



Research Article



Statistical analysis of the SPI index and discharge potential of the Khansar Sarcheshmeh springs

Babak Ebrahimi¹, Mehrdad Pasandi^{2*}, Haniye Nilforoushan¹

¹ Regional Water Company of Esfahan, Isfahan, Iran.

² Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

*Corresponding Author email: m.pasandi@sci.ui.ac.ir

© The Author(s) 2024

Received: 02 Dec 2023

Accepted: 09 Feb 2024

Published: 09 Mar 2024

Abstract

Planning the cultivation pattern and water rights allocation in the irrigated lands by the Khansar Sarcheshmeh springs requires knowledge of the discharge of the springs, estimated based on the Standard Precipitation Index (SPI) in this research. The relationship between the SPI index, precipitation, and discharges of Khansar Sarcheshmeh springs has been evaluated over three different periods to estimate the groundwater resources and inflow to the streams. In a year with normal or near-normal climatic conditions and average annual rainfall between 295 to 494 mm, the average annual discharge of Sarcheshmeh springs is expected to be between 12.8 and 24.3 million cubic meters (average of 18.1 million cubic meters) with 67.5% probability and a frequency of 1.5 years based on the extreme value distribution. For a year with average dry climatic conditions (270 mm average annual rainfall), the predicted average annual discharge of Sarcheshmeh springs is 11.9 million cubic meters with a 9% probability and a frequency of 11 years. In extremely dry climatic years (with an occurrence frequency of 28 years), the discharge of Sarcheshmeh springs is expected to decrease to less than 10.1 million cubic meters per year. In normal and close to normal conditions, with average rainfall in the range of 236 to 326 mm in the first six months, the average annual (water year) discharge of Sarcheshmeh springs is expected to be 18.5 million cubic meters (ranging from 15.3 to 21.8 million cubic meters with a 67.5% probability based on the extreme value distribution). According to the results of this research, rainfall of less than 168 mm occurred in the first half of the water year is a warning of the occurrence of a moderate to extremely dry drought with an annual discharge of less than 11.6 million cubic meters that can be distributed in the streams. Precipitations of more than 394 mm during the first half of the water year also indicate the likelihood of a moderate to extremely wet year, with an annual rainfall of more than 28 million cubic meters. Results of the research indicate that less than 168 mm of rainfall in the first half of the water year signals the potential for a moderate to extremely dry drought, with an annual discharge of less than 11.6 million cubic meters that can be distributed in the streams, while more than 394 mm of precipitation during the same period suggests the possibility of a moderate to extremely wet year with an annual rainfall of more than 28 million cubic meters.

Keywords: Drought, Spring, SPI, Khansar city



تحلیل آماری شاخص خشکسالی و پتانسیل آبدهی چشمه‌های سرچشمه خوانسار

بابک ابراهیمی^۱، مهرداد پسندی^{۲*}، هانیه نیل فروشان^۱

۱. شرکت سهامی آب منطقه‌ای اصفهان، اصفهان، ایران.

۲. گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: m.pasandi@sci.ui.ac.ir

© The Author(s) 2024

چاپ: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹

پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۰

دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱

چکیده

برنامه‌ریزی الگوی کشت و تسهیم حق‌آبه‌ها در اراضی آبخور سرچشمه خوانسار، مستلزم آگاهی از میزان آبدهی چشمه‌ها می‌باشد که در این تحقیق بر اساس مقادیر شاخص بارش استاندارد برآورد شده است. در این پژوهش، رابطه میان شاخص SPI، بارش و آبدهی چشمه‌های سرچشمه خوانسار در سه بازه زمانی مختلف، جهت برآورد منابع آب زیرزمینی و جریان ورودی به انهار مورد ارزیابی قرار گرفته است. انتظار می‌رود در یک سال با شرایط اقلیمی نرمال و نزدیک نرمال و میانگین بارش سالیانه در محدوده ۲۹۵ تا ۴۹۴ میلی‌متر، میانگین آبدهی سالیانه چشمه‌های سرچشمه بین ۱۲/۸ تا ۲۴/۳ میلیون مترمکعب (میانگین ۱۸/۱ میلیون مترمکعب) باشد. احتمال وقوع این مقدار آبدهی چشمه‌ها بر اساس توزیع مقدار حدی ۶۷/۵ درصد با تواتر ۱/۵ سال خواهد بود. برای یک سال با شرایط اقلیمی خشک متوسط، میانگین بارش سالیانه ۲۷۰ میلی‌متر و میانگین آبدهی سالیانه چشمه‌های سرچشمه ۱۱/۹ میلیون مترمکعب پیش‌بینی می‌شود. بر اساس توزیع مقدار حدی، احتمال وقوع این مقدار آبدهی ۹ درصد با تواتر ۱۱ سال خواهد بود. انتظار می‌رود در سال‌های اقلیمی شدیداً خشک که تواتر وقوع آن ۲۸ ساله می‌باشد، آبدهی چشمه‌های سرچشمه به کمتر از ۱۰/۱ میلیون مترمکعب در سال کاهش یابد. همچنین انتظار می‌رود در شرایط نرمال و نزدیک به نرمال که مقدار بارش متوسط شش ماهه اول در دامنه ۲۳۶ الی ۳۲۶ میلی‌متر است، میانگین آبدهی سالیانه (سال آبی) مجموعه چشمه‌های سرچشمه ۱۸/۵ میلیون مترمکعب (در دامنه ۱۵/۳ تا ۲۱/۸ میلیون مترمکعب با احتمال وقوع ۶۷/۵ درصد بر اساس توزیع مقدار حدی) باشد. بر اساس نتایج این تحقیق، بارش کمتر از ۱۶۸ میلی‌متر در نیمه اول سال آبی هشدار دهنده وقوع خشکسالی با درجه خشکی خشک متوسط تا شدیداً خشک با آبدهی سالیانه کمتر از ۱۱/۶ میلیون مترمکعب قابل توزیع در انهار می‌باشد. بارش‌های بیشتر از ۳۹۴ میلی‌متر در نیمه اول سال آبی نیز نویدبخش وقوع ترسالی با درجه مرطوب متوسط تا شدیداً مرطوب با آبدهی سالیانه بیشتر از ۲۸ میلیون مترمکعب است.

کلمات کلیدی: خشکسالی، چشمه، شاخص بارش استاندارد، شهرستان خوانسار

۱- مقدمه

خشکسالی یک پدیده طبیعی زیان‌آور است که بر فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی و زندگی انسان سایه انداخته و پایداری محیط‌های طبیعی بسیاری را شدیداً به خطر می‌اندازد. تحلیل تأثیرات زیان‌بار خشکسالی بر کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. خشکسالی منجر به تخریب زمین، کاهش محصول، گسترش مناطق با تنش آبی، افزایش ریسک سیل، محدودیت آب شهری و صنعتی، کاهش برق تولیدی از منابع آبی و افزایش احتمال مهاجرت می‌شود. خشکسالی ممکن است به صورت تدریجی برای مدت زمانی متغیر از چند ماه تا چند سال ادامه داشته باشد (Bloomfield and Marchant, 2013) و معمولاً بر اساس درجه خشکی (نسبت به مقادیر نرمال یا میانگین) و مدت زمان خشکی تعریف می‌شود. خشکسالی هواشناسی به عنوان عامل اصلی خشکسالی‌های دیگر (مانند خشکسالی‌های هیدرولوژی، کشاورزی و غیره) شناخته می‌شود. این خشکسالی‌ها همزمان و یا با تاخیرهای زمانی مختلف رخ می‌دهند (Bouabdelli et al., 2020). خشکسالی از دیدگاه هواشناسان ناشی از تغییر الگوهای آب و هوایی و کاهش بارش است. هیدرولوژیست‌ها خشکسالی را کاهش میزان آب زیرزمینی و آب سطحی نسبت به حد معمول تعریف می‌کنند. خشکسالی کشاورزی معمولاً پس از خشکسالی هواشناسی و قبل از خشکسالی هیدرولوژی رخ می‌دهد و کشاورزی معمولاً اولین بخش اقتصادی است که تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرد. از دیدگاه کشاورزی، زمانی که رطوبت خاک کمتر از نیاز واقعی محصول باشد و به محصول آسیب برساند، خشکسالی رخ داده است. چون نیاز آبی گیاهان متفاوت است، بنابراین خشکسالی برای محصولات مختلف نیز متفاوت می‌باشد. ارزیابی، نظارت و تعیین شدت، مداومت، زمان شروع و پایان و توزیع مکانی و زمانی خشکسالی برای آمادگی در برابر خطرات اقتصادی و اجتماعی ناشی از این پدیده از اهمیت بالایی برخوردار است. باید خشکسالی را با درک عمیق از جوانب اقلیمی، اکولوژیک، اقتصادی و اجتماعی مدیریت نموده و خسارات و تبعات آن را کاهش داد. بررسی تأثیر تغییرات آب و هوایی بر روی ذخیره‌های تجدیدپذیر آب زیرزمینی نیازمند مطالعاتی با رویکردهای مختلف در مورد تأثیر تغییرات اقلیم بر سیستم‌های منابع آب در سطح حوضه‌های آبریز است (Barker et al., 2016). آبخوان‌ها عمدتاً به عنوان بافر در برابر خشکسالی عمل می‌کنند و به طور وسیعی کمبود رطوبت در منطقه را جبران می‌نمایند. آب‌های زیرزمینی به عنوان منابع آب نسبتاً پایدار در طی دوره‌های ابتدایی خشکسالی عمل نموده و جریان‌های سطحی را در هنگام کمبود منابع آب سطحی و ذخایر منطقه تحت اشباع از طریق ارتباط با منابع آب سطحی حفظ می‌کنند (Hughes et al., 2012). اما منابع آب زیرزمینی نسبت به خشکسالی‌های مداوم و طولانی مدت حساس بوده و جبران ذخایر آب زیرزمینی نسبت به منابع آب سطحی ممکن است به طور قابل توجهی طولانی مدت باشد (Russo and Lall, 2017). اختلالات در کاهش و تخلیه آب‌های زیرزمینی ممکن است لزوماً با شروع و پایان خشکسالی‌های هواشناسی همزمان نباشد. به همین دلیل بر استفاده از مشاهدات طولانی مدت آب‌های زیرزمینی برای درک تأثیر تغییرات آب و هوایی بر آبخوان‌ها تأکید شده است (Uddameri et al., 2019). برنامه‌ریزی برای استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی نیازمند نظارت و ارزیابی کمی جریان چشمه‌ها در طول سال آبی است (Ljubenkovic and Cindrić Kalin, 2016) و تخمین جریان چشمه در زمانی که اندازه‌گیری دبی ممکن نبوده و در هنگام مواجهه با فقدان سری زمانی طولانی مدت اندازه‌گیری، توصیه می‌شود. بدین جهت یکسری روش‌ها برای تحلیل رابطه بین داده‌های زمانی بارش و تغذیه با دبی چشمه ارائه شده است (Romano et al., 2013).

شاخص بارش استاندارد (SPI) به طور گسترده‌ای برای بررسی وضعیت خشکسالی از طریق تعیین کمیت بارش در بازه‌های زمانی متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرد (McKee et al., 1993). این روش برای شناسایی کمبود بارش در چندین دوره زمانی طراحی شده و نشان‌دهنده تأثیر خشکسالی بر دسترسی به منابع مختلف آب در این دوره‌ها می‌باشد. SPI می‌تواند برای بازه‌های زمانی کوتاه مدت (۱-۳ ماه) یا بلند مدت (۹-۱۲ ماه) و حتی برای بازه‌های زمانی طولانی مدت‌تر مانند ۲۴ ماهه استفاده شود (Saada and Abu-Romman, 2017). SPI نشان‌دهنده انحراف از میانگین بارش تجمعی در یک دوره زمانی خاص است و دوره‌های کم بارش یا خشکسالی (SPI

¹Standardized Precipitation Index

منفی یا کمتر از میانگین)، بارش فراوان (SPI مثبت یا بیشتر از میانگین) و شرایط نرمال (میانگین) (SPI صفر) را نشان می‌دهد. این تغییرات آبی با کاهش یا افزایش سطح آب زیرزمینی و در نتیجه کاهش و افزایش دبی چشمه‌ها به آبخوان‌ها منتقل می‌شود (Haslinger et al., 2014).

بروز خشکسالی‌ها، تغییر رژیم آبدهی انهار و رودخانه‌ها، توسعه مصارف و بارگذاری‌های جدید، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، توسعه و تغییر الگوی کشت، سیاست دولت‌ها در مدیریت منابع و مصارف، باعث بروز اختلافات، درگیری و بحران در محدوده‌های مختلف شده است. در منطقه مطالعاتی خوانسار نیز وقوع خشکسالی، رشد جمعیت و افزایش تقاضاهای شرب و کشاورزی با توجه به توسعه کشاورزی و تغییر الگوی کشت در طول زمان سبب ایجاد اختلاف بین آب‌بران انهار یازده‌گانه شده است. شهرستان خوانسار به صورت یک باغ شهر با تعدد چشمه‌ها و انهار می‌باشد. آبیاری در حدود ۵۰۰ هکتار از اراضی شهرستان خوانسار از طریق چشمه‌هایی به نام سرچشمه و سیستم انتقال و توزیع آب از یازده انهار در این منطقه انجام می‌شود. چشمه‌های سرچشمه خوانسار شامل مرزنگشت، باباپیر، کرکه‌خان و غیره منابع آبی اصلی این منطقه هستند. در این منطقه، بهره‌برداران هر نهر معمولاً از نوعی توافقنامه جهت بهره‌برداری از آب هر نهر استفاده می‌کرده‌اند. برای تعدادی از انهار این توافق نامه‌ها با توجه به وضعیت آبی هر سال و با مشارکت بهره‌برداران به‌روز می‌شده است. با این وجود با گذشت زمان اختلاف میان بهره‌برداران یک نهر به دلیل عدم ثبت دقیق و مشخص میزان حقبه هر فرد افزایش یافته است. در سال‌های اخیر سهم هر نهر بر اساس شرایط اقلیمی هر سال تعیین شده است. بدیهی است در چنین شرایطی شناخت دقیق از وضعیت اقلیمی و پیش‌بینی میزان آبدهی انهار در فصول آبیاری بر اساس بارش و شرایط اقلیمی نیمه اول سال می‌تواند کمک بزرگی به کشاورزان در خصوص پیش‌بینی سهم آب از آبدهی سرچشمه و برنامه‌ریزی کشت خواهد داشت.

هدف اصلی این تحقیق بررسی خصوصیات اقلیمی منطقه مطالعاتی به منظور پیش‌بینی آبدهی چشمه‌های سرچشمه به منظور برنامه‌ریزی کشاورزی در اراضی تحت شرب انهار سنتی است. بر این اساس مهمترین فرض این تحقیق عبارت خواهد بود از: (۱) مقادیر آبدهی چشمه‌های سرچشمه ارتباط مستقیم با میزان بارش دارد (۲) شاخص‌های تعیین خشکسالی و مقادیر بارش می‌تواند به عنوان یک ابزار پیش‌بینی با دقت مطلوب در منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مطالعاتی

مساحت منطقه مورد مطالعه در شهرستان خوانسار واقع در فاصله ۱۷۵ کیلومتری غرب اصفهان، حدود ۴۳۵۰ هکتار است. این منطقه جزئی از محدوده مطالعاتی گلپایگان با مساحتی بالغ بر ۳۵۰۵ کیلومتر مربع محسوب شده و بخشی از حوضه آبریز دریاچه نمک را شامل می‌شود. محدوده مطالعاتی گلپایگان از شمال به شهرستان گلپایگان، از غرب به استان لرستان، از شرق به نجف آباد و از جنوب به فریدن محدود می‌شود. این محدوده بخشی از حوضه آبریز رودخانه قمرود بوده که سرشاخه‌های جنوبی آن موسوم به رودخانه دربند و رودخانه خوانسار از ارتفاعات جنوبی محدوده سرچشمه گرفته و از به هم پیوستن آن‌ها رودخانه غرقاب تشکیل و از ناحیه شمالی محدوده خارج می‌شود (شکل ۱). قله کوه افوس (قبله) با ارتفاع ۳۷۴۵ متر واقع در جنوب حوضه بلندترین نقطه ارتفاعی دشت گلپایگان است. در مقابل، در منطقه جلماجرد جدید واقع در خروجی حوضه، پست‌ترین نقطه به ارتفاع ۱۶۴۷ متر از سطح دریای آزاد قرار دارد. نیمه جنوبی منطقه بیشترین تنوع ارتفاعی را دارد که به وجود واحدهای سنگی مقاوم مانند سنگ آهک‌های کرتاسه، سنگ آهک‌ها و دولومیت‌های پرمین و توده‌های نفوذی گرانیتی در منطقه مربوط است. میانگین دمای سالانه در منطقه حدود ۱۳/۴ درجه سانتیگراد است و در شهرستان خوانسار در طول سال به طور متوسط ۹۱ روز با دمای زیر صفر سپری می‌شود. میانگین ساعات آفتابی سالانه در منطقه ۲۸۸۵ ساعت است. طبق آمار بلندمدت، میانگین رطوبت نسبی هوا در طول ماه‌های سال حدود ۳۵ درصد می‌باشد. تعداد روزهای بارانی در سال حدود ۷۶ روز بوده و در طول سال به طور متوسط ۲۶ روز برفی وجود دارد که بیشترین

تعداد در ماه‌های آذر، دی و بهمن می‌باشد. باد غالب در شهرستان خوانسار در جهت شمال غربی - جنوب شرقی است (Abkhan Consulting Engineers, 2013).

شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه در حوضه آبریز دریاچه نمک و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در محدوده مورد مطالعه

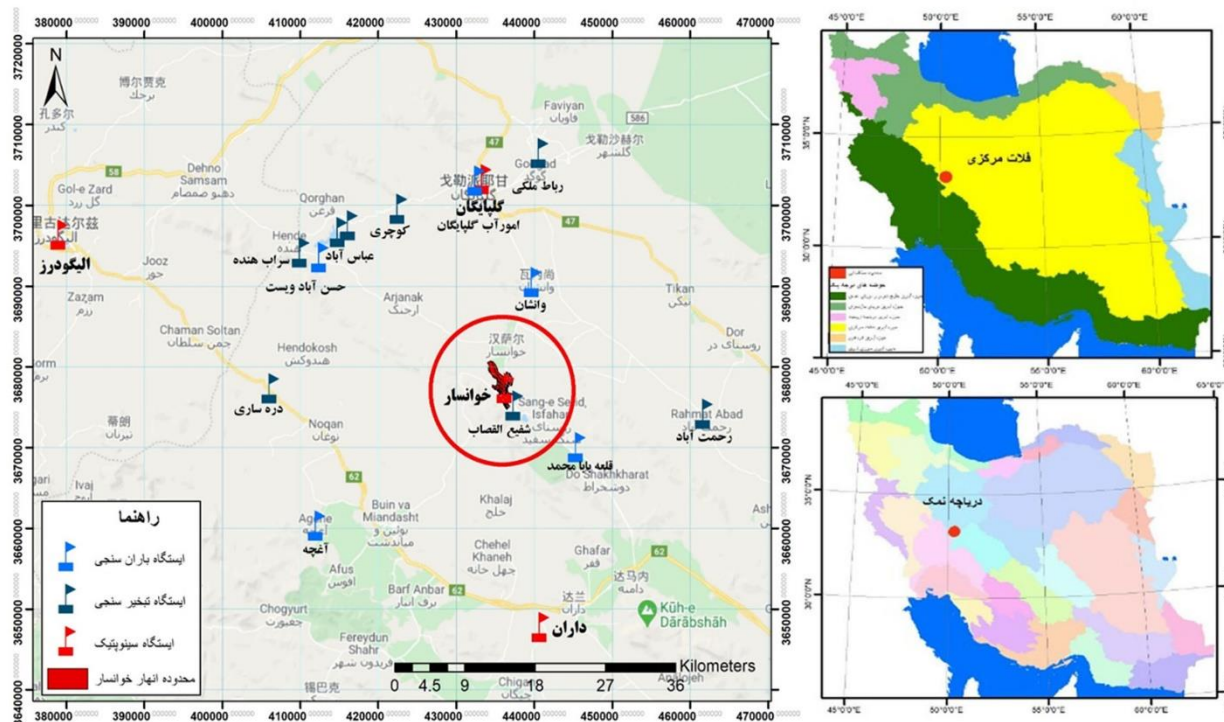


Fig 1. Location of the studied area in the Namak lake watershed and location of meteorological stations in the studied area

۲-۲- داده‌ها و اطلاعات

در این تحقیق از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی در گلپایگان برای بررسی بارش در محدوده مطالعاتی و آبدهی چشمه‌های سرچشمه خوانسار استفاده شده است. برای این منظور، اطلاعات سه ایستگاه سینوپتیک و یک ایستگاه کليما‌تولوژی متعلق به سازمان هواشناسی مورد استفاده قرار گرفته است (جدول ۱). شکل ۱ نیز ایستگاه‌های سینوپتیک در داران، الیگودرز و گلپایگان را نمایش می‌دهد. ایستگاه کليما‌تولوژی خوانسار به علت واقع شدن در محدوده مورد مطالعه، به عنوان مبنا انتخاب شده است. به دلیل ناقص بودن اطلاعات آماری ایستگاه کليما‌تولوژی خوانسار، از اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک همجوار (داران، گلپایگان و الیگودرز) که در آب و هوا و فیزیوگرافی تا حد امکان با ایستگاه مورد نظر مشابهت دارند، برای تکمیل نواقص آماری داده‌ها استفاده شده است. بر اساس بررسی آمار ایستگاه‌های سینوپتیک داران، گلپایگان و الیگودرز مشخص گردید که ایستگاه داران از سال ۱۳۶۸ تا انتهای دوره مطالعاتی، از آمار مطلوبی برخوردار است. همچنین ایستگاه الیگودرز از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۵ و ایستگاه گلپایگان از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۵ دارای آمار کامل می‌باشد. ایستگاه کليما‌تولوژی خوانسار نیز اگر چه طی سال‌های ۱۳۵۸ تا انتهای دوره مطالعاتی آمار ثبت شده دارد، اما این آمار در سال‌های ۵۸ تا ۶۲، سال ۶۴، سال‌های ۶۷ تا ۷۰ و سال ۷۲ دارای نواقص و محدودیت می‌باشد.

جدول ۱. فهرست ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در محدوده مورد مطالعه

Table 1. List of selected meteorological stations in the studied area

مشخصات جغرافیایی							
ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی دقیقه-درجه	عرض جغرافیایی دقیقه-درجه	ارتفاع (متر)	سال تأسیس	سازمان ذیربط
۱	داران	سینوپتیک	۵۰-۲۲	۳۲-۵۸	۲۲۹۰	۱۳۶۷	هواشناسی
۲	الیگودرز	سینوپتیک	۴۹-۴۲	۳۳-۲۴	۲۰۲۲	۱۳۶۴	هواشناسی
۳	گلپایگان	سینوپتیک	۵۰-۱۷	۳۳-۲۸	۱۸۷۰	۱۳۷۰	هواشناسی
۴	خوانسار	کلیماتولوژی	۵۰-۱۹	۳۳-۱۴	۲۳۰۰	۱۳۴۵	هواشناسی

همانطور که بیان شد، چشمه‌های سرچشمه خوانسار شامل مرزنگشت، باباپیر، کرکه‌خان و غیره منابع آبی اصلی این منطقه هستند. نهرهای کرچ، جولا، زراغوش، کرکه‌خان و افیونچه مستقیماً از این چشمه‌های سرچشمه آب می‌گیرند و ۶ نهر دیگر (ترنقان، درمنان، کولان، ارسو، نوقفیان، یسارج) از ترکیبی از آب نهر لبرود و رودخانه خوانسار آبیاری می‌نمایند. تعیین آبدهی این چشمه‌ها توسط اندازه‌گیری مقدار آب ورودی به پنج نهر کرچ، جولا، افیونچه، زراغوش و کرکه‌خان و همچنین تعیین آبدهی نهر لبرود انجام شده است. برای تحلیل میزان آبدهی چشمه خوانسار، دبی آب اندازه‌گیری شده از نهرهای کرچ، کرکه‌خان، جولا، افیونچه و زراغوش، به همراه میزان آب در محل سرچشمه استفاده شده است (شکل ۲).

شکل ۲. نقشه انهار سنتی خوانسار و موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری دبی

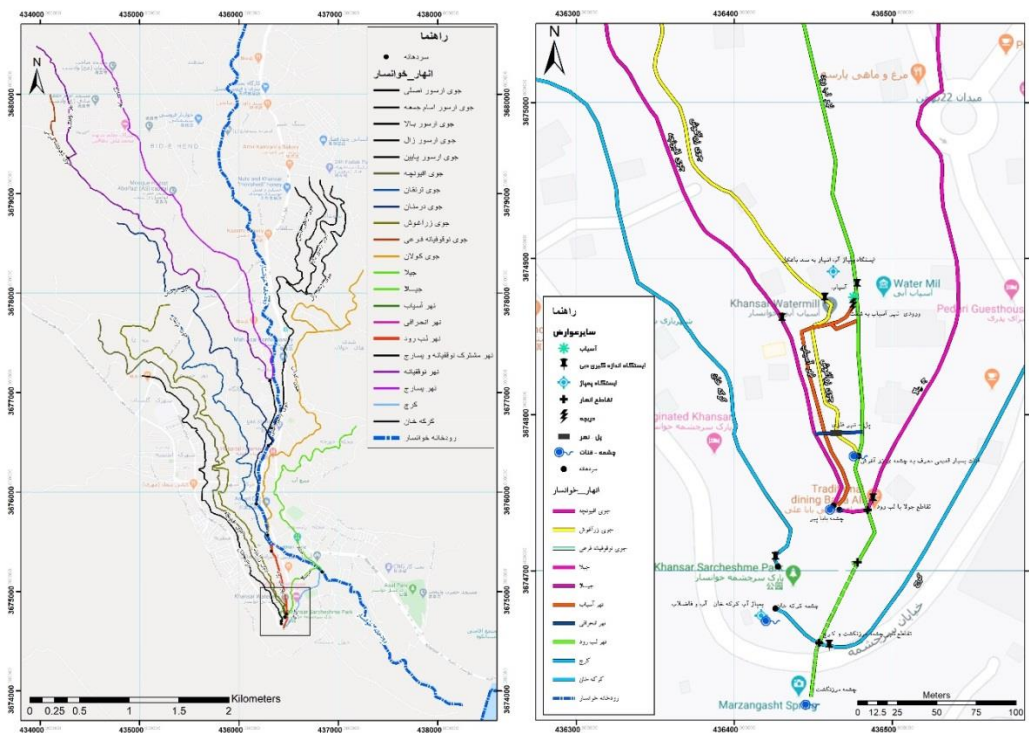


Fig 2. Map illustrating the traditional channels of Khansar and the location of discharge measurement stations

نمودارهای آبدهی متوسط ماهانه انهار از ابتدا تا پایان دوره زمانی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۹ را می‌توان در شکل ۳ مشاهده کرد. همچنین، شکل ۴ نمودار مجموع متوسط آبدهی ماهانه چشمه‌های سرچشمه در بازه مورد بررسی را نشان می‌دهد. در شکل ۵، نمودارهای متوسط ماهانه آب ورودی به انهار افیونچه، جولا، زراغوش، کرچ، کرکه خان و نیز ایستگاه سرچشمه برای بازه زمانی ۸۷ تا ۹۷ قابل مشاهده است.

شکل ۳. سری زمانی ماهیانه آب ورودی به انهار خوانسار (دوره زمانی ۱۳۸۷-۱۳۹۸) (آبدهی منفی بیانگر عدم اندازه‌گیری دبی در برخی ماه‌ها است)

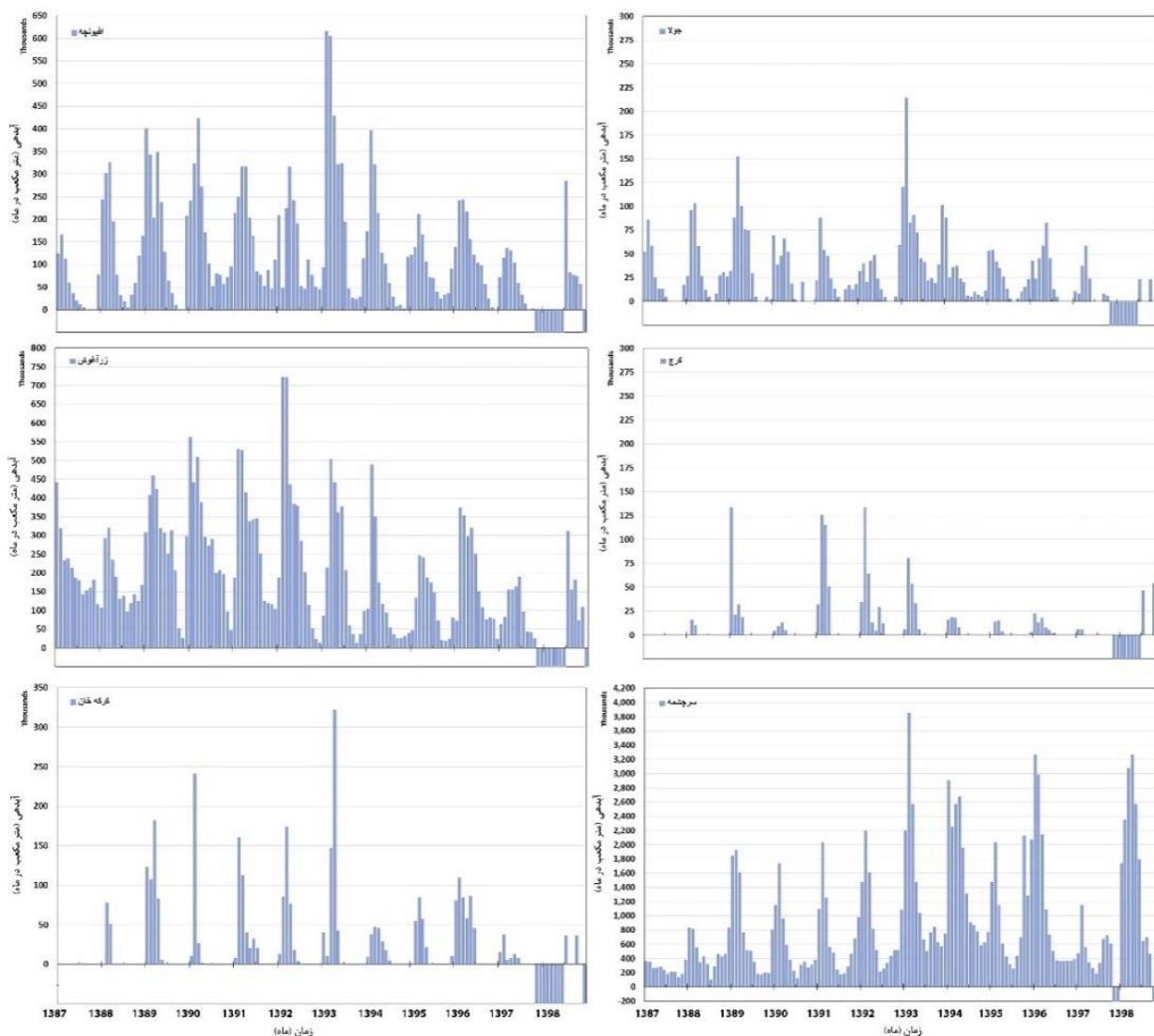


Fig 3. Monthly time series showing water inflow into the Afionche stream from 2008 to 2019 (Negative discharge values indicate lack of discharge measurement in certain months)

شکل ۴. سری زمانی مجموع آبدهی چشمه‌های سرچشمه (دوره زمانی ۱۳۸۷-۱۳۹۸)

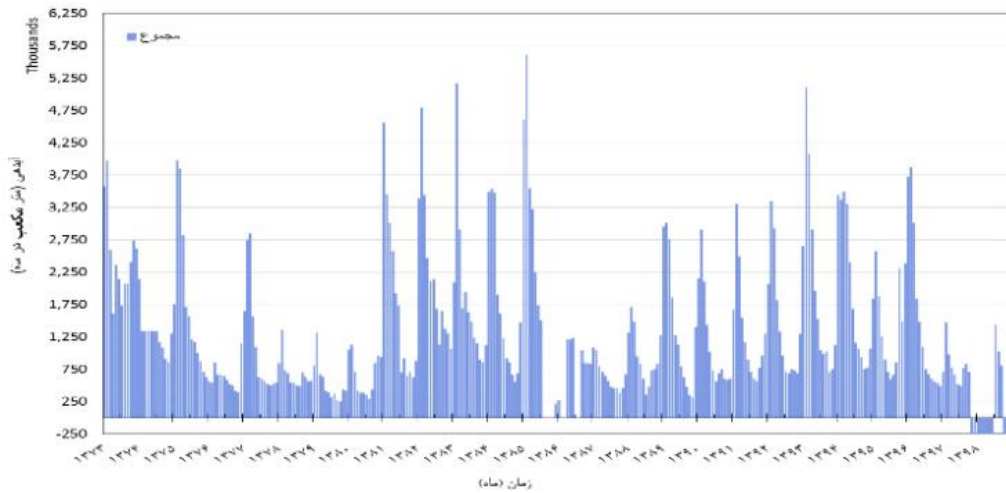


Fig 4. Time series of the total discharge of the Sarcheshmeh springs (2008-2019)

شکل ۵. میانگین ماهانه آب ورودی به انهار سنتی خوانسار طی دوره آماری ۱۳۸۷-۱۳۹۷

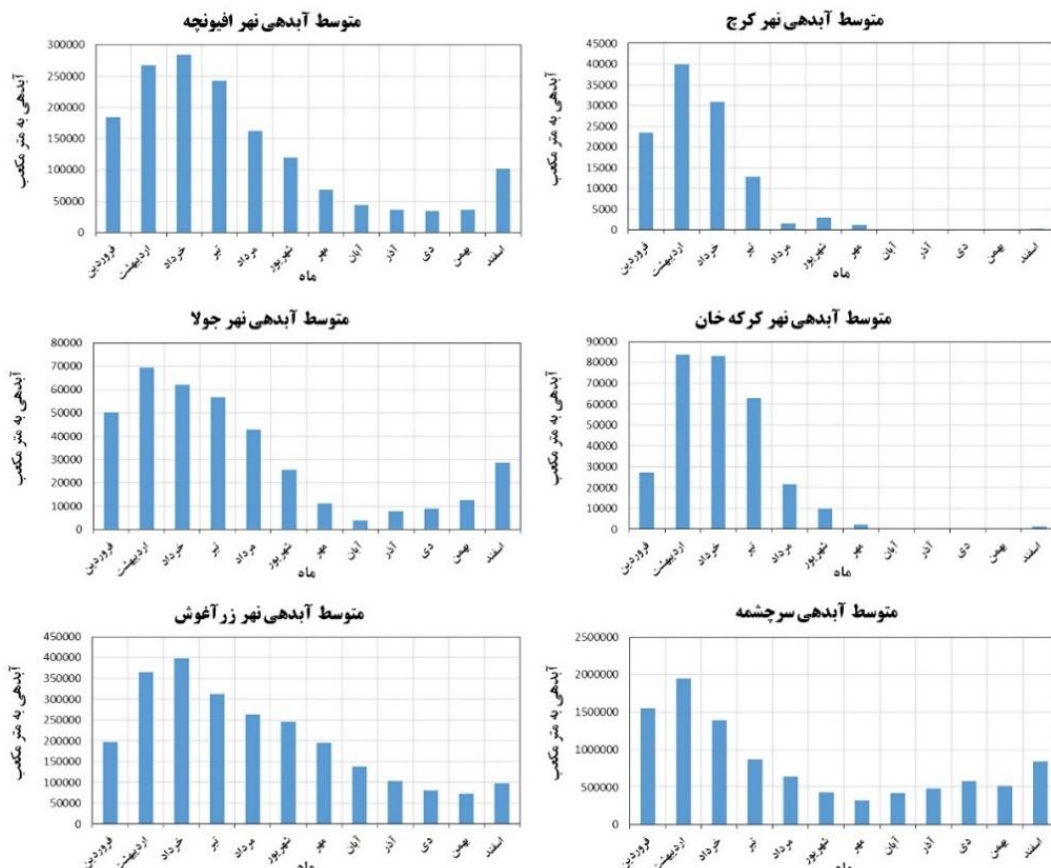


Fig 5. The average monthly water inflow into the Khansar traditional streams within the period 2008-2019

۲-۳- روش شناسی

با توجه به تأثیر خشکسالی و کمبود بارش بر رطوبت خاک و جریان آبراهه‌ها از شاخص بارش استاندارد SPI برای بررسی کمی تأثیر کمبود بارش در طی دوره‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ ماهه استفاده شده است. محاسبه SPI بر اساس آمار طولانی مدت بارش انجام شده است. در این روش، ابتدا داده‌های بارش در دوره مورد نظر به یک توزیع احتمالاتی برازش داده می‌شود. سپس این داده‌ها به توزیع

نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس ۱ تبدیل می‌گردند (Stagge et al., 2015). از این تبدیل برای محاسبه میانگین SPI در دوره مورد نظر استفاده می‌شود. مقادیر مثبت و منفی SPI به ترتیب بیانگر بارش‌های بالاتر و پایین‌تر از میانگین بارش هستند. با توجه به مقادیر SPI می‌توان خشکسالی و ترسالی را در دوره مورد نظر طبقه‌بندی نمود. در جدول ۲، هفت حالت مختلف برای وضعیت آب و هوایی در هر سال یا دوره مورد نظر مشخص شده است.

جدول ۲. نمایه SPI برای پایش خشکسالی

Table 3. The SPI index for drought monitoring

مقادیر SPI	شدت خشکسالی	مقادیر SPI	شدت خشکسالی
-۱ تا -۱/۴۹	خشک متوسط	۲ و بیشتر	شدیداً مرطوب
-۱/۵ تا -۱/۹۹	بسیار خشک	۱/۵ تا ۱/۹۹	بسیار مرطوب
-۲ و کمتر	شدیداً خشک	۱ تا ۱/۴۹	مرطوب متوسط
		۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نزدیک نرمال

در این مطالعه، بر اساس تحلیل داده‌های بارش و استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov، احتمال وقوع شدت‌های خشکسالی سالیانه (سال آبی) بررسی گردید. توزیع‌های آماری مختلف مورد بررسی قرار گرفته و برازش آن‌ها با استفاده از آزمون مذکور ارزیابی شد. سپس با توجه به برازش توزیع‌های احتمالاتی، احتمال وقوع و دوره برگشت شدت‌های خشکسالی برای داده‌های سالیانه خوانسار محاسبه گردید. همچنین، همبستگی شاخص استاندارد (SPI) با بارش و آبدهی چشمه‌های سرچشمه در سه بازه زمانی آماری زیر مورد بررسی قرار گرفت:

(الف) همبستگی شاخص استاندارد بارش ۱۲ ماهه (SPI_{12}) با آبدهی کل سال آبی (Q_{12})

(ب) همبستگی شاخص استاندارد بارش ۶ ماهه اول سال آبی (SPI_6) با آبدهی کل سال آبی (Q_{12})

(ج) همبستگی شاخص استاندارد بارش ۶ ماهه اول سال آبی (SPI_6) با آبدهی ۶ ماهه دوم سال آبی (بهار و تابستان) (Q_6)

۳- نتایج و بحث

شناسایی دوره‌های خشکسالی و ترسالی نیازمند ایستگاه‌های بارندگی با سری زمانی طولانی مدت داده است. لذا ایستگاه خوانسار با دوره آماربرداری از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۷ برای این بررسی انتخاب شده است. ایستگاه خوانسار در ابتدا از نوع کلیماتولوژی بوده و در سال ۱۳۸۴ به ایستگاه سینوپتیک تبدیل شده است. در ۲۸ سال اول دوره آماربرداری ایستگاه خوانسار نواقصی وجود دارد که جهت رفع آن از همبستگی سالیانه با ایستگاه‌های داران، گلپایگان و الیگودرز استفاده گردید. بر اساس این اطلاعات، بارندگی متوسط سالانه در این منطقه ۳۹۹/۹ میلیمتر است و بیشترین میزان بارندگی در ماه‌های اسفند و فروردین رخ می‌دهد. بیشترین میزان بارش سالانه در سال ۱۳۸۲ به میزان ۶۲۳/۲ میلی‌متر بوده است و کمترین میزان بارش سالانه در سال ۱۳۸۶ به میزان ۱۹۳/۸ میلیمتر رخ داده است. کمترین مقادیر بارش مربوط به ماه‌های اردیبهشت تا مهر است که کمتر از ۱۶ درصد نسبت به سایر ماه‌ها می‌باشد. میانگین بارش ماهیانه ایستگاه خوانسار در شکل ۶ نمایش داده شده است.

شکل ۶. مقادیر میانگین بارش ماهانه ایستگاه خوانسار

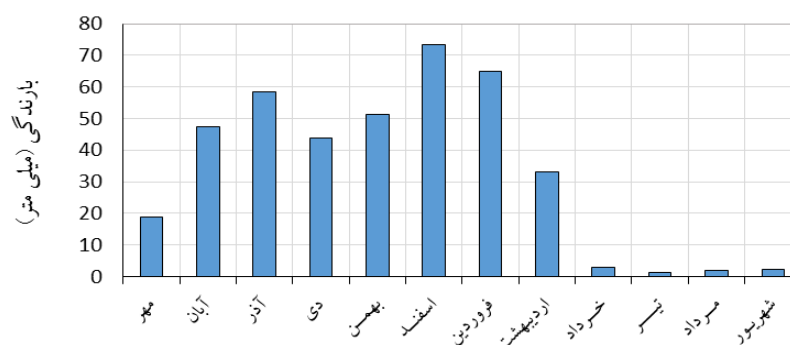


Fig 6. Average monthly precipitation recorded at the Khansar station

نتایج محاسبه شاخص استاندارد SPI جهت بررسی خشکسالی در بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه با استفاده از اطلاعات بارش ایستگاه سینوپتیک خوانسار در طی بازه زمانی ۱۳۶۳-۱۳۹۷ در شکل ۷ نشان داده شده است. شکل ۷ نشان می‌دهد که دوره‌های خشک و مرطوب فراوانی مشابهی دارند و دوره خشکسالی دوام و شدت بیشتری نشان می‌دهد. در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت (۳ و ۶ ماهه)، شاخص SPI دارای نوسانات زیادی است، زیرا SPI کوتاه مدت به شرایط رطوبتی بسیار حساس بوده و به تغییرات اندک در بارش ماهانه سریعاً عکس‌العمل نشان می‌دهد. اگر تغییرات مثبت مقدار SPI به بالای صفر جابجا می‌شود و در صورت تغییرات منفی، SPI به زیر صفر کاهش می‌یابد. این مقیاس بر مبنای میانگین متحرک ۳ و ۶ ماهه استوار است و تا زمانی که بارش به میزان صفر یا رقم ناچیزی باشد، شاخص خشکسالی را نشان خواهد داد. ماه‌های با بارش قابل توجه تأثیر خود را بر میانگین متحرک ۳ و ۶ ماهه نشان داده و شاخص را به بالاتر از میانگین تغییر می‌دهند. بنابراین، تأثیر بارش در فصل سرد منجر به گسستگی در دوره‌های خشک می‌شود. از نمودار ۱۲ ماهه به بعد، دوره‌های خشک و مرطوب به طور واضح‌تر نمایان می‌شوند. بر اساس SPI ۱۲ ماهه، شدیدترین خشکسالی مربوط به سال ۱۳۸۶ است. در نمودار ۲۴ ماهه، ۴ دوره خشک و ۴ دوره مرطوب قابل توجه هستند. بر اساس نمودار ۱۲ ماهه، سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۶۸، ۱۳۷۰-۱۳۷۲ و ۱۳۸۰-۱۳۸۵ به عنوان سال‌های پرآبی شناخته می‌شوند، در حالی که منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۳-۱۳۷۹ و ۱۳۸۶ با خشکسالی مواجه بوده است.

برای مطالعه دوره‌های پرآبی و خشکسالی از نوسانات بارش سالانه و میانگین متحرک ۳ و ۵ ساله به همراه مقایسه آن‌ها با میانگین درازمدت بارش در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. طبق شکل ۷، سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۶۴، ۱۳۷۲-۱۳۷۰ و ۱۳۸۵-۱۳۸۰ در منطقه مورد مطالعه به عنوان سال‌های پرآب و دوره‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۹-۱۳۷۳ و ۱۳۹۱-۱۳۸۵ به عنوان دوره‌های کم آب شناسایی شده‌اند. نتایج این نمودار منطبق با نتایج نمودار شاخص استاندارد بارش ۱۲ ماهه است.

بر اساس تحلیل داده‌های بارش سالیانه از سال آبی ۶۴-۶۵ الی ۹۶-۹۷ و استفاده از توزیع‌های آماری مختلف، احتمال وقوع شدت‌های خشکسالی سالیانه (سال آبی) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمون Kolmogorov-Smirnov نشان می‌دهد که توزیع مقدار حدی (Extreme Value) برای این منظور دقت بالاتری نسبت به توزیع نرمال داشته و به علت عدم نرمال بودن توزیع داده‌ها، توزیع نرمال دقت کمتری دارد. براساس برآزش توزیع‌های احتمالاتی، احتمال وقوع و دوره برگشت شدت‌های خشکسالی برای داده‌های سالیانه خوانسار محاسبه گردیده و در جدول ۳ آورده شده است. بر اساس این جدول، احتمال وقوع سال‌های نرمال و نزدیک نرمال اقلیمی (محدوده شاخص بارش بین +۱ تا -۱) ۶۷/۵٪ است و دوره برگشت آن ۱/۴۸ سال می‌باشد. همچنین، هر ۱۱/۱ سال آماری شرایط خشک متوسط (احتمال وقوع ۹٪) و هر ۹/۳ سال آماری شرایط مرطوب متوسط (احتمال وقوع ۱۰/۸٪) در خوانسار تجربه می‌شود. به علاوه احتمال وقوع سال‌های بسیار خشک و شدیداً خشک ۸/۵٪ (دوره برگشت ۱۱/۷ سال) و احتمال وقوع سال‌های بسیار مرطوب و شدیداً مرطوب نیز ۴/۱٪ (دوره برگشت ۲۴/۲ سال) است.

شکل ۷. نمودار تغییرات شاخص SPI در بازه‌های زمانی ۳ ماهه تا ۴۸ ماهه (از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۸)، میانگین بارش سالانه و متحرک سه و پنج ساله (از سال ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۰) در ایستگاه خوانسار

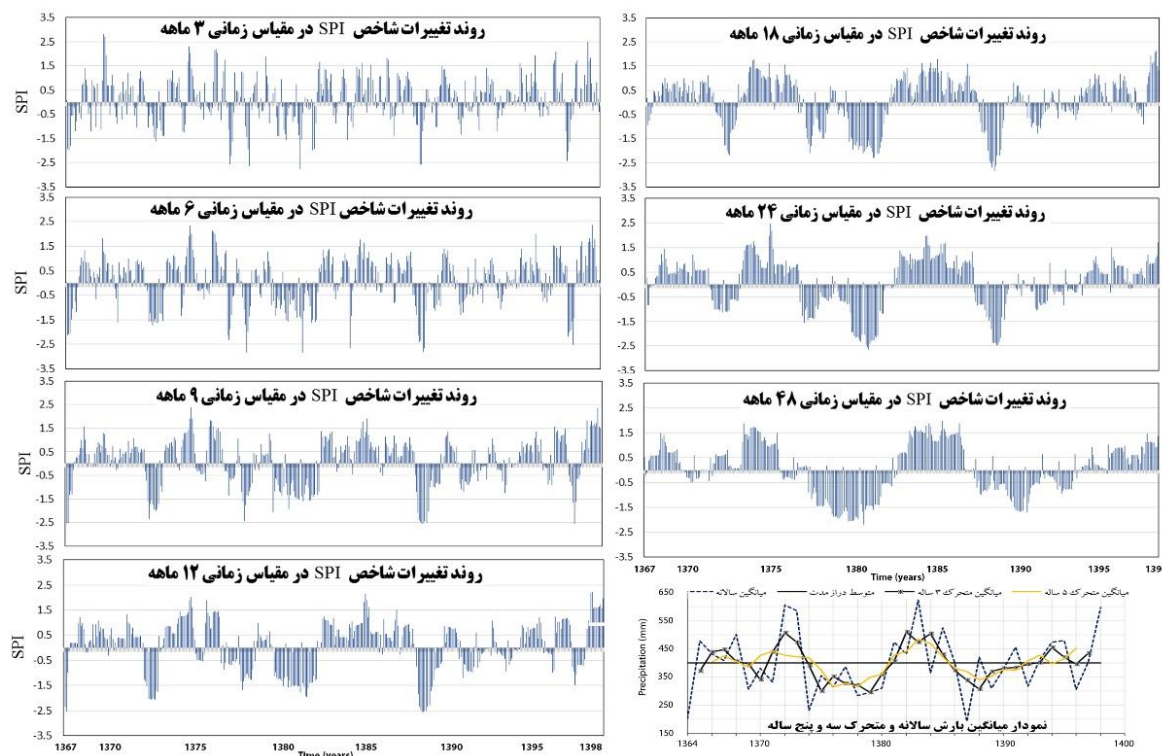


Fig 7. The graph demonstrating SPI index changes in the time periods of 3 months to 48 months (from 1988 to 2019), alongside the annual mean precipitation and moving averages of precipitation over three-year and five-year intervals (from 1985 to 2021) at the Khansar station

جدول ۳. احتمال و دوره بازگشت شدت‌های خشکسالی مختلف با توجه به داده‌های بارش سالانه (سال آبی) و توزیع‌های آماری مختلف

Table 3. Probabilities and return periods of the various drought intensities according to the annual rainfall data (water year) and different statistical distributions

توزیع آماری		شرح	شاخص بارش استاندارد سالیانه (سال آبی)	شدت خشکسالی
Normal	Gen. Extreme Value			
۲/۲۹	۳/۵۷	احتمال وقوع (%)	-۲	شدیداً خشک
۴۳/۶۷	۲۸/۰۱	دوره بازگشت (سال)		
۴/۶۱	۴/۹۶	احتمال وقوع (%)	-۱/۵ ~ -۱/۹۹	بسیار خشک
۲۱/۶۹	۲۰/۱۶	دوره بازگشت (سال)		
۹/۷۳	۹/۰۴	احتمال وقوع (%)	-۱ ~ -۱/۴۹	خشک متوسط
۱۰/۲۸	۱۱/۰۶	دوره بازگشت (سال)		
۶۹/۵۳	۶۷/۵۰	احتمال وقوع (%)	-۱ ~ +۱	نزدیک نرمال و نرمال
۱/۴۴	۱/۴۸	دوره بازگشت (سال)		
۸/۳۸	۱۰/۸۰	احتمال وقوع (%)	+۱ ~ +۱/۴۹	مرطوب متوسط
۱۱/۹۳	۹/۲۶	دوره بازگشت (سال)		
۳/۷۴	۴/۰۰	احتمال وقوع (%)	+۱/۵ ~ +۱/۹۹	بسیار مرطوب
۲۶/۷۴	۲۵/۰۰	دوره بازگشت (سال)		
۱/۷۲	۰/۱۳	احتمال وقوع (%)	+۲	شدیداً مرطوب
۵۸/۱۴	۷۶۹/۲۳	دوره بازگشت (سال)		

بررسی همبستگی بین شاخص بارش استاندارد ۱۲ ماهه سال آبی (SPI₁₂) و آبدهی سالیانه سال آبی (Q₁₂) چشمه خوانسار در بازه زمانی ۸۱-۸۲ الی ۹۶-۹۷ نشان می‌دهد که ضریب همبستگی بین این دو پارامتر برابر ۰/۸۴ است. همچنین، همبستگی بین شاخص استاندارد ۶ ماهه اول سال آبی (SPI₆) و آبدهی سالیانه سال آبی (Q₁₂) چشمه خوانسار در بازه زمانی ۸۱-۸۲ الی ۹۶-۹۷ حاکی از همبستگی خوب (۰/۹۱) بین این دو پارامتر می‌باشد. همبستگی بین شاخص استاندارد بارش ۶ ماهه اول سال آبی (SPI₆) و آبدهی ۶ ماهه دوم سال آبی (Q₆) چشمه خوانسار در بازه زمانی ۸۱-۸۲ الی ۹۶-۹۷ نیز نشان دهنده وجود همبستگی خوبی (۰/۸۹) بین این دو پارامتر است. نتایج حاصل از همبستگی ها (SPI₁₂ - Q₁₂)، (SPI₆ - Q₁₂) و (SPI₆ - Q₆) به ترتیب در جداول ۴ الی ۶ ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل از همبستگی SPI₁₂ - Q₁₂ ارائه شده در جدول ۴ می‌توان انتظار داشت که آبدهی متوسط سالیانه (سال آبی) چشمه‌های مجموعه سرچشمه به ازای بارش متوسط سالیانه به میزان ۳۹۴ میلیمتر در محدوده نرمال برابر با ۱۸/۱ میلیون مترمکعب باشد. بارش متوسط سالیانه کمتر از ۲۲۰ میلیمتر بیانگر وقوع خشکسالی شدید با آبدهی برابر (یا کمتر از) ۱۰/۱ میلیون مترمکعب و بارش متوسط برابر (یا بیشتر از) ۵۶۸ میلیمتر احتمال وقوع سال بسیار مرطوب با آبدهی برابر (یا بیشتر از) ۳۰/۱ میلیون مترمکعب را نشان می‌دهد.

جدول ۴. درجه خشکی با توجه به ارتباط شاخص SPI و بارش کل سال آبی با آبدهی سالیانه چشمه خوانسار

Table 4. The aridity level according to relationship between the SPI index and precipitation of the entire water year with annual water discharge of the Khansar spring

درجه خشکی	شاخص کل سال آبی SPI ₁₂	بارش کل سال آبی (میلیمتر)			Q ₁₂ آبدهی کل سالیانه (میلیون متر مکعب)		
		P _{min}	P _{max}	P _{mean}	Q _{min}	Q _{max}	Q _{mean}
شدیداً خشک	-۲		<۱۹۵			<۹/۳۴۸	
بسیار خشک	-۱/۵ ~ -۱/۹۹	۱۹۶	۲۴۵	۲۲۰	۹/۳۴۸	۱۰/۹۵۹	۱۰/۱۵۴
خشک متوسط	-۱ ~ -۱/۴۹	۲۴۵	۲۹۵	۲۷۰	۱۰/۹۵۹	۱۲/۸۴۹	۱۱/۹۰۴
نزدیک نرمال	۰ ~ -۱	۲۹۵	۳۹۴	۳۴۵	۱۲/۸۴۹	۱۷/۶۶۰	۱۵/۲۵۴
نرمال	۰	۳۴۵	۴۴۴	۳۹۴	۱۵/۲۵۴	۲۰/۹۶۶	۱۸/۱۱۰
نزدیک نرمال	+۱ ~ ۰	۳۹۴	۴۹۴	۴۴۴	۱۷/۶۶۰	۲۴/۲۷۳	۲۰/۹۶۶
مرطوب متوسط	+۱ ~ +۱/۴۹	۴۹۴	۵۴۳	۵۱۹	۲۴/۲۷۳	۲۸/۴۵۷	۲۶/۳۶۵
بسیار مرطوب	+۱/۵ ~ +۱/۹۹	۵۴۳	۵۹۳	۵۶۸	۲۸/۴۵۷	۳۳/۳۶۲	۳۰/۹۰۹
شدیداً مرطوب	+۲		>۵۹۳			>۳۳/۳۶۲	

بر اساس نتایج حاصل از همبستگی SPI₆ - Q₁₂ ارائه شده در جدول ۵ می‌توان انتظار داشت که آبدهی متوسط سالیانه (سال آبی) چشمه‌های مجموعه سرچشمه به ازای بارش متوسط ۶ ماه اول سال آبی به میزان ۲۸۱ میلیمتر در محدوده نرمال برابر با ۱۸/۵ میلیون مترمکعب باشد. بارش متوسط ۶ ماه اول سال آبی کمتر از ۱۲۳ میلیمتر بیانگر وقوع خشکسالی شدید با آبدهی برابر (یا کمتر از) ۹/۷ میلیون مترمکعب و بارش متوسط ۶ ماه اول سال آبی برابر (یا بیشتر از) ۴۳۹ میلیمتر احتمال وقوع سال بسیار مرطوب با آبدهی برابر (یا بیشتر از) ۳۳/۴ میلیون مترمکعب را نشان می‌دهد. بارش متوسط برابر (یا کمتر از) ۱۶۸ میلیمتر در شش ماه اول نشانگر احتمال وقوع خشکسالی با آبدهی برابر (یا کمتر از) ۱۱/۶ میلیون مترمکعب است. همچنین آبدهی متوسط سالانه (سال آبی) چشمه‌های سرچشمه به ازای بارش متوسط شش ماهه اول به میزان ۲۳۶ تا ۳۲۶ میلیمتر در محدوده نرمال و نزدیک نرمال و برابر با ۱۵/۳ الی ۲۱/۸ میلیون مترمکعب باشد.

بر اساس نتایج حاصل از همبستگی SPI₆ - Q₆ ارائه شده در جدول ۶ می‌توان انتظار داشت که آبدهی شش ماهه دوم سال آبی (ابتدای فروردین تا انتهای شهریور) چشمه‌های مجموعه سرچشمه به ازای بارش متوسط شش ماهه اول (ابتدای مهر ماه الی انتهای اسفندماه) به میزان ۲۸۱ میلیمتر در محدوده نرمال برابر با ۱۱/۱ میلیون مترمکعب باشد. بارش متوسط شش ماهه اول برابر (یا کمتر از) ۱۲۳ میلیمتر

در شش ماهه اول احتمال وقوع خشکسالی با متوسط آبدهی شش ماهه دوم سال آبی برابر (یا کمتر از) $5/2$ میلیون مترمکعب را هشدار داده و بارش متوسط برابر (یا بیشتر از) 439 میلیمتر در شش ماهه اول احتمال وقوع تر سالی با آبدهی برابر (یا بیشتر از) $21/8$ میلیون مترمکعب در شش ماهه دوم را پیش بینی می‌کند.

جدول 5. درجه خشکی با توجه به ارتباط شاخص SPI و بارش شش ماهه اول سال آبی با آبدهی کل سالیانه چشمه خوانسار

Table 5. The aridity level according to relationship between the SPI index and rainfall of first six months of the water year with the total annual water discharge recorded at the Khansar spring

درجه خشکی	شاخص 6 ماهه اول سال آبی SPI ₆	بارش شش ماهه اول سال آبی (میلیمتر)			آبدهی کل سالیانه (میلیون متر مکعب)		
		P _{min}	P _{max}	P _{mean}	Q _{min}	Q _{max}	Q _{mean}
شدیداً خشک	-2		<100			<8/869	
بسیار خشک	-1/5 ~ -1/99	100	145	123	8/869	10/580	9/724
خشک متوسط	-1 ~ -1/49	145	191	168	10/580	12/621	11/601
نزدیک نرمال	0 ~ -1	191	281	236	12/621	17/962	15/292
نرمال	0	236	326	281	15/292	21/762	18/527
نزدیک نرمال	+1 ~ 0	281	372	326	17/962	25/562	21/762
مرطوب متوسط	+1 ~ +1/49	372	417	394	25/562	30/494	28/028
بسیار مرطوب	+1/5 ~ +1/99	417	462	439	30/494	36/377	33/435
شدیداً مرطوب	+2		>462			>36/377	

جدول 6. درجه خشکی با توجه به ارتباط شاخص SPI و بارش شش ماهه اول سال آبی با آبدهی کل شش ماهه دوم سال آبی چشمه خوانسار

Table 6. The aridity level according to relationship between the SPI index and precipitation of first six months of the water year with the total water discharge of second six months of the water year of the Khansar spring

درجه خشکی	شاخص 6 ماهه اول سال آبی SPI ₆	بارش شش ماهه اول سال آبی (میلیمتر)			آبدهی شش ماهه دوم سال آبی (میلیون متر مکعب)		
		P _{min}	P _{max}	P _{mean}	Q _{min}	Q _{max}	Q _{mean}
شدیداً خشک	-2		<100			<4/709	
بسیار خشک	-1/5 ~ -1/99	100	145	123	4/709	5/772	5/241
خشک متوسط	-1 ~ -1/49	145	191	168	5/772	7/076	6/424
نزدیک نرمال	0 ~ -1	191	281	236	7/076	10/631	8/853
نرمال	0	236	326	281	8/853	13/302	11/078
نزدیک نرمال	+1 ~ 0	281	372	326	10/631	15/973	13/302
مرطوب متوسط	+1 ~ +1/49	372	417	394	15/973	19/580	17/776
بسیار مرطوب	+1/5 ~ +1/99	417	462	439	19/580	24/000	21/790
شدیداً مرطوب	+2		>462			>24/000	

به عنوان مثال، در سال آبی 1399-1400 میزان بارش کل سال آبی 248 میلیمتر می‌باشد. مطابق جدول 4 ملاحظه می‌گردد که این میزان بارش بیانگر یک سال خشک متوسط (با ضریب SPI بین -1 تا -1/5 و میانگین بارش سالانه (سال آبی) به میزان 270 میلیمتر) (با دامنه تغییرات بین 245 تا 295 میلیمتر) در ایستگاه خوانسار است و لذا انتظار می‌رود آبدهی سالیانه چشمه‌های سرچشمه به طور متوسط

حدود ۱۱/۹ میلیون مترمکعب باشد. احتمال وقوع چنین سالی در حدود ۱۰٪ است و پیش‌بینی می‌شود که در هر یازده سال یک مرتبه این وضعیت در منطقه رخ دهد.

۴- نتیجه‌گیری

تحلیل شاخص SPI و تغییرات سالانه بارش مشخص نموده که در شهرستان خوانسار در بازه زمانی مورد مطالعه شدیدترین خشکسالی در سال ۱۳۸۶ رخ داده است. علاوه بر این، سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۶۸، ۱۳۷۰-۱۳۷۲ و ۱۳۸۰-۱۳۸۵ به عنوان سال‌هایی با بیشترین میزان بارش (ترسالی) در این منطقه تشخیص داده شده‌اند و شهرستان خوانسار در سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۳-۱۳۷۹، ۱۳۸۵-۱۳۹۱ و به ویژه ۱۳۸۶ با خشکسالی شدیدی مواجه بوده است.

احتمال وقوع و دوره برگشت شدت‌های خشکسالی برای داده‌های بارش سالیانه (سال آبی) خوانسار با استفاده از بهترین توزیع آماری برازش شده (توزیع مقدار حدی Extreme Value) محاسبه گردیده است. بر این اساس، احتمال وقوع سال‌های با شرایط نرمال و نزدیک به نرمال اقلیمی ۶۷/۵ درصد است و هر ۱۱/۱ سال یک بار شرایط خشک متوسط و هر ۹/۳ سال یک بار شرایط مرطوب متوسط در شهرستان خوانسار پیش‌بینی می‌شود. همچنین، احتمال بروز سال‌های بسیار خشک و شدیداً خشک و سال‌های بسیار مرطوب و شدیداً مرطوب به ترتیب ۸/۵ و ۴/۱ درصد است.

همبستگی آماری شاخص استاندارد بارش و آبدهی چشمه‌های سرچشمه در سه بازه زمانی آماری مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، همبستگی شاخص استاندارد بارش ۱۲ ماهه با آبدهی کل سال آبی، همبستگی شاخص استاندارد بارش ۶ ماهه اول سال آبی با آبدهی کل سال آبی و همبستگی شاخص استاندارد بارش ۶ ماهه اول سال آبی با آبدهی ۶ ماهه دوم سال آبی (بهار و تابستان) بررسی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که در یک سال با شرایط اقلیمی نرمال، میانگین آبدهی سالانه چشمه‌های سرچشمه بین ۱۲/۸ تا ۲۴/۳ با میانگین ۱۸/۱ میلیون مترمکعب خواهد بود. احتمال رخ دادن سال‌های با شرایط اقلیمی نرمال و نزدیک به نرمال ۶۷/۵ درصد و دوره بازگشت این سال‌ها در هر ۱/۵ سال می‌باشد. به عبارت دیگر انتظار می‌رود که هر یک و نیم سال یک بار شرایط اقلیمی نرمال و نزدیک به نرمال در شهرستان خوانسار تجربه شود. میانگین بارش کل سالانه در یک سال نرمال در ایستگاه خوانسار بین ۲۹۵ تا ۴۹۴ با میانگین ۳۹۴ میلیمتر خواهد بود. میانگین بارش در چنین سالی در نیمه اول سال آبی بین ۱۹۱ تا ۳۷۲ میلیمتر (میانگین ۲۸۱ میلیمتر) پیش‌بینی می‌شود. شاخص SPI برای یک سال با شرایط اقلیمی نرمال بین ۱- تا ۱ در نظر گرفته شده است. در سالی با شرایط اقلیمی خشک متوسط، میانگین بارش سالانه در ایستگاه خوانسار بین ۲۴۵ تا ۲۹۵ با میانگین ۲۷۰ میلیمتر می‌باشد. همچنین در شرایط یک سال با شرایط اقلیمی خشک متوسط، میانگین آبدهی سالانه چشمه‌های سرچشمه بین ۱۱/۰ تا ۱۲/۸ با میانگین ۱۱/۹ میلیون مترمکعب پیش‌بینی می‌شود. در چنین سالی انتظار می‌رود که میانگین بارش در نیمه اول سال آبی بین ۱۴۵ تا ۱۹۱ میلیمتر با میانگین ۱۶۸ میلیمتر باشد. در سال‌های بسیار خشک با احتمال وقوع حدوداً ۳۰ سال یکبار، آبدهی واقعی چشمه‌های سرچشمه به کمتر از ۹ میلیون مترمکعب در سال خواهد رسید.

نتایج ارائه شده در این تحقیق نشان می‌دهد که مقادیر آبدهی چشمه‌های سرچشمه ارتباط مستقیم و معنی‌داری با میزان بارش در طول دوره‌های مختلف دارد. همچنین ارتباط معنی‌دار و خوبی بین آبدهی چشمه‌ها در نیمه دوم سال آبی با میزان بارش در نیمه اول سال آبی وجود داشته و لذا می‌توان از آن به عنوان ابزاری برای پیش‌بینی آبدهی (متوسط ۶ ماهه اول، ۶ ماه دوم و سالیانه) چشمه‌های مجموعه سرچشمه بر اساس مقدار بارش ثبت شده در شش ماهه اول سال آبی (مجموع بارش پائیز و زمستان) استفاده نموده و بنابراین ضمن تأیید فرضیات تحقیق می‌توان از نتایج آن جهت تخصیص و برنامه‌ریزی آب به کشاورزان محدوده انهار شهرستان خوانسار قبل از شروع فصل کشت استفاده نمود.

۵- تضاد منافع نویسندگان

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

۶- مراجع

- Abkhan Consulting Engineers (2013). Report on water resources balance of Golpayegan study area (4130), water resources balance update studies of the Namak Lake catchment. Iran Water Resources Management Company, basic studies of water resources, Ministry of Energy.
- Barker, L.J., Hannaford, J., Chiverton, A., Svensson, C. (2016). From meteorological to hydrological drought using standardised indicators. *Hydrology and Earth System Sciences* 20, 2483–2505. <https://doi.org/10.5194/hess-20-2483-2016>
- Bloomfield, J.P., Marchant, B.P. (2013). Analysis of groundwater drought building on the standardised precipitation index approach. *Hydrology and Earth System Sciences* 17, 4769–4787. <https://doi.org/10.5194/hess-17-4769-2013>
- Bouabdelli, S., Meddi, M., Zeroual, A., Alkama, R. (2020). Hydrological drought risk recurrence under climate change in the karst area of Northwestern Algeria. *Journal of Water and Climate Change* 11(S1), 164-188. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.207>
- Haslinger, K., Koffler, D., Schoner, W., Laaha, G. (2014). Exploring the link between drought and streamflow: Effects of climate-catchment interaction. *Water Resources Research* 50, 1-20. <https://doi.org/10.1002/2013WR015051>
- Hughes, J.D., Petrone, K.C., Silberstein, R.P. (2012). Drought, groundwater storage and stream flow decline in southwestern Australia. *Geophysical Research Letters* 39, L03408. <https://doi.org/10.1029/2011GL050797>
- Ljubenkov, I., Cindrić Kalin, K. (2016). Evaluation of drought using standardised precipitation and flow indices and their correlations on an example of Sinjsko polje. *Grđevinar* 68(2), 135-143. <https://doi.org/10.14256/JCE.1337.2015>
- McKee, T.B., Doeksen, N.J., Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration on time scales, 8th Conference of Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston MA, 179-184.
- Romano, E., Del Bon, A., Petrangeli, E., Preziosi, E. (2013). Generating synthetic time series of springs discharge in relation to standardized precipitation indices: Case study in Central Italy. *Journal of Hydrology* 507, 86-99. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.020>
- Russo, T.A., Lall, U. (2017). Depletion and Response of Deep Groundwater to Climate-Induced Pumping Variability. *Nature Geoscience* 10(2), 105–08. <https://doi.org/10.1038/ngeo2883>
- Saada, N., Abu-Romman, A. (2017). Multi-site modelling and simulation of the standardized precipitation index (SPI) in Jordan. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 14, 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.11.002>
- Stagge, J.H., Tallaksen, L.M., Gudmundsson, L., Van Loon, A.F., Stahl, K. (2015). Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology* 35, 4027–4040. <https://doi.org/10.1002/joc.4267>
- Uddameri, V., Singaraju, S., Hernandez, E.A. (2019). Is standardized Precipitation Index (SPI) a useful indicator to forecast groundwater droughts? Insights from a Karst Aquifer. *Journal of American Water Resources Association* 55, 70–88. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12698>