



Evaluation of Different Drought Indices to Find the Most Applicable Index (Case Study: Aleshtar Plain)

Atefe Amiri¹, Siamak Baharvand^{2*}, Mozhgan Rad³

1. PhD. Student, Watershed Engineering (water and soil conservation), Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

2. Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University of Khorramabad, Khorramabad, Iran.

3. MSc. Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Iran.

*Corresponding Author: S.baharvand@khoiau.ac.ir

Keywords:

CZI index, DIP software,
Drought, Minimum rainfall,
Steinman method.

Extended Abstract

Introduction:

Many researchers considered drought to be the first dangerous natural phenomenon due to its significant impact. Drought is one of the most important natural disasters that affects various aspects of human life with its slow and creeping occurrence. This calamity, as an unfortunate climate phenomenon that directly affects communities through water resource restriction, brings economic, social and environmental costs. In general, drought is divided into four categories, including meteorological, agricultural, socio-economic and hydrological droughts. Due to being located in the geographical dry belt and the desert strip located in the latitudes of 20 to 40 degrees in the northern hemisphere with an average annual rainfall of about 250 millimeters, also due to the disproportionate distribution of rainfall, Iran is considered one of the dry and semi-arid regions of the world. River and for this reason drought is one of the main climatic characteristics that should be studied. In this research, meteorological drought was studied using ZSI, MCZI, CZI, PN, DI and SPI drought indices in the Aleshtar Plain. Daily precipitation values from three stations, Aleshtar, KakaReza and Sarabsead-Ali, were collected for 2001-2021. After analyzing the annual precipitation trend at each station, the duration and maximum severity of drought were determined using meteorological drought indices. Considering that in previous studies, only one or two drought indicators have been used to investigate meteorological drought, the purpose of this research is to investigate the duration and maximum of meteorological drought using different drought indices (ZSI, MCZI, CZI, PN, DI and SPI) and rainfall statistics of three stations to find the most suitable index in Aleshtar Plain. In determining the performance of these indices and selecting the most suitable index, four methods of minimum and maximum precipitation, Steinman and Spearman have been used.

Received:

13 September 2023

Revised:

09 October 2023

Accepted:

14 October 2023

How to cite this article:

Amiri, A., Baharvand, S., & Rad, M. (2024). Evaluation of Different Drought Indices to Find the Most Applicable Index (Case Study: Aleshtar Plain). *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(4), 71-86. [10.22077/JDCR.2023.6775.1043](https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.6775.1043)



Materials and methods:

In this research, to investigate the annual drought and drought periods in Aleshtar Plain, the daily rainfall data of Aleshtar, KakaReza and Sarabsead-Ali stations during the statistical period from 2001 to 2021 were used and drought indicators were employed. DIP software was used and analyzed. Then, to find the most versatile drought index, minimum and maximum precipitation, Spearman and Steinman methods have been used.

Results and discussion:**Investigating drought trend using SPI index**

In order to investigate the drought trend in different stations for the time windows of 1, 3, 6, 9, 12, 24 and 48 months in terms of the intensity and duration of the drought period, the SPI index output values have been used. According to the drought analysis results, it was observed that the standardized precipitation index values have many fluctuations in the short-term time windows. While the longer time periods of 12, 24 and 48 months show slower reactions to the changes in precipitation, according to the results, the maximum duration of drought for the time period studied in the stations of Sarabsead-Ali and KakaReza has occurred with an amount of 11 months, and the least continuity occurred in Aleshtar station with an amount of 2 months. Also, the highest mean length of the dry period was at KakaReza station with a value of 8.25 and the lowest was at Aleshtar station with a value of 1.25. The most severe dry month in the studied period in terms of SPI drought index was at Aleshtar station with a value of -3.2 and the lowest at KakaReza station with a value of -1.05.

Comparison of drought indices to find the most suitable index**Examining the minimum theory**

According to the obtained results, according to the minimum theory assumptions, the CZI index has been selected as the most suitable index. This is done by estimating one correct case out of four, SPI, ZSI and PN indices at most stations. There has been a severe drought and MCZI and DI indices could not predict any of the cases correctly and the status of the cases has returned to normal in all stations. In comparison with wet conditions, SPI, ZSI and CZI indices have been selected as the most suitable indicators of wet. This is done by estimating three correct cases out of four. However, MCZI, DI and PN indices have reached normal status in all stations and never had reliable predictions.

Investigating Spearman's correlation between indices and rainfall values

The results obtained from the comparison of Spearman's correlation between drought indices and precipitation parameters show that there is a favorable correlation between the two at all stations. Also, the MCZI index obtained weaker results than other drought indices.

Choosing the right index based on normal distribution

The index that was chosen as the best index in the largest number of stations by the Steinman method is the CZI index. This index was selected as the highest index in three stations, and the ZSI index was selected as the second rank index. DI index with the weakest performance out of three stations did not get a rank in two stations.

Selecting the top index

In this research, with respect to the criterion of all four tests for choosing the best drought index, for each of the tests, according to the number of indicators that are compared, the highest score is given to the best index, and in the same way until the index. Finally, points are given, and finally, the index that has obtained the most points in total (Table 1) is selected as the most suitable index for the conditions of the region. According to Table (1), the CZI index that has got the most points from all the tests is selected as the most effective index. SPI and ZSI indices have also obtained favorable and accurate results in this region.

Table 1. Scoring indicators in four tests

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	test/index
4	2	1	6	3	5	Minimal
2	4	3	5	5	6	Maximum
5	3	2	4	6	4	Spearman
3	1	2	6	5	4	Steinman
14	10	8	21	19	19	Total points

Conclusion:

ZSI, MCZI, CZI, PN, DI and SPI drought indices were used to investigate meteorological drought in the Aleshtar Plain. Then, to find the most versatile drought index, minimum and maximum precipitation, Spearman and Steinman methods were used. The results of this research showed that CZI, ZSI and SPI indices are the most important indicators for studying and investigating meteorological drought situation in the Aleshtar Plain. It is suggested to examine the meteorological drought situation in the region for longer periods. These indicators are also evaluated. In the phenomenon of drought, due to the fact that different definitions have been expressed for it from different points of view, and also that numerical values of this phenomenon cannot be measured directly, it seems difficult to compare various indicators and choose the best indicator. Determining the monitoring target is one of the most important processes of choosing the appropriate drought index. This target must be specified in the first step. It is important to know for what purposes (meteorological, agricultural, and hydrological) drought monitoring is conducted.



ارزیابی شاخص‌های مختلف خشکسالی برای یافتن تطبیق‌پذیرترین شاخص (مطالعه موردی: دشت الشتر)

عاطفه امیری^۱، سیامک بهاروند^{۲*}، مژگان راد^۳

۱. دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری (حفاظت آب و خاک)، گروه آموزشی مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران.

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران.

*نویسنده مسئول: S.baharvand@khoiau.ac.ir

چکیده

واژه‌های کلیدی:

یکی از چالش‌های اصلی در پایش خشکسالی، تعیین شاخصی است که بر اساس هدف پایش، از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار باشد. بررسی و پایش خشکسالی مهمترین ابزار مدیریت خشکسالی محسوب می‌شود که می‌توان با استفاده از روش‌هایی، شروع و پایان، محدوده مکانی و شدت اثر آن را مشخص و در صورت وجود برنامه‌های مقابله با خشکسالی، زمان تشکیل کارگروه بررسی و مقابله را معین نمود. در این پژوهش، به بررسی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی CZI, MCZI, ZSI, DI, PN و SPI در دشت الشتر پرداخته شد. برای این منظور، مقادیر بارش روزانه سه ایستگاه الشتر، کاکارضا و سراب‌صیدعلی در بازه زمانی ۲۰۲۱-۲۰۰۱ گردآوری و پس از بررسی روند بارش سالانه در هر ایستگاه، تداوم و بیشینه خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی تعیین گردید. برای بررسی عملکرد این شاخص‌ها و انتخاب تطبیق‌پذیرترین شاخص برای منطقه از فرضیه کمینه استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده، شاخص CZI با برآورد یک مورد صحیح از چهار مورد نسبت به بقیه شاخص‌ها عملکرد مطلوب‌تری داشت. همچنین در ادامه، به بررسی همبستگی اسپیرمن بین پارامتر بارش و شاخص‌های خشکسالی پرداخته شد که نتایج نشان می‌دهد همبستگی مطلوبی بین تمامی شاخص‌ها در تمامی ایستگاه‌ها برقرار است و تنها شاخص MCZI عملکرد ضعیفی دارد. در نهایت با توجه به مجموع امتیازات، شاخص CZI که توانسته ۲۱ امتیاز از مجموع آزمون‌ها را کسب کند، به عنوان شاخص برتر منطقه انتخاب گردید. شاخص‌های SPI و ZSI نیز نتایج مطلوب و دقیقی را در این منطقه به دست آورده‌اند.

روش اسپیرمن، همبستگی اسپیرمن، شاخص CZI، کمینه بارش، نرم افزار DIP.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۶/۲۲

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۲/۰۷/۱۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۷/۲۲

مقدمه

زندگی بشر در طول تاریخ همواره در معرض انواع مخاطرات طبیعی قرار داشته که برخی از آنها ناشی از فرآیندهای آب و هوایی می‌باشد. محققان زیادی پدیده‌ی خشکسالی را به علت تأثیر زیاد آن، در رده‌ی نخست فهرست پدیده‌های مخاطره آمیز طبیعی به شمار آوردند. خشکسالی به عنوان یکی از مهم‌ترین بلاهای طبیعی بوده که با وقوع تدریجی آرام و خزنده‌اش بر ابعاد مختلف زندگی بشر تأثیر می‌گذارد. این بلا به عنوان یک پدیده‌ی ناگوار اقلیمی که بطور مستقیم جوامع را از طریق محدودیت در دسترسی به منابع آب تحت تأثیر قرار می‌دهد، هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی زیادی را به همراه دارد (Seidi and Delfari, 2016). به طور کلی با توجه به حیطة‌ی مورد مطالعه، خشکسالی به چهار دسته تقسیم می‌شود که شامل خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، اقتصادی- اجتماعی و هیدرولوژیکی است (Wilhite and Glantz, 1985). کشور ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک جغرافیایی و نوار بیابانی واقع در عرض‌های ۲۰ تا ۴۰ درجه نیمکره شمالی با متوسط بارندگی سالانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر، همچنین به دلیل توزیع نامتناسب مقدار بارندگی، جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا به شمار می‌رود و به همین دلیل خشکسالی از مشخصه‌های اصلی اقلیمی در آن است که می‌بایست مورد مطالعه قرار گیرد (Keshavarz et al., 2012). به همین دلیل مطالعات متعددی در این زمینه توسط محققان انجام شده است. آذرخش و فرزادمه‌ر (Azarakhshi and Farzadmehr, 2022)، ارتباط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را در استان خراسان رضوی بررسی نمودند. در این پژوهش از شاخص‌های sdi و spi استفاده شد و طبق نتایج به دست آمده در بیشتر حوضه‌ها رابطه‌ی بین این دو خشکسالی معنی‌دار نگردید که این مورد را می‌توان با وضعیت بدون روند بارش و روند کاهش دبی، قابل توجیه دانست. هادیانی (Hadiani, 2022)، به طبقه‌بندی شدت خشکسالی هیدرولوژیکی در استان مازندران با استفاده از شاخص smmd اقدام نمود. طبق نتایج به دست آمده، شاخص مذکور منطبق بر رفتار

هیدرولوژیکی رودخانه‌های استان مازندران ارزیابی شد و نتایج حاصل، به وضوح مستقل بودن طبقه‌بندی شدت و ضعف خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در رودخانه‌های مختلف را تأیید کرد. ولی‌پور و همکاران (Valipour et al., 2022) در حوضه جنوبی رودخانه کرخه به بررسی ارتباط خشکسالی هیدرولوژیکی و میزان هدایت الکتریکی رودخانه پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که هدایت الکتریکی در رودخانه کرخه روند افزایشی داشته است که این افزایش با کاهش شدید دبی ناشی از خشکسالی‌های متوالی در رودخانه و افزایش مصارف در بالادست، همراه بوده است. مشهدی حیدر و همکاران (Mashhadi Heydar et al., 2023)، زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی را در زیرحوضه نازلوچای در غرب حوضه آبریز دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار دادند که برای این منظور از سه شاخص sdi، spi و gri استفاده شد. نتایج حاصل نشان از همبستگی معنی‌دار بین خشکسالی‌های هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی و خشکسالی‌های هواشناسی داشت. طبق بررسی‌های انجام شده زمان لازم برای انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدرولوژیکی ۶ ماه و زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدروژئولوژیکی ۱۷ ماه می‌باشد. گزری و همکاران (Gazori et al., 2022) به بررسی شاخص‌های مختلف خشکسالی برای یافتن تطبیق‌پذیرترین شاخص در شهرستان دامغان پرداختند. با توجه به نتایج به دست آمده، شاخص DI در برآورد خشکسالی شدید و برآورد ترسالی شدید، نسبت به بقیه‌ی شاخص‌ها عملکرد مطلوب‌تری داشت. در مرحله‌ی بعد، با استفاده از همبستگی اسپیرمن بین پارامتر بارش و شاخص‌های خشکسالی، شاخص PN بهترین عملکرد را نشان داد. برای مقایسه‌ی شاخص‌ها در زمینه‌ی برآورد تغییرات تراز آب‌های زیرزمینی، از میانگین‌های متحرک زمانی در دوره‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه استفاده شد که در نهایت شاخص SPI به عنوان تطبیق‌پذیرترین شاخص در برآورد تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی دامغان تعیین شد. هاگو موندل و همکاران (Haque Mondol et al., 2021) با بررسی داده‌های

تحقیق حاضر، بررسی تداوم و بیشینه خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص‌های مختلف خشکسالی (ZSI، MCZI، CZI، PN، DI و SPI) و آمار بارش سه ایستگاه برای یافتن تطبیق‌پذیرترین شاخص در دشت الشتر است. در تعیین عملکرد این شاخص‌ها و انتخاب تطبیق‌پذیرترین شاخص، از چهار روش کمینه و بیشینه بارش، استینمن و اسپیرمن استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

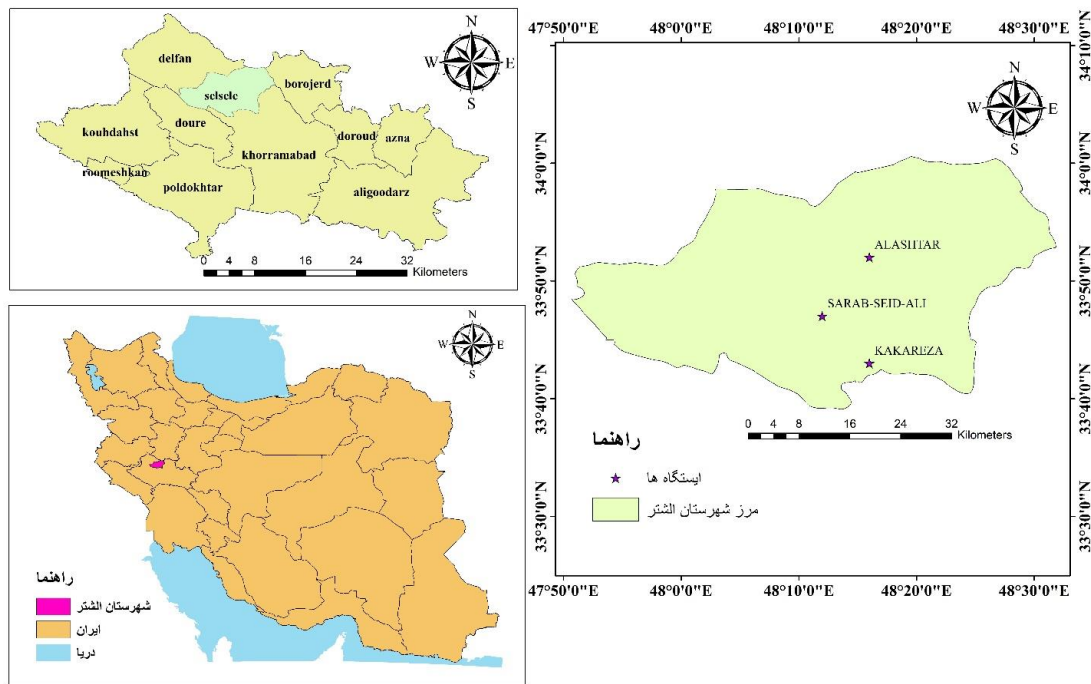
منطقه مورد مطالعه

شهرستان الشتر با مساحت ۱۲۱۲ و جمعیت ۲۸۳۰۶ نفر (مطابق با آمار سرشماری سال ۱۳۸۵)، در ۲۷ دقیقه ۴۸ درجه شرقی و ۳۲ دقیقه و ۳۳ درجه شمالی و در ارتفاع ۱۶۰۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. این شهر در ۴۸ کیلومتری شمال خرم‌آباد (مرکز استان) و ۱۱ کیلومتری راه خرم‌آباد به نورآباد واقع شده که ادامه این راه پس از عبور از هرسین، به کرمانشاه منتهی می‌شود. شهر الشتر در دشتی به همین نام قرار گرفته است و کوه‌های گرین و خرگوش‌تاب از رشته کوه‌های زاگرس میانی از دو سوی شمال و شرق آن را در بر گرفته‌اند. همچنین کوه بازگیران، نثار پهن و سیاهدل در فاصله‌ی کمتری در شمال شرقی، شرق و جنوب شرقی آن قرار دارند. آب و هوای این ناحیه از لرستان، دارای آب و هوای معتدل و کوهستانی است و حداکثر دمای آن در تابستان به ۳۹ و حداقل آن در زمستان به ۷- درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رسد. روده‌های فصلی متعددی از ارتفاعات شمالی و شرقی به سوی دشت الشتر جاری است. میزان بارندگی سالانه نیز حدود ۴۵۰ میلی‌متر است (شکل ۱).

روش پژوهش

در این تحقیق به منظور بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی سالانه در دشت الشتر از داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های الشتر، سراب‌صیدعلی و کاکارضا طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ استفاده و شاخص‌های خشکسالی با استفاده از نرم افزار DIP محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. سپس به منظور یافتن تطبیق‌پذیرترین شاخص خشکسالی از روش‌های کمینه و بیشینه بارش، اسپیرمن و استینمن استفاده شده است.

بارندگی و دما مربوط به ایستگاه اداره هواشناسی منطقه‌ی بنگلادش در طول سال‌های ۱۹۷۹-۲۰۱۸ با استفاده از شاخص‌های EDI و SPI ویژگی‌ها و تقویم زمانی شروع و پایان و فراوانی خشکسالی را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که فرکانس خشکسالی در منطقه‌ی بنگال شمالی طی دوره مورد بررسی حداقل افزایش ۱۰ درصدی داشته است. پژنیویلان و همکاران (Pazhanivelan et al., 2023) به ارزیابی شاخص SPI و خروج بارندگی بر اساس محصولات بارشی چند ماهواره برای پایش خشکسالی هواشناسی در Tamil Nadu هند پرداختند. مطالعه حاضر در مورد پایش و ارزیابی قابلیت اطمینان خشکسالی مبتنی بر ماهواره با استفاده از چهار محصول بارش با وضوح بالا، یعنی CHIRPS، TRMM، IMERGH و PERSIANN در ایالت تامیل انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد، داده‌های CHIRPS درصد بیشتری از توافق (بیش از ۸۵٪) را در مقایسه با داده‌های AWS نسبت به سایر محصولات بارش در همه‌ی مناطق کشاورزی-اقليمی تامیل نادو ثبت کرده‌اند. گاموز و همکاران (Gumus et al., 2023) به مطالعه تجزیه و تحلیل ویژگی‌ها و روند خشکسالی طی سال‌های ۱۹۶۵-۲۰۲۰ در حوضه‌ی رودخانه دجله، ترکیه پرداختند. در این مطالعه، خشکسالی‌های هشت ایستگاه هواشناسی در حوضه‌ی دجله ترکیه بین سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۲۰ ارزیابی شده است. مقیاس‌های زمانی به منظور بررسی تغییر خشکسالی‌ها از گذشته تا کنون، سه دوره‌ی مختلف به عنوان دوره اول (FP)، دوره دوم (SP) و دوره سوم (TP) تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که میانگین شاخص‌های اوج خشکسالی در حوضه از FP به TP برای تمام مقیاس‌های زمانی به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. درصد وقوع خشکسالی شدید در SPI-3 و SPI-6 از گذشته تا به امروز افزایش یافته است. در SPI-12، اگرچه کاهش معنی‌داری در میانگین درصد وقوع خشکسالی شدید در FP و SP وجود دارد، اما در TP به طور قابل توجهی افزایش یافته است. با توجه به اینکه در پژوهش‌های قبلی تنها از یک یا دو مورد از شاخص‌های خشکسالی به منظور بررسی خشکسالی هواشناسی استفاده شده است هدف از



شکل ۱. محدوده مطالعاتی و موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی

Fig 1. The study area and the location of the stations

اغلب از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند؛ بنابراین باید قانون احتمالی حاکم بر آن را پس از مشخص کردن به نرمال استاندارد تبدیل نمود (Mckee et al., 1993). براساس جدول این شاخص، اگر SPI بیشتر از ۲ باشد شرایط فوق‌العاده مرطوب و اگر کمتر از -۲ باشد، فوق‌العاده خشک است.

شاخص درصد از نرمال بارش

این شاخص در سال ۱۹۹۴ توسط وریک و همکاران (Werike et al., 1994) ارائه شد و مفهوم اساسی آن نسبت بارندگی واقعی به مقدار نرمال، در یک دوره‌ی زمانی مشخص است که به صورت درصد بیان می‌شود و در مقیاس‌های زمانی هفتگی، ماهانه و سالانه قابل محاسبه است:

$$PN = \frac{P}{\bar{P}} \times 100 \quad (2)$$

که در آن، P مجموع بارندگی در زمان مفروض (میلی‌متر) و میانگین بارش درازمدت (میلی‌متر) است. این شاخص در صورتی کاربرد دارد که میانگین بارندگی بر میانه منطبق بوده یا توزیع بارندگی نرمال باشد. استفاده از این شاخص ساده می‌باشد و قابلیت انعطاف‌پذیری زیادی نسبت به سایر شاخص‌ها

شاخص‌های مورد استفاده

شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

شاخص SPI براساس اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین بارش برای یک بازه زمانی مشخص و سپس تقسیم این مقدار بر انحراف معیار بارش توسط مکی و همکاران (Mckee et al., 1993) و ادواردز و مکی (Edwards and Mckee, 1997) پیشنهاد شده است. SPI به اطلاعات توپوگرافیک و رطوبت خاک وابستگی ندارد. این شاخص به دلیل سادگی در محاسبات، استفاده از داده‌های قابلیت دسترس بارندگی و قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی و هر نوع شرایط آب و هوایی، به عنوان شاخص مناسبی شناخته می‌شود. این شاخص برای محاسبه‌ی خشکسالی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت (۱، ۳، ۶ ماهه) و بلندمدت (۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ماهه) به کار می‌رود.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad (1)$$

که P و P_i به ترتیب مقدار بارش و میانگین درازمدت در دوره‌ی مورد نظر و S انحراف معیار مقادیر بارش در کل دوره است. البته باید توجه داشت که SPI توزیع نرمال را برای بارش در نظر می‌گیرد. چون بارندگی‌ها

دارد. مطابق با جدول این شاخص، PN کمتر از ۴۰ نشانگر خشکسالی بسیار شدید و PN بزرگتر از ۱۶۰ نشان دهنده‌ی شرایط بسیار مرطوب است.

شاخص دهک‌ها

این شاخص توسط گیبز و ماهر (Gibbs and Maher, 1967) ارائه شده است. این روش بر مبنای کاربرد توزیع فراوانی جمعی یک ایستگاه بنا گردیده است. شاخص دهک‌ها (DI) وقوع بارندگی‌های طولانی مدت را در کلاس‌هایی ده درصدی از توزیع نرمال تقسیم کرده که هریک از این گروه‌ها را یک دهک می‌نامند. تنها فاکتور مؤثر در محاسبه‌ی این شاخص، بارش می‌باشد و مقیاس زمانی که در این شاخص استفاده شده است نیز مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه است. فرمول کلی محاسبه‌ی شاخص دهک‌ها به صورت زیر است.

MCZI به دست می‌آید.

شاخص Z-Score (ZSI): معادلات مربوط به محاسبه CZI برای محاسبه ZSI قابل استفاده هستند؛ اما ZSI نیاز به تبدیل داده‌ها و برازش توزیع گاما یا پیرسون نوع III مطابق آنچه در SPI و CZI انجام می‌شود، ندارد. طبق جدول این شاخص، CZI بزرگتر از ۲ نشانگر ترسالی بسیار شدید و CZI کمتر از -۲ نشان دهنده‌ی شرایط خشکسالی بسیار شدید است.

نتایج و بحث

بررسی آماری بارش منطقه

برای مشاهده و بررسی بهتر تغییرات پارامتر بارش در طول دوره‌ی مورد بررسی برای ایستگاه‌های مختلف و کل منطقه، شکل (۲) ترسیم گردید. لازم به توضیح است که بارش میانگین وزنی کل منطقه در هر سال به روش تیسن محاسبه شده است. با توجه به روند کلی بارش سالانه در شکل (۲) و با توجه به خط روند کشیده شده در هریک از بخش‌های این شکل، ملاحظه می‌شود که به صورت کلی، روند تغییرات بارش سالانه در هر ایستگاه در طول دوره‌ی آماری مورد بررسی چگونه بوده است. مثلاً برای ایستگاه‌های کاکارضا و سراب صیدعلی مقادیر بارش سالانه به صورت افزایشی و در ایستگاه الشتر روند بارش به صورت تقریباً افزایشی بود. در مجموع، در کل منطقه‌ی الشتر نیز روند بارش سالانه به صورت صعودی به دست آمده که این خود به معنی وضعیت مناسب مقادیر منابع آب در منطقه و در نتیجه اهمیت بررسی منابع آب و برنامه‌ریزی برای استفاده درست از منابع آبی منطقه است.

بررسی روند خشکسالی با استفاده از شاخص SPI

برای بررسی روند خشکسالی در ایستگاه‌های مختلف برای پنجره‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه از لحاظ شدت و مدت دوره‌ی خشکسالی، از مقادیر خروجی شاخص SPI استفاده شده است. برای هریک از ایستگاه‌ها و همچنین کل منطقه جدولی مانند جدول (۱) تنظیم شده است.

با توجه به نتایج این جداول در راستای تحلیل خشکسالی، ملاحظه شد که در پنجره‌های زمانی کوتاه‌مدت مقادیر شاخص بارش استاندارد شده دارای نوسانات زیادی است. به عبارتی، دوره‌های خشک و

مطابق با جدول این شاخص، PN کمتر از ۴۰ نشانگر خشکسالی بسیار شدید و PN بزرگتر از ۱۶۰ نشان دهنده‌ی شرایط بسیار مرطوب است.

شاخص دهک‌ها

این شاخص توسط گیبز و ماهر (Gibbs and Maher, 1967) ارائه شده است. این روش بر مبنای کاربرد توزیع فراوانی جمعی یک ایستگاه بنا گردیده است. شاخص دهک‌ها (DI) وقوع بارندگی‌های طولانی مدت را در کلاس‌هایی ده درصدی از توزیع نرمال تقسیم کرده که هریک از این گروه‌ها را یک دهک می‌نامند. تنها فاکتور مؤثر در محاسبه‌ی این شاخص، بارش می‌باشد و مقیاس زمانی که در این شاخص استفاده شده است نیز مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه است. فرمول کلی محاسبه‌ی شاخص دهک‌ها به صورت زیر است.

$$P_i = \frac{i}{N+1} \times 100 \quad (3)$$

که در آن، P_i احتمال وقوع بارندگی در ردیف i ام و N تعداد داده‌های بارندگی است. پس از محاسبه مقدار مشخصه P_i در فاصله‌ی دهک (فواصل ۱۰ درصدی) یکی از کلاس‌های رطوبتی به آن نسبت داده می‌شود. طبق جدول این شاخص، DI برابر ۱۰-۰ نشانگر خشکسالی خیلی شدید و DI برابر ۱۰۰-۹۰ نشان دهنده‌ی شرایط فوق‌العاده مرطوب است.

شاخص‌های CZI، ZSI و MCZI

شاخص CZI: این شاخص براساس تبدیل ریشه سوم رابطه‌ی ویلسون هیلفرتی است، با این فرض که داده‌ها از توزیع پیرسون نوع III تبعیت می‌کنند CZI مطابق با معادله‌ی (۴) برآورد می‌شود:

$$Z_{ij} = \frac{6}{C_{si}} \left(\frac{C_{si}}{2} \varphi + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{C_{si}} + \frac{C_{si}}{6} \quad (4)$$

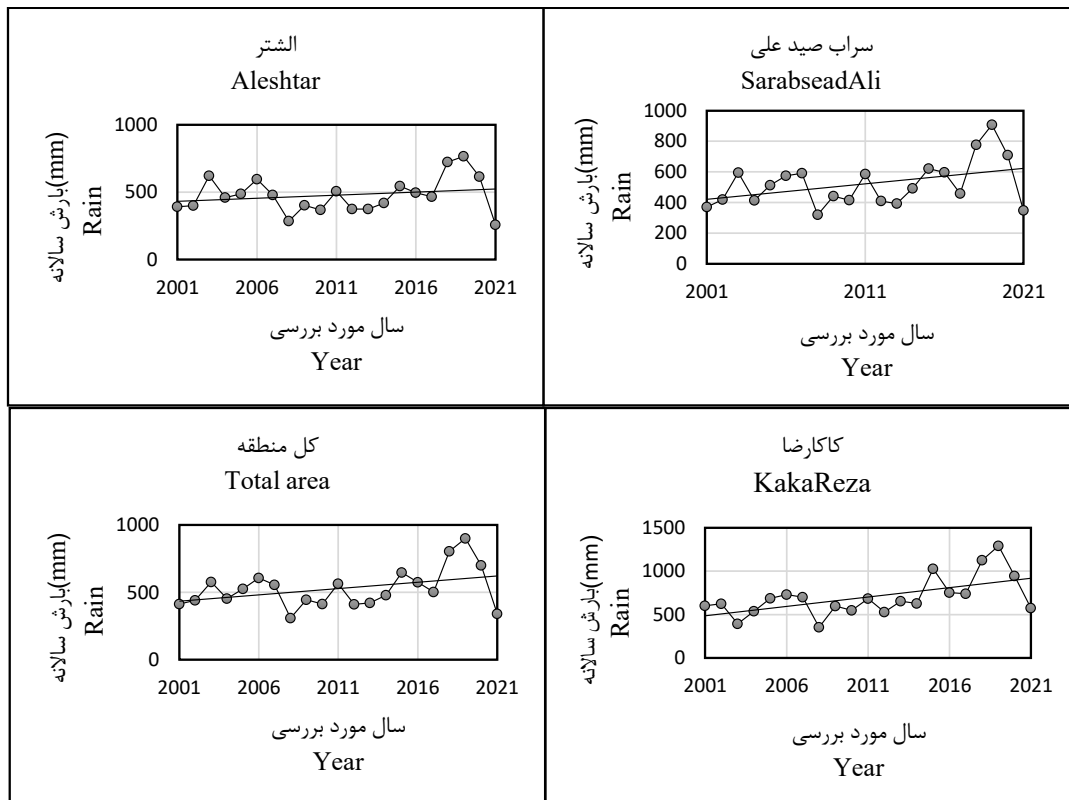
که در آن Z شاخص CZI، i مقیاس زمانی مورد نظر و j سال مورد نظر است. همچنین:

$$C_{si} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n \times \sigma_i^2} \quad (5)$$

$$\varphi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad (6)$$

که \bar{x}_i میانگین، σ_i انحراف معیار بارندگی و همچنین φ_{ij} متغیر استاندارد شده در هر مقیاس زمانی است.

شاخص MCZI: اگر در معادله (۶) به جای میانگین از میانه استفاده شود، شاخص CZI اصلاح شده یا



شکل ۲. روند سالانه بارش برای همه ایستگاه‌های مورد بررسی

Fig 2. The annual trend of precipitation for all the investigated stations

جدول ۱. روند خشکسالی ایستگاه الشتر

Table 1. Drought trend in Aleshtar station

48	24	12	9	6	3	1	عناوین مورد بررسی/SPI Subjects
-	-	-	-	4	10	12	تعداد دوره‌های خشک Number of dry periods
-	-	-	-	2	2	2	بیشینه تداوم Maximum continuity
-	-	-	-	1.25	1.5	1.33	میانگین طول دوره‌های خشک Average length of dry periods
-	-	-	-	-1.29	-2.3	-3.2	شدیدترین ماه خشک The most dry month

(هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژی) متفاوت است. با توجه به نتایج این جداول، حداکثر بیشینه تداوم خشکسالی برای دوره‌ی زمانی مورد بررسی در ایستگاه‌های سراب صیدعلی و کاکارضا با مقدار ۱۱ ماه رخ داده است و کمترین تداوم نیز در ایستگاه الشتر به میزان ۲ ماه به وقوع پیوست. همچنین، بیشترین میانگین طول دوره‌ی خشک در ایستگاه کاکارضا با مقدار ۸/۲۵ و کمترین آن در ایستگاه الشتر با مقدار ۱/۲۵

مرطوب در بازه‌ی زمانی کوتاه‌مدت از تداوم زیادی برخوردار نبوده و شدیداً تحت تأثیر بارش‌های ماهانه هستند. در حالی که دوره‌های زمانی طولانی‌تر ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه واکنش‌های کندتری نسبت به تغییرات بارش نشان می‌دهند. همچنین، فراوانی وقوع دوره‌های خشک در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه بسیار کمتر از بازه‌ی کوتاه‌مدت است. در نتیجه، زمان بازگشت به اوضاع نرمال در هر یک از انواع خشکسالی‌ها

مقایسه شاخص‌های خشکسالی برای یافتن مناسب‌ترین شاخص بررسی نظریه کمینه

یکی از راه‌هایی که برای یافتن تطبیق‌پذیرترین شاخص خشکسالی در منطقه مورد استفاده قرار گرفته است، نظریه کمینه می‌باشد. با توجه به این نظریه، کمینه بارش سالانه در دوره بلندمدت زمانی مورد بررسی در هر ایستگاه مشخص شده و شاخصی که بتواند به بهترین وجه آن سال را به عنوان خشکسالی خیلی شدید تشخیص دهد، به عنوان شاخص بهینه برای آن ایستگاه در نظر گرفته می‌شود (Kalili and Bazrafshan, 2003). نتایج این کار در جدول (۲) ارائه شده است.

بود. شدیدترین ماه خشک در دوره‌ی مورد بررسی از نظر شاخص خشکسالی SPI در ایستگاه الشتر با مقدار $-۳/۲$ و کمترین در ایستگاه کاکارضا با مقدار $-۱/۰۵$ بود. در پژوهشی مشابه، گازری و همکاران (Gazori et al., 2022) با بررسی خشکسالی در پنجره‌های زمانی مختلف بیان کردند که خشکسالی‌های کوتاه‌مدت همراه با نوسانات زیاد حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات میزان رطوبت و بارش هستند؛ اما در بررسی پنجره‌های زمانی بلندمدت، خشکسالی‌های شدید دارای دوره‌های پایدار طولانی‌تری بوده و در نتیجه می‌توانند پدیده خشکسالی را بهتر منعکس کنند که کاملاً مطابق با نتایج به دست آمده در این پژوهش است.

جدول ۲. نتایج برآورد شدت خشکسالی توسط شاخص‌های مختلف در سال با کمترین میزان بارندگی

Table 2. The estimation results of drought severity by different indicators in the year with the lowest amount of rainfall

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	سال Year	ایستگاه Station
SD	VBN	NN	NN	NN	NN	2021	Aleshtar
MD	VBN	NN	SD	MD	SD	2008	SarabseadAli
SD	VBN	NN	ED	SD	SD	2008	KakaReza
MD	VBN	NN	SD	MD	SD	2008	Total area

نمادهای NN و VBN به ترتیب نشان‌دهنده طبقه‌بندی‌های نزدیک به نرمال و خیلی زیر نرمال می‌باشد. تعریف سایر نمادها در جدول (۵) آورده شده است.

نیز بررسی و پیش‌بینی ترسالی توسط این شاخص‌ها نیز انجام و نتایج در جدول (۳) ارائه شده است.

به منظور بررسی کامل‌تر مسئله تطبیق‌پذیرترین شاخص در منطقه الشتر، مقادیر بیشینه بارش سالانه

جدول ۳. نتایج برآورد شدت ترسالی توسط شاخص‌های مختلف در سال با بیشترین میزان بارندگی

Table 3. The estimation results of drought severity by different indicators in the year with the highest amount of rainfall

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	سال Year	ایستگاه Station
N	VAN	NN	MW	MW	VW	2019	Aleshtar
N	VAN	NN	EW	EW	EW	2019	SatabseadAli
N	VAN	NN	EW	EW	EW	2019	KakaReza
N	VAN	NN	EW	EW	EW	2019	Total area

را به صورت صحیح برآورد کنند و در تمامی ایستگاه‌ها وضعیت نرمال را به دست آورده‌اند. در قیاس با شرایط ترسالی نیز شاخص‌های SPI، ZSI و CZI با برآورد سه مورد صحیح از چهار مورد به عنوان منطبق‌ترین شاخص‌های برآوردکننده‌ی ترسالی انتخاب شده‌اند. اما، شاخص‌های MCZI، DI و PN در تمامی ایستگاه‌ها

بنابر نتایج کسب شده در جداول (۲) و (۳)، با توجه به فرضیات نظریه کمینه، شاخص CZI با برآورد یک مورد صحیح از چهار مورد به عنوان منطبق‌ترین شاخص انتخاب گردید. شاخص‌های SPI، ZSI و PN در بیشتر ایستگاه‌ها خشکسالی شدید را برآورده کرده‌اند و شاخص‌های MCZI و DI نتوانستند هیچکدام از موارد

ایستگاه‌ها تأیید می‌کند. نتایج به دست آمده از مقایسه همبستگی اسپیرمن بین شاخص‌های خشکسالی با پارامتر بارش نشان می‌دهد که در تمامی ایستگاه‌ها همبستگی مطلوبی بین این دو برقرار است. همچنین شاخص MCZI نسبت به بقیه شاخص‌های خشکسالی نتایج ضعیف‌تری را ارائه نمود.

وضعیت نرمال را به دست آورده‌اند و در هیچ مورد پیش‌بینی صحیحی نداشته‌اند.

بررسی همبستگی اسپیرمن بین شاخص‌ها و مقادیر بارش

نتایج آزمون ضریب همبستگی رتبه‌های اسپیرمن (جدول ۴)، معنی‌دار بودن همبستگی شاخص‌های خشکسالی با بارش را در سطح یک درصد در تمامی

جدول ۴. مقایسه همبستگی اسپیرمن شاخص‌های خشکسالی با بارش در هر ایستگاه

Table 4. Comparison of Spearman's correlation of drought indices with precipitation in each station

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	ایستگاه Station
0.992	0.977	0.646	0.991	0.99	0.991	Aleshtar
0.999	0.983	0.472	0.999	1	1	SarabseadAli
1	0.983	0.586	0.999	1	0.999	KakaReza
1	0.989	0.486	1	1	0.999	Total area

نتایج انتخاب شاخص مناسب برای هر یک از ایستگاه‌ها با به دست آمدن کمترین مقدار برای هر دو پارامتر معین شد. در نهایت، شاخصی که بتواند برای تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها به عنوان شاخص برتر انتخاب شود، برای کل منطقه نیز برگزیده می‌شود. این روند برای شاخص‌های مختلف خشکسالی در جداول (۶) الی (۹) صورت گرفته است.

انتخاب شاخص مناسب بر اساس توزیع نرمال

استینمن (Steinman, 2003) بیان می‌دارد که رخدادهای شدت خشکسالی از توزیع نرمال پیروی می‌نمایند. برای این مقایسه، ابتدا اختلاف درصد هر یک از شاخص‌های خشکسالی با درصد توزیع نرمال همان کلاس رطوبتی (جدول ۵) مقایسه شد و سپس مجموع اختلافات و حداکثر اختلاف موجود برای هر شاخص محاسبه گردید.

جدول ۵. درصد احتمال کلاس‌های رطوبتی مختلف در توزیع نرمال استاندارد

Table 5. Probability percentage of different humidity classes in standard normal distribution

احتمال (درصد) Probability (%)	علامت اختصاری Symbol	Drought severity classes	طبقات شدت خشکسالی
2.275	EW	Extremely wet	ترسالی بسیار شدید
4.406	SW	Sever wet	ترسالی شدید
9.185	MW	Moderately wet	ترسالی متوسط
68.268	N	Normal	نرمال
9.185	MD	Moderately drought	خشکسالی متوسط
4.406	SD	Severe drought	خشکسالی شدید
2.275	ED	Extremely drought	خشکسالی بسیار شدید

جدول ۶. درصد کلاس‌های رطوبتی هر شاخص برای ایستگاه الشتر

Table 6. The percentage of moisture classes of each index for Aleshtar station

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	وضعیت رطوبتی / شاخص Humidity condition/index
0.0	12.01	0.0	2.49	2.49	4.76	Extremely wet
0.0	9.88	0.0	0.0	0.0	9.52	Severe wet
0.0	0.0	0.0	0.34	0.34	0.0	Moderately wet
53.98	39.70	26.97	17.45	17.45	85.71	Normal
5.10	5.10	0.0	0.0	0.0	0.0	Moderately drought
43.21	14.64	0.0	0.0	0.0	0.0	Severe drought
21.53	7.25	2.49	0.0	0.0	0.0	Extremely drought
123.83	88.58	29.46	20.27	20.27	24.85	Summation of differences of all situations
53.98	39.70	26.97	17.45	17.45	17.45	maximum difference

جدول ۷. درصد کلاس‌های رطوبتی هر شاخص برای ایستگاه سراب صیدعلی

Table 7. Percentage of moisture classes of each index for Sarab Saed Ali station

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	وضعیت رطوبتی / شاخص Humidity condition/index
0.0	7.25	0.0	2.49	2.49	2.49	Extremely wet
0.0	0.36	0.0	0.36	0.36	0.36	Sever wet
0.0	19.39	0.0	4.42	4.42	4.42	Moderately wet
1.60	53.98	26.97	3.16	3.16	3.16	Normal
0.34	9.86	0.0	0.34	5.10	0.34	Moderately drought
19.40	0.36	0.0	0.36	0.0	0.36	Severe drought
0.0	16.77	2.49	0.0	0.0	0.0	Extremely drought
21.34	107.96	29.46	11.12	15.53	11.12	Summation of the differences of all situations
19.40	53.98	26.97	4.42	5.10	4.42	maximum difference

جدول ۸. درصد کلاس‌های رطوبتی هر شاخص برای ایستگاه کاکا رضا

Table 8. Percentage of moisture classes of each index for KakaReza station

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	وضعیت رطوبتی / شاخص Humidity condition/index
0.0	12.01	0.0	2.49	2.49	2.49	Extremely wet
0.0	9.88	0.0	0.36	0.36	0.36	Severe wet
0.0	4.42	0.0	0.34	0.34	0.34	Moderately wet
7.92	39.70	26.97	3.16	3.16	3.16	Normal
4.42	5.10	0.0	0.0	4.42	0.0	Moderately drought
9.88	14.64	0.0	0.36	0.36	5.12	Severe drought
2.49	2.49	2.49	2.49	0.0	0.0	Extremely drought
24.71	88.24	29.46	9.19	11.12	11.46	Summation of the differences of all situations
9.88	39.70	26.97	3.16	4.42	5.12	maximum difference

جدول ۹. درصد کلاس‌های رطوبتی هر شاخص برای کل منطقه

Table 9. The percentage of humidity classes of each index for the Total area

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	وضعیت رطوبتی / شاخص Humidity condition/index
0.0	16.77	0.0	2.49	2.49	2.49	Extremely wet
0.0	0.36	0.0	0.36	0.36	0.36	Severe wet
0.0	9.86	0.0	4.42	4.42	4.42	Moderately wet
3.16	53.98	26.97	7.92	7.92	7.92	Normal
0.34	5.10	0.0	4.42	0.34	4.42	Moderately drought
14.64	14.64	0.0	0.36	0.0	0.36	Severe drought
0.0	7.25	2.49	0.0	0.0	0.0	Extremely drought
18.14	107.96	29.46	19.97	15.53	19.97	Summation of the differences of all situations
14.64	53.98	26.97	7.92	7.92	7.92	maximum difference

پیچیده است، بررسی و تعیین شاخص مناسب آن در یک منطقه، نیازمند بررسی روش‌های بیشتر است و استفاده از تنها دو روش توزیع نرمال و کمینه‌ی بارش قطعاً نتیجه دقیقی را در پی نخواهد داشت. خلیلی و بذرافشان (۲۰۰۳، Khalili and Bazrafshan) و انصافی مقدم (Ensaifi Moghadam, 2007) نیز به منظور انتخاب شاخص مناسب، وقوع خشکسالی شدید و بسیار شدید را با کمینه مقدار بارندگی در آن ایستگاه منظور نمودند که به نظر می‌رسد استفاده از یک متغیر هواشناسی جهت توصیف پدیده‌ی پیچیده‌ی خشکسالی به تنهایی کافی نباشد. به طور کلی انتخاب شاخص مناسب استفاده از یک متغیر هواشناسی (کمینه مقدار بارش) با نتایج کریمی نظر و همکاران (Kariminazar et al., 2010) که بیان می‌دارند همیشه کم بارش‌ترین سال مصادف با شدیدترین خشکسالی نمی‌تواند باشد و نقش عوامل دیگر نیز در این میان موثر خواهد بود در تناقض است.

نتیجه‌گیری

به منظور بررسی خشکسالی هواشناسی در دشت الشتر از شاخص‌های خشکسالی ZSI, MCZI, CZI, PN, DI و SPI استفاده شد. سپس به منظور یافتن تطبیق‌پذیرترین شاخص خشکسالی از روش‌های کمینه و بیشینه بارش، اسپیرمن و استینمن استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که برای مطالعه و بررسی وضعیت خشکسالی‌های هواشناسی دشت الشتر شاخص‌های CZI, ZSI و SPI در اولویت هستند و پیشنهاد می‌شود در بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی

بنابراین، شاخصی که توانست در بیشترین تعداد ایستگاه به عنوان شاخص انتخابی به روش استینمن برگزیده شود، شاخص CZI است که در سه ایستگاه به عنوان شاخص برتر انتخاب شده است. همچنین شاخص ZSI به عنوان شاخص رتبه دوم انتخاب شد. شاخص DI با ضعیف‌ترین عملکرد از سه ایستگاه در دو ایستگاه رتبه‌ای کسب نکرد.

انتخاب شاخص برتر

در تحقیق حاضر با توجه به ملاک قراردادن هر چهار آزمون برای گزینش شاخص خشکسالی برتر، برای هر یک از آزمون‌ها با توجه به تعداد شاخص‌هایی که با هم مقایسه می‌شوند به شاخص برتر بیشترین امتیاز داده شده و به همین ترتیب تا شاخص آخر امتیازدهی می‌شود و در نهایت شاخصی که بیشترین مقادیر امتیاز را در کل کسب کرده باشد (جدول ۱۰) به عنوان منطبق‌ترین شاخص با شرایط منطقه انتخاب می‌شود. با توجه به مجموع امتیازات در جدول (۱۰)، شاخص CZI که توانسته از مجموع آزمون‌ها بیشترین امتیاز را کسب کند، به عنوان شاخص برتر انتخاب می‌شود. شاخص‌های SPI و ZSI نیز نتایج مطلوب و دقیقی را در این منطقه به دست آورده‌اند. سیدی و دلفاری (Seidi and Delfardi, 2016) جهت واسنجی روش‌های مختلف انتخاب شاخص خشکسالی در ایستگاه‌های همدید جیرفت و کهنوج از دو روش کمینه بارش و توزیع نرمال استفاده کردند. در این بررسی ۶ شاخص خشکسالی با روش‌های مذکور مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه خشکسالی یک پدیده‌ی

جدول ۱۰. امتیازدهی به شاخص‌ها در آزمون‌های چهارگانه

Table 10. Ranking the indicators in quadruple tests

PN	DI	MCZI	CZI	ZSI	SPI	آزمون / شاخص test/index
4	2	1	6	3	5	کمینه Minimal
2	4	3	5	5	6	بیشینه Maximum
5	3	2	4	6	4	اسپیرمن Spearman
3	1	2	6	5	4	استینمن Steinman
14	10	8	21	19	19	جمع امتیازات Total points

drought in Khorasan Razavi province, *Journal of Range and Watershed Management*, 74(4), 689-702. [In Persian].

Delfardi, S. & Sidi, M. (2015). Evaluation of different methods of choosing the appropriate drought index using data from Jiroft and Kohnuj stations, *Newar*, 40(94-95), 59-68. doi:10.30467/nivar.2016.42660. [In Persian].

Edwards, D. C. & McKee, T.B. (1997). *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales*. May 1997. <https://mountainscholar.org/items/842b69e8-a465-4aeb-b7ec-021703baa6af>. <http://hdl.handle.net/10217/170176>

Ensafi Moghadam, T. (2007). Evaluating several climate drought indicators and determining the most suitable indicator in the Salt Lake basin, *Quarterly Scientific Research Journal of Pasture and Desert Research in Iran*, 14(2), 271-288. [In Persian].

Gazori, H.M., Mousavi, S. F. & Hosseini, K.h. (2022). Investigating different drought indices to find the most applicable index (case study: Damghan city), *Iranian Water Research Journal*, 16(2), 45-33. [In Persian].

Gibbs, W. J. & Maher, J. V. (1967). *Rainfall deciles*

منطقه در بازه‌های زمانی طولانی‌تر این شاخص‌ها نیز مورد ارزیابی قرار گیرند. همچنین، ممکن است سالی با مقدار بارندگی کمینه اما با توزیع یکنواخت در طول سال سبب ایجاد خشکسالی نگردد و سالی با مقدار بارش زیاد ولی تمرکز در محدوده‌ی کوتاهی از زمان سبب خشکسالی گردد. بنابراین انتخاب شاخص مناسب از روی داده‌های بارش و آن هم کمینه مقدار بارش می‌تواند در برخی از سال‌ها سبب ایجاد نتایجی غیرواقعی گردد. در پدیده‌ی خشکسالی به علت آنکه تعاریف مختلفی از دیدگاه‌های گوناگون برای آن بیان شده است و همچنین مقادیر عددی از این پدیده مستقیماً قابل اندازه‌گیری نیست، مقایسه شاخص‌های مختلف و انتخاب شاخص برتر دشوار به نظر می‌رسد. تعیین هدف پایش یکی از مهمترین فرآیندهای انتخاب شاخص مناسب خشکسالی است و در گام نخست باید این هدف مشخص گردد. یعنی اینکه به چه منظوری (هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی) پایش خشکسالی صورت می‌گیرد. به طور مثال اگر هدف از پایش، خشکسالی کشاورزی است، علاوه بر بارندگی می‌بایست نوع محصول مورد بررسی مشخص بوده و متناسب با نیاز آبی آن گیاه در مراحل مختلف رشد، وضعیت خشکسالی (بر اساس تأمین نیاز آبی گیاه) مورد پایش قرار گیرد.

منابع

Azarakhshi, M. & Farzadmehr, J. (2022). Assessment the relation of meteorological and hydrological

- the Nazlochai sub-basin, *Journal of New Research in Sustainable Water Engineering*, 1(2), 127-117. [In Persian].
- Mckee, T. B., Doesken, N. J. & Kleist, J. (1993). *Drought monitoring with multiple timescales*. pp. 179- 184. Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January, American Meteorological Society, Anaheim, California.
- Pazhanivelan, S., Geethalakshmi, V., Samykanu, V., Kumaraperumal, R., Kancheti, M., Kaliaperumal, R., Raju, M. & Yadav, M.K. (2023). Evaluation of SPI and Rainfall Departure Based on Multi-Satellite Precipitation Products for Meteorological Drought Monitoring in Tamil Nadu, *Water*, 15(7), 1435. <https://doi.org/10.3390/w15071435>
- Steinmann, A. (2003). Drought indicators and triggers: A stochastic approach to evaluation, *Journal of the American Water Resources Association*, 39(5), 1217-1233.
- Valipour, L., Naserin, A. & Jalili, S. (2022). Investigating the relationship between hydrological drought and electrical conductivity of the river in the downstream stations of the Karkheh River, *Journal of Ecohydrology*, 9(4), 815-831. [In Persian].
- Werike, W. J., Willeke, G. E., Guttman, N.B., Hosking, R. M. & Wallis, J. R. (1994). The national drought atlas, *Advancing Earth and Space Sciences*, 8(75), 89-90. <https://doi.org/10.1029/94EO00706>
- Wilhite, D.A. & Glantz, M.H. (1985). Understanding: The drought phenomenon the role of definitions, *Water International*, 3(10), 111-20
- as drought indicators. Bureau of Meteorology, Commonwealth of Australia, Melbourne.
- Gumus, V., Dinsever, L.D. & Avsaroglu, Y. (2023). Analysis of drought characteristics and trends during 1965-2020 in the Tigris River basin, Turkey, *Theoretical and Applied Climatology*, 151(3-4), 1871-1887. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04363-x>
- Hadiani, M.A. (2022). Hydrological drought severity classification with SMMD index 30 (case study of rivers with glacial snow flow regime in Mazandaran province), *Renewable Natural Resources Research Journal*, 12(2), 36-47. [In Persian].
- Haque Mondol, M. A., Zhu, X., Dunkerley, D. & Henley, B. (2021). Observed meteorological drought trends in Bangladesh identified with the Effective Drought Index (EDI), *Agricultural Water Management*, 255, 107-117. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107001>
- Kariminazar, M., Moghadamnia, A.R. & Mosaedi, A. (2010). Investigating climatic factors affecting the occurrence of drought (case study: Zabol), *Journal of Water and Soil Protection Research*, 17(1), 145-158. [In Persian].
- Keshavarz, M., Vazife dost, M., Fatahi, A. & Bahayar, M. (2013). The distribution pattern of the direction and severity of drought changes in Iran with the help of Palmer's drought severity distribution index, *Applied Research of Science Geography*, 12(27), 11-97. [In Persian].
- Khalili, A. & Bazre afshan, J. (2003). Evaluating the efficiency of several meteorological drought indices in different climatic samples of Iran, *Newar*, 28(48-49), 93-79. [In Persian].
- Mashhadi Heydar, S., Muntsari, M. & Hijabi, S. (2023). The propagation time of meteorological droughts to hydrological and hydrogeological droughts in

