید. همچنین از پارامترهای کیفی روزانه‌ی ۶ ایستگاه هیدرومتری استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده، از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی اخذ گردیده‌اند. کنترل کیفی بر روی داده‌ها صورت گرفته و کلیه آزمون‌های همگنی و استقلال انجام گردید. ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری منتخب با دوره زمانی مشترک ۳۰ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۸) می‌باشند. مشخصات این ایستگاه‌ها در جداول ۱ و ۲ ارائه گردیده است.

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

شاخص SPI جهت تعیین و پایش خشک‌سالی ارائه گردید. طبیعت SPI به‌گونه‌ای است که امکان تعیین کمی خشک‌سالی یا وقایع غیر عادی رطوبتی را در مقیاس زمانی مشخص، روی هر منطقه از کره زمین که بارش آن ثبت شده است برای یک تحلیل‌گر فراهم می‌نماید. هدف از ارائه شاخص SPI، ارائه یک شاخص عددی می‌باشد که بتواند ریزش‌های جوی مناطق با اقلیم‌های متفاوت را با هم مقایسه کند (McKee, 1993).

مقادیر مثبت SPI نشان‌دهنده بارش بیش از میانگین و مقادیر منفی آن نمایانگر بارش کم‌تر از میانگین می‌باشد. زمانی که مقدار SPI منفی باشد، نشانه شروع خشک‌سالی است و هنگامی که مقدار این شاخص مثبت باشد، نشان‌دهنده پایان خشک‌سالی و آغاز ترسالی است (Hayes et al., 1999).

شاخص بارندگی_تبخیر تعرق استاندارد شده (SPEI)
شاخص بارندگی_تبخیر تعرق استاندارد شده نخستین بار توسط ویسنت_سرانو و همکاران در سال ۲۰۱۰ جهت ارزیابی دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی ارائه گردید. مزیت این شاخص چند متغیره نسبت به شاخص SPI، در نظر گرفتن اثر تبخیر تعرق بر خشک‌سالی است (Vicente-Serrano, 2010). این شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف از معادله‌ی ساده‌ی بیلان آب یعنی تفاوت بین بارندگی و تبخیر تعرق پتانسیل بر اساس روش تورنت وایت استفاده می‌کند.

استان خراسان رضوی که باعث شده در بیش‌تر سال‌ها قسمت عمده‌ای از مساحت آن در معرض خطر وقوع خشک‌سالی باشد و همچنین با در نظر گرفتن این موضوع که داشتن منابع آب کافی و با کیفیت، جهت حفظ محیط‌زیست، توسعه اقتصادی و فعالیت‌های کشاورزی ضروری و اساسی است؛ کنترل و پایش عوامل مؤثر بر کیفیت آب‌های سطحی جهت مصارف مختلف، امری مهم به‌شمار می‌آید.

با توجه به توضیحات فوق و اهمیت رودخانه کشف‌رود در قسمت عبوری از شهرستان مشهد و عدم مطالعه‌ای در این خصوص در این محدوده، این تحقیق با هدف شناسایی پارامترهای کیفیت آب در رودخانه کشف‌رود مشهد و ارزیابی تأثیر خشک‌سالی‌های اتفاق افتاده بر کیفیت آب این رودخانه، انجام شده است. در این بررسی، از دو شاخص SPI^1 و $SPEI^2$ جهت تعیین خشک‌سالی استفاده گردیده و در نهایت تغییرات کیفیت منابع آب سطحی مورد پژوهش قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

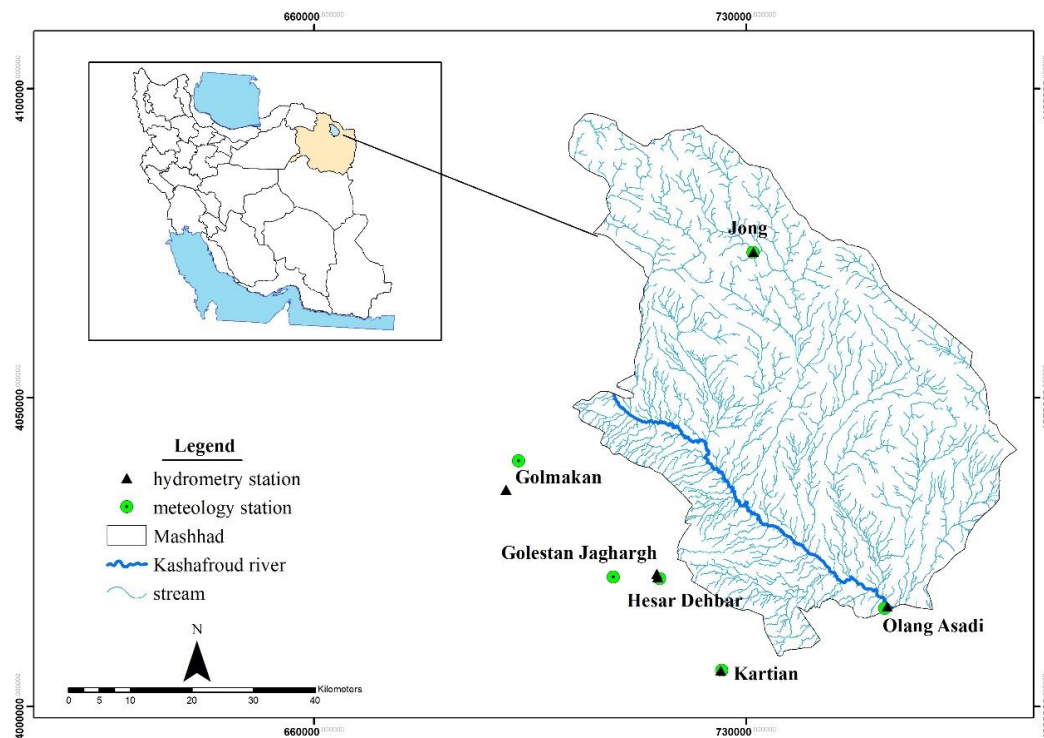
رودخانه کشف‌رود یکی از بزرگ‌ترین رودخانه‌ها در شمال شرق ایران و استان خراسان رضوی محسوب می‌شود. با توجه به نقش مهم رودخانه کشف‌رود در تعادل زیستی، اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی منطقه و تأمین آب مشهد، شناسایی منابع آلاینده و کسب آگاهی مستمر از تغییرات کیفی این رودخانه اولین قدم در راستای مدیریت پایدار منابع آب بر روی این رودخانه می‌باشد. منطقه مطالعاتی در این پژوهش بخشی از رودخانه کشف‌رود می‌باشد که از شهرستان مشهد عبور می‌نماید. موقعیت منطقه مطالعاتی و موقعیت ایستگاه‌های منتخب در شکل ۱ ارائه شده است.

داده‌های مورد استفاده

به منظور انجام پژوهش حاضر، از داده‌های روزانه دما و بارش ۶ ایستگاه هواشناسی برای برآورد شاخص

¹ Standardized Precipitation Index

² Standardized Precipitation Evapotranspiration Index



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاه های هیدرومتری و هواشناسی مورد پژوهش در استان خراسان رضوی و ایران
 Fig. ۱. Location of the study area and hydrometry and meteorology stations in Razavi Khorasan province and Iran

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه های هواشناسی مورد مطالعه

Table 1. Geographical characteristics of the meteorological stations

ردیف No	ایستگاه Station	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع (m) Altitude	متوسط دما (C°) Average Temp	متوسط بارش (mm) Average Pre
1	Olang Asadi	59-48-35	36-15-18	912	14.34	26.03
2	Kartian	59-30-49	36-10-18	1018	13.39	26.11
3	Hesar Dehbar	21-24-59	36-18-27	1251	12.28	22.24
4	Golestan Jaghargh	59-19-20	36-18-41	1434	11.89	24.24
5	Golmakan	59-9-23	36-29-2	1440	12.23	25.68
6	Jong	58-35-23	36-36-44	2313	14.25	24.46

جدول ۲. مشخصات جغرافیایی ایستگاه های هیدرومتری مورد مطالعه

Table 2. Geographical characteristics of the hydrometry stations

ردیف No	ایستگاه Station	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع (m) Altitude
1	Olang Asadi	59-48-53	36-15-28	890
2	Kartian	59-30-42	36-10-17	1232
3	Hesar Dehbar	10-24-59	36-18-34	1249
4	Golestan Jaghargh	59-24-4	36-18-52	1213
5	Golmakan	59-7-56	36-26-32	1569
6	Jong	58-35-26	36-46-47	1665

شدت خشک‌سالی و ترسالی در این دو شاخص براساس مقادیر موجود در جدول ۳ طبقه‌بندی می‌شود.

مقادیر منفی SEPI نمایانگر وقوع خشک‌سالی و کاهش بیلان آب و مقادیر مثبت SEPI نشان‌دهنده‌ی پایان خشک‌سالی و مثبت بودن بیلان آب است.

جدول ۳. طبقه‌بندی خشک‌سالی بر اساس شاخص SPI و SPEI

Table 3. Classification of drought based on SPI index

Classification of drought طبقه‌بندی خشک‌سالی	Index values مقادیر شاخص
Extremely humid	>2
Very humid	99.1 تا 5.1
Relatively humid	49.1 تا 1
Normal	-99.0 تا 0
Relatively dry	-49.1 تا -1
Very dry	-99.1 تا -5.1
Extremely dry	>-2

و شفافیت در بررسی کیفیت آب تعیین می‌گردد. از دیگر آنیون‌هایی که در تمام آب‌های طبیعی یافت می‌شود کلر است. در صورتی که غلظت کلر در آب زیاد شود به لحاظ رشد گیاه سمی خواهد بود. وجود سولفات نیز در آب باعث از بین بردن سازه‌های آبی می‌گردد. به‌طور کلی با بررسی پارامترهای ذکر شده در رودخانه‌ها، بر اساس مناسب بودن کیفیت آب آن‌ها می‌توان برنامه‌ریزی‌های جامعی انجام داد. در این راستا کاهش مصرف کودهای شیمیایی و سموم کشاورزی به همراه جلوگیری از ورود فاضلاب صنعتی، شهری و روستایی مؤثر خواهد بود. (Mahmoudi et al., 2015).

در این پژوهش از ۱۰ پارامتر کیفی ۶ ایستگاه هیدرومتری ذکر شده، بین سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۹۸ استفاده شده است. این پارامترها شامل HCO_3^- ، SO_4^- ، Cl^- ، Ca ، Mg ، Na ، SAR ، EC و pH می‌باشند.

نتایج و بحث

بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI محاسبه شده، برای تمامی ایستگاه‌ها سال ۱۳۷۱ به‌عنوان ترسالی و سال ۱۳۹۲ به‌عنوان خشک‌سالی مشترک معرفی شدند. مقادیر SPI و SPEI در این دو سال به تفکیک ایستگاه‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.

کیفیت آب

عناصر و ترکیب‌های مختلفی در آب وجود داشته که بر کیفیت آب مؤثر هستند. این ترکیبات و پارامترها در شرایط مختلف دچار تغییراتی می‌شوند. از مهم‌ترین آنیون‌های موجود در آب، بی‌کربنات (HCO_3^-)، سولفات (SO_4^-) و کلر (Cl^-) می‌باشند. کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg) و سدیم (Na) نیز از مهم‌ترین کاتیون‌های قابل بررسی هستند. در بررسی وضعیت کیفی آب‌های سطحی همچنین تغییرات پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS^1)، نسبت جذب سدیمی (SAR^2) و اسیدیته (pH) نیز دارای اهمیت می‌باشند.

افزایش یا کاهش هر کدام از این پارامترها بر روی کیفیت آب تأثیرگذار است. در بررسی کیفیت آب، سختی کل براساس مقادیر کاتیون‌های کلسیم و منیزیم به دست می‌آید. وجود کلسیم در آب باعث افزایش نفوذ آب به داخل خاک می‌شود. منیزیم نیز به مقدار قابل توجهی در آب وجود داشته و رفتار آن در آب و خاک مشابه کلسیم است. نمک سدیم نیز در تمام آب‌های طبیعی به مقدار کم و زیاد موجود است. پارامتر TDS جهت تعیین کدر بودن

¹ Total Dissolve Solid

² Sodium Adsorption Ratio

جدول ۴. مقادیر SPI و SPEI در ایستگاه‌های مطالعاتی

Table 4. SPI and SPEI values in studied stations

SPEI values مقادیر SPEI		SPI values مقادیر SPI		Station ایستگاه
1392	1371	1392	1371	
-1.72	1.89	-1.34	1.52	Olang Asadi
-1.25	1.76	-0.97	1.65	Kartian
-1.18	1.55	-1.01	1.26	Hesar Dehbar
-1.11	1.72	-0.95	1.54	Golestan Jaghargh
-1.33	1.43	-1.12	1.08	Golmakan
-0.89	1.57	-0.65	1.29	Jong

معنی‌دار دیده شد (جدول ۵). مقایسه این پارامترها در دو سال ۱۳۷۱ و ۱۳۹۲ نسبت به میانگین دوره آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جداول ۶ تا ۱۱ نتایج میانگین پارامترهای کیفی در کل دوره آماری، خشک‌سالی و ترسالی را برای هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه نشان می‌دهند.

تجزیه و تحلیل پارامترهای کیفیت آب‌های سطحی حوضه مورد مطالعه در طی خشک‌سالی و ترسالی بیانگر وقوع تغییرات قابل توجهی در کیفیت آب‌های سطحی آن است. به‌طوریکه بر اساس نتایج آزمون همبستگی پیرسون بین خشک‌سالی و تغییرات پارامترهای کیفی آب در تمام ایستگاه‌ها رابطه

جدول ۵. ضریب همبستگی پیرسون بین خشک‌سالی و پارامترهای کیفی آب

Table 5. pearson correlation coefficient between drought and water quality parameters

Jong	Golmakan	Golestan Jaghargh	Hesar Dehbar	Kartian	Olang Asadi	
0.15**	0.14**	0.18**	0.24**	0.27**	0.49**	TDS
0.17**	0.11**	0.34**	0.11**	0.29**	0.26**	HCO3
0.14**	0.14**	0.16**	0.30**	0.29**	0.12**	SO4
0.12**	0.47**	0.17**	0.42**	0.27**	0.29**	Cl
0.10**	0.14**	0.26**	0.27**	0.11**	0.36**	Ca
0.23**	0.18**	0.14**	0.11**	0.25**	0.37**	Mg
0.24**	0.12**	0.20**	0.14**	0.11**	0.12**	Na
0.12**	0.45**	0.22**	0.45**	0.11**	0.32**	SAR
0.19**	0.11**	0.34**	0.42**	0.27**	0.12**	EC
0.12**	0.58**	0.15**	0.17**	0.10**	0.11**	pH

**معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

جدول ۶. تغییرات پارامترهای کیفی آب در ایستگاه گلستان جاغرق

Table 6. Changes in water quality parameters at Golestan Jaghargh station

درصد تغییرات Percentage of changes	میانگین ۱۳۹۲ Average of 2013	درصد تغییرات Percentage of changes	میانگین ۱۳۷۱ Average of 1992	میانگین درازمدت Long-term average	واحد Unit	پارامتر Parameter
88.30	551.09	-29.15	31.298	07.421		TDS
22.7	3.68	-9.97	3.09	43.3		HCO3
14.23	2.42	-32.32	1.33	1.97		SO4
41.72	2.28	-33.45	0.88	1.32	Mg.l	Cl
70.12	3.43	-12.93	2.65	3.04		Ca
99.9	70.1	-12.01	1.36	1.55		Mg
03.59	59.3	-24.46	1.66	2.26		Na
61.42	12.2	-15.91	1.25	1.49		SAR
64.30	17.873	-30.56	464.14	668.36	μ mho.cm	EC
17.9	93.7	-8.04	6.68	7.26		pH

جدول ۷- تغییرات پارامترهای کیفی آب در ایستگاه گلماکان

Table 7. Changes in water quality parameters at Golmakan station

درصد تغییرات Percentage of changes	میانگین ۱۳۹۲ Average of 2013	درصد تغییرات Percentage of changes	میانگین ۱۳۷۱ Average of 1992	میانگین درازمدت Long-term average	واحد Unit	پارامتر Parameter
1.75	173.88	-8.43	156.48	170.89		TDS
11.63	2.43	-6.29	2.04	2.18		HCO3
7.17	0.38	-23.85	0.27	0.35	Mg.l	SO4
20.58	0.40	-3.54	0.32	0.33		Cl
0.57	1.76	-4.00	1.68	1.75		Ca
0.92	0.78	-27.54	0.56	0.77		Mg
20.24	0.67	-1.29	0.55	0.56		Na
14.73	0.61	-26.65	0.39	0.53		SAR
1.75	276	-8.43	248.38	271.25	μ mho.cm	EC
11.72	7.96	-0.63	7.08	7.12		pH

جدول ۸- تغییرات پارامترهای کیفی آب در ایستگاه حصار دهبار

Table 8. Changes in water quality parameters at Hesar Dehbar station

درصد تغییرات Percentage of changes	میانگین ۱۳۹۲ Average of 2013	درصد تغییرات Percentage of changes	میانگین ۱۳۷۱ Average of 1992	میانگین درازمدت Long-term average	واحد Unit	پارامتر Parameter
9.44	343.85	-21.44	246.83	314.18		TDS
5.59	3.41	-16.71	2.69	3.23		HCO3
10.72	1.18	-8.05	0.98	1.07	Mg.l	SO4
15.98	0.86	-25.82	0.55	0.74		Cl
7.36	2.50	-20.98	1.84	2.33		Ca
3.61	1.31	-17.75	1.04	1.26		Mg
22.51	1.86	-5.16	1.44	1.52		Na
42.35	1.67	-7.09	1.09	1.17		SAR
9.45	545.80	-21.43	391.80	498.69	μ mho.cm	EC
14.05	7.92	-15.61	5.86	6.94		pH

جدول ۹- تغییرات پارامترهای کیفی آب در ایستگاه جنگ

Table 9. Changes in water quality parameters at Jong station

درصد تغییرات Percentage of changes	میانگین ۱۳۹۲ Average of 2013	درصد تغییرات Percentage of changes	میانگین ۱۳۷۱ Average of 1992	میانگین درازمدت Long-term average	واحد Unit	پارامتر Parameter
6.73	394.59	-6.03	347.40	369.69		TDS
0.64	4.44	-8.88	4.02	4.41		HCO ₃
28.40	1.48	-8.04	1.06	1.15	Mg.l	SO ₄
9.09	0.60	0	0.55	0.55		Cl
2.99	2.45	-26.02	1.76	2.38		Ca
0.30	2.85	-16.95	2.36	2.84		Mg
87.06	1.65	-4.77	0.84	0.88		Na
43.25	0.83	-5.08	0.55	0.58		SAR
6.73	626.33	-6.03	551.43	586.81	μ mho.cm	EC
0.62	7.86	-14.74	6.66	7.81		pH

جدول ۱۰- تغییرات پارامترهای کیفی آب در ایستگاه کرتیان

Table 10. Changes in water quality parameters at Kartian station

درصد تغییرات Percentage of changes	میانگین ۱۳۹۲ Average of 2013	درصد تغییرات Percentage of changes	میانگین ۱۳۷۱ Average of 1992	میانگین درازمدت Long-term average	واحد Unit	پارامتر Parameter
5.04	316.39	-29.23	213.15	301.20		TDS
5.09	3.36	-1.47	3.15	3.20		HCO ₃
27.51	1.37	-22.75	0.83	1.07		SO ₄
32.75	0.90	-41	0.40	0.68	Mg.l	Cl
1.23	2.26	-25.20	1.67	2.23		Ca
8.97	1.68	-5.95	1.45	1.54		Mg
55.10	1.87	-0.47	1.20	1.21		Na
43.15	1.34	-7.06	0.87	0.94		SAR
5.04	502.20	-29.23	338.33	478.10	μ mho.cm	EC
4.08	7.80	-24.34	5.67	7.49		pH

جدول ۱۱- تغییرات پارامترهای کیفی آب در ایستگاه اولنگ اسدی

Table 11. Changes in water quality parameters at Olang Asadi station

درصد تغییرات Percentage of changes	میانگین ۱۳۹۲ Average of 2013	درصد تغییرات Percentage of changes	میانگین ۱۳۷۱ Average of 1992	میانگین درازمدت Long-term average	واحد Unit	پارامتر Parameter
95.04	1845.32	-12.33	829.50	946.14		TDS
94.39	9.72	-7.61	4.62	5		HCO ₃
29.71	7.33	2.28	5.78	5.65		SO ₄
161.10	12.42	-32.73	3.20	4.76	Mg.l	Cl
16.44	4.61	-19.93	3.17	3.96		Ca
58.98	5.80	-1.32	3.60	3.65		Mg
82.87	14.20	-10.50	6.95	7.77		Na
49.12	5.69	-6.70	3.56	3.82		SAR
70.73	2564	-12.33	1316.67	1501.81	μ mho.cm	EC
14.88	7.62	-10.60	5.93	6.63		pH

می‌یابد. نسبت جذب سدیم در دوره خشک‌سالی نسبت به میانگین درازمدت، مشابه سایر پارامترهای مورد بررسی افزایش یافته است. حداکثر این افزایش در ایستگاه اولنگ اسدی (۴۹/۱۲ درصد) و حداقل آن در ایستگاه گل‌مکان (۱۴/۷۳ درصد) بوده است. در بررسی تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌ها بین ایستگاه‌های مورد بررسی مشخص شد از بالادست به پایین‌دست رودخانه غلظت آن‌ها به‌طور نسبی افزایش یافته است که دلیل آن ممکن است ناشی از تأثیر عوامل دیگر (غیر از خشک‌سالی) بر کیفیت آب باشد. بر این اساس میانگین غلظت کل کاتیون‌ها و آنیون‌ها در ایستگاه اولنگ اسدی نسبت به ایستگاه گل‌مکان حدود ۵ برابر افزایش را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج پارامتر CI، بیش‌ترین تغییرات برای این پارامتر و در ایستگاه اولنگ اسدی به مقدار ۷/۶۶ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. در مقابل در سال ۱۳۷۱ که شاخص‌ها افزایش داشته‌اند و ترسالی رخ داده است، مقدار کلر ۳۲/۷۳ درصد کاهش داشته است. همچنین لازم به ذکر است، نتایج این تحقیق محدود به آثار خشک‌سالی روی رودخانه کشف‌رود بدون توجه به سایر عوامل دیگر بر کیفیت آب این حوضه می‌باشد. به‌طور کلی بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش، خشک‌سالی بر کیفیت آب مؤثر است. در دوره‌ای که پدیده خشک‌سالی رخ داده است، غلظت آنیون‌ها، کاتیون‌ها، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم نسبت به دوره طولانی‌مدت افزایش یافته است. همسو با یافته‌های پژوهش حاضر، محمودی و همکاران (Mahmoudi et al., 2015) خشک‌سالی و تأثیر آن بر کیفیت منابع آب سطحی سیستان و بلوچستان را بررسی نمودند. نتایج پژوهش مذکور نشان داد که افزایش دما در اثر خشک‌سالی باعث افزایش مقدار EC شده است و در نهایت افزایش سایر پارامترهای کیفی در دوره خشک مشاهده شده است. در تأیید این نتایج، حشمت‌پور و همکاران (Heshmatpour et al., 2015) در مطالعه‌ای به اثر خشک‌سالی بر کیفیت آب‌های سطحی استان گلستان پرداختند. نتایج نشان داد وقوع دوره‌های خشک‌سالی تأثیر به‌سزایی بر روی فاکتورهای کیفی آب در مقایسه با دوره طولانی‌مدت

بر اساس نتایج جداول فوق، میانگین پارامترهای کیفی آب بین خشک‌سالی، ترسالی و کل دوره آماری دارای تغییراتی می‌باشند. به‌طوریکه در خشک‌سالی مقدار این پارامترها افزایش و در ترسالی کاهش یافته است. به‌عنوان مثال در ایستگاه جاغرق میانگین پارامتر TDS در خشک‌سالی نسبت به میانگین درازمدت آن، ۱۳۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر افزایش داشته که منجر به ۳۰/۸۸ درصد تغییر شده است و در ترسالی نسبت به میانگین درازمدت، ۱۲۲/۷۶ میلی‌گرم در لیتر کاهش داشته است. بین خشک‌سالی و تغییرات یون سولفات در تمام ایستگاه‌ها رابطه معنی‌دار وجود دارد. در ایستگاه جاغرق، در خشک‌سالی مقدار این یون ۰/۴۵ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با میانگین درازمدت افزایش داشته و باعث تغییر ۱۴/۲۳ درصد شده است. در حالی‌که مقدار SO₄ در سال ۱۳۷۱ نسبت به میانگین درازمدت، ۰/۶۸ میلی‌گرم در لیتر کاهش را داشته است. این نتایج مطابق با نتایج زولسمن و همکاران (Zwolsman et al., 2007) است که تأثیر منفی خشک‌سالی بر غلظت یون‌های اصلی موجود در آب مانند سولفات را گزارش کردند.

با توجه به نقش درجه حرارت در میزان هدایت الکتریکی آب و افزایش دما در طی دوره‌ای که خشک‌سالی رخ می‌دهد، می‌توان انتظار داشت که EC در خشک‌سالی افزایش پیدا کند. در این پژوهش نیز با توجه به نتایج به دست آمده، مقدار پارامتر EC در تمامی ایستگاه‌ها در سال خشک‌سالی (۱۳۹۲) افزایش یافته و در مقابل در سال ترسالی (۱۳۷۱) کاهش پیدا کرده است. مقدار میانگین EC در ایستگاه‌های جاغرق، گل‌مکان، حصاردهبار، جنگ، کرتیان و اولنگ اسدی در خشک‌سالی نسبت به میانگین درازمدت به ترتیب ۳۰/۶۴، ۱/۷۵، ۹/۴۵، ۶/۷۳، ۵/۰۴ و ۷۰/۷۳ درصد افزایش داشته است. در واقع افزایش دما در اثر خشک‌سالی باعث افزایش مقدار EC شده است. در تمامی ایستگاه‌ها با افزایش مقادیر شاخص‌ها، غلظت کاتیون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم کاهش یافت. نسبت جذب سدیم یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین کیفیت آب زراعی است. به‌طوری‌که با افزایش آن کیفیت آب کشاورزی کاهش

محدود به آثار خشک‌سالی روی رودخانه کشف‌رود مشهد بدون توجه به سایر عوامل دیگر بر کیفیت آن بوده است. چگونگی ورود و خروج آب از رودخانه و سایر عوامل می‌تواند در پژوهش‌های آتی مد نظر قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود نقش منابع آلاینده نظیر زهاب و فاضلاب‌ها در تغییر کیفیت آب این رودخانه مشخص گردد.

منابع

- Ali Panahi, K., Roštami, N., & Gheysouri, M. (2022). Evaluation of the effect of land use change in Mehran plain on surface water quality parameters in wet and drought periods. *Journal of Natural Environment Hazards*, 11(34), 127-144. [In Persian].
- Edwards, D.C., & McKee, T.B. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report*, 97(2), Colorado State University Fort Collins Colorado.
- Giri, S., Mishra, A., Zhang, Zh., Richard, G., & Alnahit, O. (2021). Meteorological and Hydrological Drought Analysis and Its Impact on Water Quality and Stream Integrity. *Sustainability Of Water Quality And Ecology*, 13(1), 1-24.
- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A., & Vanyarkho, O.V. (1999). Monitoring the drought using the Standardized precipitation Index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(3), 429- 437.
- Hrdinka, T. O., Novicky, E., & Rieder, M. (2012). Possible impacts of floods and droughts on water quality. *Journal of Hydro-environment Research*, 6(2), 145-150.
- Huang, B. B., Yan, H., Wang, B. F., & Cui, X. H. (2013). Impacts of drought on the quality of surface water of the basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(4), 143-163.
- Mahmoudi, P., Tavousi, T., & Shahouzei, A. (2015). Drought and its impact on the quality of surface water resources in Siستان and Baluchistan province. *Journal of water research in agriculture*, 29(1), 21-35. [In Persian].
- Malekinezhad, H., & Soleimani Motlagh, M. (2011).

دارد. همچنین مقایسه نتایج بررسی پارامترهای مرتبط با کیفیت آب رودخانه کشف‌رود با یافته‌های هانگ و همکاران (Huang et al., 2013) مطابقت دارد. آن‌ها کمبود بارندگی طی دوره خشک‌سالی را موجب به هم زدن تعادل آب سطحی دانسته و تداوم این پدیده را عامل افزایش غلظت عناصر محلول در آب عنوان کردند.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی در سال‌هایی که خشک‌سالی اتفاق می‌افتد، بحران آب و از تبعات آن کاهش شدید منابع آب سطحی نمایان می‌شود. پایش و ارزیابی مستمر آب‌های سطحی و تأثیر پدیده‌ی خشک‌سالی بر آن، جهت آگاهی از تغییرات کمی و کیفی و برنامه‌ریزی‌های سطح حوضه آبریز ضروری است. تعیین مناسب بودن آب برای بخش‌های مختلف با توجه به کیفیت آن امکان‌پذیر است. بنابراین انجام مطالعات جهت بررسی کیفیت آب‌های سطحی و همچنین عوامل تأثیرگذار بر آن می‌تواند اطلاعات مفیدی جهت تحقق اهداف و برنامه‌ریزی‌های آتی ارائه دهند. لذا این پژوهش در راستای بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه کشف‌رود در قسمت شهرستان مشهد، تحت تأثیر خشک‌سالی و ترسالی انجام شد.

بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI، ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری مورد بررسی، به تناوب خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌های گوناگونی را با شدت‌های مختلف تجربه کرده‌اند. در این پژوهش مشخص شد که خشک‌سالی بر کیفیت آب مؤثر می‌باشد. براساس ضریب همبستگی پیرسون، بین خشک‌سالی و پارامترهای کیفیت آب سطحی رابطه معنی‌دار وجود داشته و باعث افزایش غلظت آن‌ها شده است. حداکثر این افزایش در ایستگاه هیدرومتری اولنگ اسدی می‌باشد. این افزایش در مقدار یون کلر به وضوح قابل مشاهده می‌باشد. همچنین در مقایسه میانگین غلظت کل کاتیون‌ها و آنیون‌ها در ایستگاه اولنگ اسدی نسبت به ایستگاه گلمکان که در ناحیه بالادست این ایستگاه قرار دارد، افزایش حدود ۵ برابر را نشان می‌دهد.

در نهایت لازم به ذکر است، نتایج این پژوهش

- Hydrological Drought on Groundwater Quantity and Quality (Case Study: Marand Plain), *Journal of Watershed Management Research*, 7(14), 177-187. [In Persian].
- Zielinski, P., Gorniak, A., & Piekarski, M.K. (2009). The effect of hydrological drought on chemical quality of water and dissolved organic carbon concentrations in lowland rivers. *Polish journal of ecology*, (57), 373-383.
- Zwolsman, J. J. G., & van Bokhoven, A. J. (2007). Impact of summer droughts on water quality of the Rhine River, a preview of climate change. *Water Science and Technology*, 56(4), 45-55.
- Investigating the severity of meteorological and hydrological droughts in Chaghlundi basin. *Iranian Water Research Journal*, 5(9), 61-71. [In Persian].
- McKee, T.B. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Applied Climatology*. Anaheim, CA, American Meteorological Society.
- Mishra, B. K., Regmi, R. K., Yoshifumi, M., Kensuke, F., Pankaj, K., & Chitresh, S. (2017). Assessment Of agmati river pollution in kathmandu valley: Scenario-Based modeling and analysis for sustainable urban development. *Sustainability of water quality and ecology*, 9(2), 67-77.
- Nouhegara, A., GhashghaeZade, N., HeidarZade, M., Idoun, M.R., & Panahi, M. (2016). Evaluation of drought and effect on surface and groundwater sources (Case study: Minab River watershed). *Researches in Earth Sciences*, 7(3), 28-43. [In Persian].
- Rajabzade, S., Mosaedi, A., & Ghabaei Sough, M. (2021). Assessment of meteorological, hydrological and groundwater droughts in the Kashmar and the Bardaskan plains and their relationship with each other. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 9(1), 55-71. [In Persian].
- Shahrokhi, Z., Zare, M., Mirmohammadi Maybodi, A., Rahimian, M.H., & Arabi Aliabad, F. (2019). The Effect of Drought on Surface Water Quality of the Halil-Rood Basin, Kerman. *Journal of Water and Soil Science*, 23(3), 367-380. [In Persian].
- Soleimani Motlagh, M., Talebi, A., & Zareei, M. (2015). The Study of Drought on the Quality of Surface Water Resources in Kashkan Watershed. *Journal of Watershed Management Research*, 6(12), 154-165. [In Persian].
- Vicente-Serrano, S M., Beguería, S., & López-Moreno J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23, 1696-1718.
- Zeinali, B., Faridpour, M., & Asghari, S. (2016). Investigate the Effect Meteorological and