



Climate Changes Effects on Quantity and Quality Conditions of the Bibitalkhone Karstic Spring, Lali Khuzestan

Hadis Zareii¹, Nasroallah Kalantari^{2*}, Hamid Reza Mohamadi Behzad³, Arash Nadri⁴

Abstract

From the past to the present the karstic springs have been taken into account to supply water demands for drinking as well as irrigation, but due to the karstic area characteristics, springs discharges in such horizons are generally impressed by climatic conditions (drought and wet periods), Therefore, recognition of these periods is significant for planning and optimal utilization of water resources. In this study standard precipitation index (SPI), stream flow drought index (SDI) and groundwater resource index (GRI) were computed and compared for a statistical period of 2004 to 2015. The results suggested 2005-2006 as wet, 2013-2014 as drought, and 2015-2016 as a normal years. In order to recognize the effect of the wet and dry periods on spring discharge, the spring discharges and rainfall amounts in these three periods were compared with the average values of these two parameters in the 10 years statistical period. The results indicated that spring discharge in 1384-1385 increased 61% and 54% respectively as compared to the average and normal years. On the contrary, the discharge rate in 2015-2016 decreased 46% and 49% respectively as compared with those of the average and normal years. Therefore, it could be concluded that the Bibitalkhone spring was impressed by precipitation changes in the past. According to water chemistry analysis the EC and TH of the spring water were more than the average in drought period but less than the wet period. The value of these hydrochemical parameters in normal years were close to the average values of ten years. The data also depicted that the chemical quality of spring water was affected by drought and wet periods.

Keywords: Bibitalkhone spring, climate fluctuation, drought indexes, water chemistry

Received: 2016/08/09
Accepted: 2016/12/04

اثر نوسانات اقلیمی بر شرایط کمی و کیفی چشمه کارستی بی‌بی تلخون، شهرستان لالی خوزستان

حدیث زارعی^۱، نصرالله کلانتری^{۲*}، حمیدرضا محمدی بهزاد^۳،
آرش ندری^۴

چکیده

چشمه‌های کارستی به لحاظ نقشی که از دیرباز در تأمین آب شرب و کشاورزی داشته‌اند، از اهمیت فراوانی برخوردارند. به علت ویژگی‌های پهنه‌های کارستی، چشمه‌های کارستی به نوسانات اقلیمی از جمله ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها واکنش نشان می‌دهند. از این رو شناخت این تغییرات در دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی نقش مهمی در برنامه‌ریزی و بهره‌برداری بهینه از این منابع دارد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های دوره‌ی آماری (۱۳۹۳-۱۳۸۳)، شاخص‌های خشکی (SPI) و (SDI) و (GRI) محاسبه گردیده و به مقایسه این سه شاخص پرداخته شده است. در ادامه با استفاده از این شاخص‌ها سال ۱۳۸۵-۱۳۸۴ به‌عنوان ترسالی و سال ۱۳۹۱-۱۳۹۰ به‌عنوان خشک‌سالی و سال ۱۳۹۳-۱۳۹۲ به‌عنوان سال نرمال انتخاب گردید. میزان دبی چشمه و بارش در این سه سال با میانگین ۱۰ ساله مقایسه و میزان تأثیرپذیری چشمه از ترسالی و خشک‌سالی مشخص گردید. نتایج نشان می‌دهد که دبی سال ۸۵-۸۴ به ترتیب نسبت به میانگین ۱۰ ساله و سال نرمال ۹۳-۹۲، به ترتیب ۶۱٪ و ۵۴٪ افزایش داشته است. همچنین میزان دبی سال ۹۱-۹۰ نسبت به میانگین ۱۰ ساله و سال نرمال ۹۳-۹۲، به ترتیب ۴۶٪ و ۴۹٪ کاهش یافته است، که این امر حاکی از تأثیرپذیری چشمه‌ی بی‌بی‌تلخون از وقوع نوسانات بارشی می‌باشد. طبق نتایج میزان EC و TH در خشک‌سالی‌ها بیشتر و در ترسالی‌ها کمتر از میزان میانگین ده ساله است. در سال‌های نرمال نیز این مقادیر به میانگین ده ساله نزدیک هستند. بنابراین، کیفیت آب چشمه نسبت به رخدادهای خشک‌سالی و ترسالی واکنش نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: چشمه‌ی بی‌بی تلخون، نوسانات اقلیمی، شاخص‌های خشک‌سالی، شیمی آب

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۱۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۱۴

1- PhD Candidate of hydrogeology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University
2, 4- Faculty Member, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran
3- PhD hydrogeology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University

*- Corresponding Author: nkalantari@hotmail.com

۱- دانشجوی دکتری آب‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲، ۴- عضو هیئت علمی گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- دکتری آب‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
* نویسنده مسئول

مقدمه

نوسانات اقلیمی به‌عنوان یکی از ویژگی‌های ذاتی اقلیمی ناشی از تغییرات مقدار بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف می‌باشد. یکی از اثرات این پدیده تأثیر بر منابع آبی می‌باشد که بهره‌برداری قابل اطمینان از آب‌های سطحی و زیرسطحی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. امروزه نیاز به تأمین آب، برای رفع نیاز جوامع انسانی و اکوسیستم‌های طبیعی به‌طور فزاینده‌ای در سطح جهان به رسمیت شناخته شده است (گاندوی و همکاران، ۲۰۱۱). منابع آب زیرزمینی یک منبع قابل اعتماد برای انواع مقاصد شرب، صنعت و کشاورزی می‌باشد (عیوض، ۲۰۰۹). آبخوان‌های آب کارست به علت ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی خاص خود متمایز از دیگر آبخوان‌های آبی می‌باشند (مودارا و آندریا، ۲۰۱۱). دبی آبخوان‌های کارستی تحت تأثیر عوامل مختلفی می‌باشند. در واقع دبی آبخوان‌های کارستی در یک سال هیدرولوژیکی، از رژیم آب و هوایی، ویژگی‌های زمین‌شناسی و ویژگی‌های کارست منطقه تأثیر می‌پذیرد (فیوریلو و همکاران، ۲۰۰۷). نوسانات دبی چشمه‌های کارستی در مقابل نوسانات بارشی به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی پهنه‌های کارستی تغذیه کننده بستگی دارد. حجم خروجی سالانه از چشمه کارستی بی‌بی‌تلخون بیش از ۸/۷۶ میلیون مترمکعب در سال است. با توجه به اینکه چشمه کارستی بی‌بی‌تلخون مهم‌ترین چشمه موجود در منطقه است، شناخت چگونگی تأثیرپذیری این چشمه از وقوع نوسانات بارشی از جمله ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها از لحاظ بیان آبی منطقه لازم به نظر می‌رسد که در زمینه مدیریت بهینه منابع آب چشمه اهمیت می‌یابد. هدف از این پژوهش شناخت ارتباط بین پدیده ترسالی، خشک‌سالی و نوسانات دبی چشمه کارستی بی‌بی‌تلخون و شناخت رفتار این چشمه در زمان ترسالی و خشک‌سالی می‌باشد. در زمینه تأثیر نوسانات بارش بر چشمه‌های کارستی در سطح جهان و ایران مطالعاتی انجام پذیرفته که می‌توان به موارد زیر اشاره داشت: سرانو و مورنو (۲۰۰۵) به‌منظور بررسی آثار خشک‌سالی اقلیمی بر خشک‌سالی آب شناختی از شاخص معیار بارندگی (SPI¹)

استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که SPI با پایه زمانی بزرگ‌تر از دوازده ماه، در این منطقه اثر قابل توجهی بر منابع آب ندارد، همچنین جریان‌های سطحی به پایه زمانی پایین SPI و مخازن ذخیره آب به پایه‌های زمانی بلندمدت هفت تا ده ماهه در این حوضه وابسته است. خان و همکاران (۲۰۰۸) از SPI برای بررسی اثر خشک‌سالی بر سطح آب زیرزمینی استفاده کردند و نتایج نشان داد که SPI معیار مناسبی برای این منظور است. عزیزی (۲۰۰۴) در دشت قزوین با بررسی ارتباط خشک‌سالی اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی بیان کرد که منابع آب زیرزمینی در این منطقه از سیکل و رژیم بارش منطقه تبعیت می‌کند و تأخیر زمانی بین خشک‌سالی اقلیمی و خشک‌سالی در منابع آب زیرزمینی با تأخیر دو ماهه گزارش شده است. نادریان‌فر و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی تغییرات آب زیرزمینی تحت شرایط اقلیمی مختلف به این نتیجه رسیدند که بارندگی با تأخیر ده ماهه بیشترین تأثیر را بر سطح آب دشت نیشابور دارد، اما با محاسبه SPI و همبستگی آن با سطح آب زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که تأخیر شاخص خشک‌سالی با نوسانات سطح آب زیرزمینی ۴۲ ماهه است. همچنین نادریان‌فر و انصاری (۲۰۱۱) با خوشه‌بندی دشت نیشابور، همچنین حذف روند داده‌های بارش و سطح آب زیرزمینی، تأخیر خشک‌سالی اقلیمی با تغییرات سطح منابع آب زیرزمینی را یک ساله و در ارتباط با SPI با پایه‌های زمانی ۳۶ تا ۵۴ ماهه بیان کردند. مندیسینو و همکاران^۲ (۲۰۰۸) در پژوهش خود ضمن معرفی نمایه GRI^۳ (شاخص منابع آب زیرزمینی)، این نمایه را در ایتالیا به کار گرفتند و با SPI، ۱۲، ۶ و ۲۴ ماهه مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که رفتار GRI بسیار شبیه SPI است اما تأخیر زمانی بین این دو شاخص به دلیل ساختار زمین‌شناسی مشاهده می‌گردد و این شاخص در ماه‌های تابستان در اقلیم مدیترانه‌ای همبستگی بالایی نشان داده است. اکرامی و همکاران (۲۰۱۳) با مطالعه اثر خشک‌سالی اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که با افزایش پایه زمانی SPI همبستگی آن با GRI افزایش می‌یابد و تأخیر

²- Mendicino

³- Groundwater resource index

¹- Standard precipitation index



در این پژوهش با استفاده از داده‌های سال‌های آبی (۱۳۹۳-۱۳۸۳)، پارامترهای شاخص خشک‌سالی آب‌های زیرزمینی (GRI) و شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی (SDI) محاسبه گردیده و شاخص بارش استاندارد (SPI) در مقیاس زمانی ۱۰ ساله (۱۳۹۳-۱۳۶۳) محاسبه شده است و به مقایسه این سه شاخص پرداخته شده است. در نهایت ارتباط بین شاخص هواشناسی (SPI) و شاخص‌های هیدرولوژیکی (GRI) و (SDI) از طریق ضریب همبستگی پیرسون به دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی ارتباط معناداری وجود دارد.

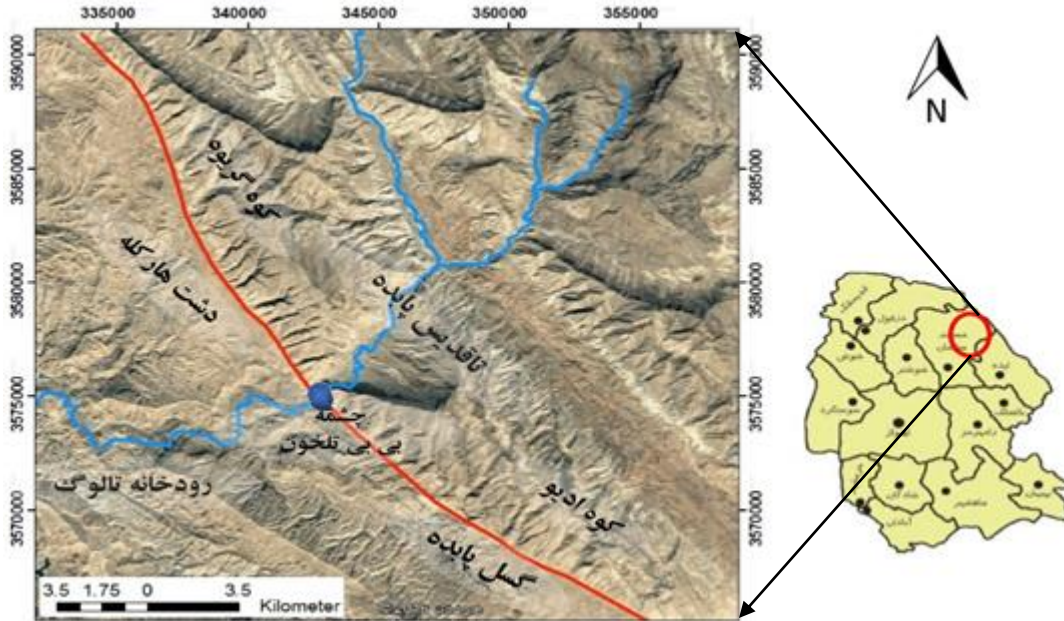
مواد و روش‌ها

موقعیت و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، حوضه آبریز چشمه بی‌بی‌تلخون می‌باشد که در ۱۵۰ کیلومتری شمال شرق اهواز، در شهرستان اندیکا (محدوده شهر قلعه خواجه) در محدوده عرض جغرافیایی $32^{\circ}00'$ تا $32^{\circ}45'$ شمالی و طول جغرافیایی $49^{\circ}15'$ تا $50^{\circ}00'$ شرقی در شمال شرق استان خوزستان واقع شده است. همچنین این محدوده از لحاظ حوضه آبریز نیز جزء حوضه آبریز رودخانه کارون میانی به حساب می‌آید. شکل ۱ موقعیت چشمه‌ی کارستی بی‌بی‌تلخون را نشان می‌دهد.

زمانی بین خشک‌سالی اقلیمی با آب‌شناختی در دشت یزد اردکان یک تا دو سال است. در این تحقیق علاوه بر بررسی تأخیر خشک‌سالی اقلیمی و آب‌شناختی، رابطه آن با پایه زمانی SPI و تأخیر نسبت به GRI بررسی شد تا رابطه آن‌ها به‌طور دقیق مشخص شود. مفیدی و همکاران (۱۳۹۱) از شاخص خشک‌سالی جریان‌ات رودخانه‌ای SDI^۴ جهت ارزیابی و تحلیل زمان خشک‌سالی‌ها استفاده کردند. نتایج نشان داد که خشک‌سالی سبب کاهش جریان آب‌های سطحی شده است. مرادی و همکاران (۱۳۸۸) به ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک با استفاده از شاخص SPI و SDI در حوزه شهر خرم‌آباد پرداختند. آن‌ها از داده‌های ماهانه دبی و بارش در طی دوره‌ی آماری ۱۳۸۵-۱۳۵۶ استفاده کردند. نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری مقایسه‌ی بین این دو شاخص نشان داد که حالت غالب خشک‌سالی در این حوزه تقریباً حالت نرمال است. باقری و همکاران (۱۳۹۱) چشمه‌های کارستی گیلان غرب را نسبت به رخداد ترسالی مورد بررسی قرار دادند، در همین راستا با استفاده از شاخص SPI سال ۸۱-۸۰ به‌عنوان سال ترسالی و سال ۸۳-۸۲ به‌عنوان سال نرمال انتخاب گردید. همچنین آبدهی چشمه گیلان غرب را نسبت به میانگین ۱۲ ساله مقایسه کردند و دریافتند که این چشمه نسبت به وقوع نوسانات بارشی و بخصوص رخداد ترسالی واکنش نشان می‌دهد و علت این امر را ویژگی‌های ژئومورفولوژی کارست منطقه دانستند.

⁴ Stream flow drought index



شکل ۱- نقشه موقعیت و هیدروژئولوژی چشمه بی‌بی تلخون

ویژگی‌های چشمه‌ی کارستی بی‌بی تلخون

چشمه‌ی بی‌بی تلخون یکی از بزرگ‌ترین چشمه‌های کارستی در شرق استان خوزستان و بزرگ‌ترین چشمه کارستی منطقه لالی و هارکله به حساب می‌آید و مظهر آن در آهک‌های درزه و شکاف‌دار سازند آسماری در ابتدای دره تالوک در جنوب شرق هارکله قرار دارد و از بخش جنوبی تاقدیس پابده و از زون گسله و خرد شده آهک‌های آسماری کوه ادیو سرچشمه گرفته است (کلاتتری و همکاران، ۱۳۹۰). چشمه کارستی بی‌بی تلخون یک چشمه دائمی است که آبدهی آن در فصل‌تر در ارتباط مستقیم با میزان ریزش‌های جوی است. منبع اصلی آب زیرزمینی چشمه‌ی بی‌بی تلخون در بخش جنوب شرقی تاقدیس پابده که به کوه ادیو معروف است، ذخیره شده است. هرچند دو دهنه اصلی آن در کنار هم قرار دارند، اما مظهر چشمه به صورت یک نقطه متمرکز نیست و آب در یک فاصله ۷۰ متری از حدود ۲۰ نقطه ظاهر می‌شود. با توجه به بازدید صحرائی به احتمال زیاد مسیر اصلی جریان چشمه در سازند آهکی کوه ادیو قبل از رسیدن به دره تالوک به صورت یک مجرای بزرگ گسله و انحلالی می‌باشد. لیکن باز شدگی شدید لایه‌های سازند آسماری، تشکیل درزه‌های عرضی و اریب فراوان با بازشدگی زیاد (حدود ۱۰ سانتی‌متر) و واریزه‌های کوچک و بزرگ آهکی در محل تقاطع این مجرای کارستی با دره

(رودخانه کارستی تالوک) موجب پخش آب و تشکیل دهانه‌های زیاد این چشمه شده است. گسل خوردگی شدید این ناحیه که یک زون کاملاً شکسته و خرد شده را به وجود آورده است، همراه با انحلال منجر به توسعه آبخوان کارستی شده است که منبع تغذیه چشمه‌ی بی‌بی تلخون را فراهم آورده است (محمدی بهزاد، ۱۳۹۵).

این پژوهش یک تحقیق کاربردی است که مبتنی بر روش تحلیل هیدروگراف و همچنین تحلیل آماری می‌باشد. با توجه به هدف تحقیق به منظور شناخت واکنش چشمه‌ی کارستی بی‌بی تلخون به رخداد ترسالی و خشک‌سالی از آمار بارش ایستگاه سد شهید عباسپور و دبی چشمه بی‌بی تلخون در یک دوره ۱۰ ساله استفاده شد. در ادامه با استفاده از تقسیم‌بندی مینزر چشمه درجه‌بندی گردید و شاخص مینزر (شاخص تغییرپذیری دبی) با استفاده از فرمول $RS = Q_{max} - Q_{min}/Q_{men} * 100$ محاسبه گردید (جدول ۱ و ۲). در ادامه هیدروگراف میانگین روزانه ۱۰ ساله چشمه ترسیم گردید و ضریب تغییرات دبی و دامنه تغییرات آبدهی آن‌ها محاسبه گردید. در ادامه جهت بررسی وضعیت خشک‌سالی و ترسالی هواشناسی و هیدروژئوکی این چشمه از داده‌های بارندگی ایستگاه باران‌سنجی سد شهید عباسپور و داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری بی‌بی تلخون با طول دوره‌ی آماری ده ساله استفاده



دوره‌های زمانی واکنش چشمه به تغییرات بارش تعیین گردید. آمار ایستگاه هواشناسی و دبی چشمه به‌عنوان داده‌های اصلی مورد استفاده قرار گرفتند و از نرم‌افزارهای SPI program، Excel و SPSS برای پردازش داده‌ها استفاده گردید.

شد. جهت ارزیابی و تحلیل خشک‌سالی و ترسالی از سه شاخص SPI، GRI و SDI استفاده شد. در ادامه با استفاده از آمار بارش و دبی هیدروگراف ایستگاه سد شهید عباسپور و چشمه بی‌تلخون ترسیم گردید و تغییرات دبی چشمه مورد مطالعه از رخداد ترسالی و خشک‌سالی مشخص شد و در نهایت

جدول ۱- تقسیم‌بندی چشمه‌ها بر اساس متوسط میزان دبی (Meinzer, 1923)

دبی (لیتر بر ثانیه)	$Q > 10000$	$10000 > Q > 1000$	$1000 > Q > 100$	$100 > Q > 10$	$10 > Q > 1$	$1 > Q > 0.1$
درجه چشمه	درجه ۱	درجه ۲	درجه ۳	درجه ۴	درجه ۵	درجه ۶

جدول ۲- تقسیم‌بندی چشمه‌ها بر مبنای شاخص تغییرپذیری دبی (Meinzer, 1923)

شاخص مینزر	$RS < 0.25$	$0.25 < RS < 1.00$	$RS > 1.00$
نوع چشمه	ثابت	تقریباً متغیر	متغیر

$$F(x) = \int_0^x f(X) dX = \frac{1}{\beta^\alpha \tau(\alpha)} \int_0^x X^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1) \text{ رابطه}$$

که در این رابطه X مقدار متغیر بزرگ‌تر از صفر، α پارامتر شکل و β پارامتر مقیاس توزیع و $\tau(\alpha)$ تابع گاما است (گزارشی از سازمان جهانی هواشناسی^۶، ۲۰۱۲). مقیاس‌های زمانی مختلفی به منظور نشان دادن تأثیرات کاهش بارندگی بر منابع آبی مختلف طراحی شده‌اند. از آنجایی که در این پژوهش وضعیت منطقه در برابر خشک‌سالی و ترسالی و همچنین رابطه خشک‌سالی با آب‌های زیرزمینی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، لذا باید مقیاس زمانی ۲۴ ماهه برای محاسبه شاخص SPI انتخاب گردد. جدول ۳ طبقه‌بندی ترسالی و خشک‌سالی را بر مبنای شاخص SPI نشان می‌دهد.

بحث و نتایج

شاخص بارش استاندارد شده (SPI°)

این شاخص توسط مک کی و همکاران (۱۹۹۳) جهت تعیین خشک‌سالی پیشنهاد می‌شود، که از اختلاف بارش و میانگین بارش نسبت به انحراف معیار بارش به دست می‌آید و از آن تحت عنوان بارش استاندارد شده (SPI) نام می‌برند که از طریق برآزش توزیع احتمال مناسب بر سری مجموع بارندگی‌های ماهانه در بازه‌ی زمانی معین حاصل می‌گردد. بدین ترتیب، احتمال عدم تجاوز مقادیر بارندگی از روی تابع توزیع تجمعی مناسب (توزیع گاما) تعیین و احتمال به دست آمده از این طریق به متغیر تصادفی نرمال استاندارد تبدیل می‌شود (بذرافشان، ۱۳۸۹). پس از برآزش توزیع گاما و در اختیار داشتن احتمال تجمعی، مقادیر SPI از طریق احتمال تجمعی استاندارد گاما، محاسبه می‌گردد (رابطه ۱).

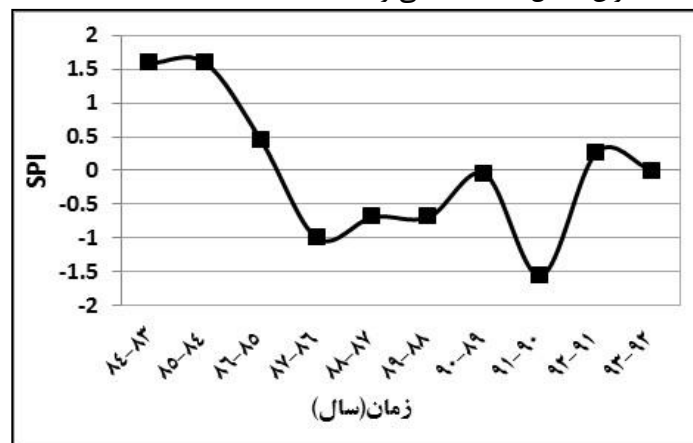
⁶- Report of World Meteorological Organization

⁵- Standardized Precipitation Index

جدول ۳- طبقات ترسالی و خشک‌سالی بر مبنای شاخص SPI

حالت	محدوده SPI	وضعیت خشک‌سالی
۰	$SPI \leq 2$	خیلی خیلی مرطوب
۱	$2 > SPI \geq 1/5$	خیلی مرطوب
۲	$1/5 > SPI \geq 1$	مرطوب متوسط
۳	$1 < SPI \leq -1$	نزدیک به نرمال
۴	$-1 > SPI \geq -1/5$	خشک‌سالی متوسط
۵	$-1/5 > SPI \geq -2$	خیلی خشک
۶	$-2 < SPI$	خیلی خیلی خشک

میزان مقادیر SPI رخ داده در ایستگاه سد شهید عباسپور طی دوره‌ی آماری ۱۰ ساله منتخب شناسایی شدند (جدول ۴) و سال ۱۳۸۳-۱۳۸۴ و ۱۳۸۴-۱۳۸۵ به‌عنوان ترسالی و سال ۱۳۹۰-۱۳۹۱ به‌عنوان سال خشک‌سالی و سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۶، ۱۳۸۵-۱۳۸۶، ۱۳۸۷-۱۳۸۸، ۱۳۸۸-۱۳۸۹، ۱۳۸۹-۱۳۹۰، ۱۳۹۱-۱۳۹۲ و ۱۳۹۲-۱۳۹۳ به‌عنوان سال نرمال تعیین گردیدند که در شکل ۲ نیز ارائه شده است.



شکل ۲- نمودار تغییرات شاخص SPI برای چشمه‌ی بی‌بی‌تلخون در دوره آماری ۱۳۸۳-۱۳۹۳

جدول ۴- مقادیر SPI محاسبه شده برای چشمه‌ی بی‌بی‌تلخون طی دوره آماری منتخب

سال آبی	مقدار SPI	وضعیت خشک‌سالی
۱۳۸۳-۱۳۸۴	۱/۵۹	خیلی مرطوب
۱۳۸۴-۱۳۸۵	۱/۶	خیلی مرطوب
۱۳۸۵-۱۳۸۶	۰/۴۵	نزدیک نرمال
۱۳۸۶-۱۳۸۷	-۱	نزدیک نرمال
۱۳۸۷-۱۳۸۸	-۰/۶۹	نزدیک نرمال
۱۳۸۸-۱۳۸۹	-۰/۶۹	نزدیک نرمال
۱۳۸۹-۱۳۹۰	-۰/۰۵	نزدیک نرمال
۱۳۹۰-۱۳۹۱	-۱/۵۶	خیلی خشک
۱۳۹۱-۱۳۹۲	۰/۲۷	نزدیک نرمال
۱۳۹۲-۱۳۹۳	-۰/۰۱	نزدیک نرمال



به منظور محاسبه شاخص SDI از آمار دبی ماهیانه ایستگاه بی‌بی‌تلخون در دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۸۳ بر طبق رابطه ۲ استفاده شد. شکل ۳ نتایج حاصل از محاسبات این شاخص را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میزان این شاخص در سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۹۰ و ۱۳۹۲-۱۳۹۱ دارای خشک‌سالی ملایم و سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۸۶ و ۱۳۹۳-۱۳۹۲ فاقد خشک‌سالی هستند. همچنین شدیدترین خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی در سال ۱۳۹۰-۱۳۹۱ با مقدار شاخص ۱/۴۸- اتفاق افتاده است. جدول ۶ مقادیر شاخص SDI را در دوره آماری ۱۰ ساله نشان می‌دهد.

جدول ۵- طبقه‌بندی حالت‌های خشک‌سالی هیدروژئولوژیک با روش

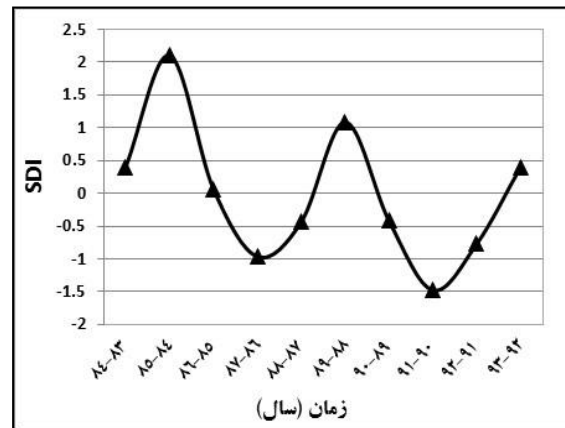
شاخص SDI	
محدوده SDI	وضعیت خشک‌سالی
$SDI \leq 0$	فاقد خشک‌سالی
$0 < SDI \leq -1$	خشک‌سالی ملایم
$-1 < SDI \leq -1/5$	خشک‌سالی متوسط
$-1/5 < SDI \leq -2$	خشک‌سالی شدید
$SDI < -2$	خشک‌سالی خیلی شدید

شاخص خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی (SDI^۷)

این شاخص توسط نالبانتیس^۸ (۲۰۰۸) ارائه شد و سپس در سال ۲۰۰۹ توسط نالبانتیس و همکاران برای مشخص کردن خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی توسعه داده شد. در این روش، (رابطه ۲) فرض می‌شود که سری‌های زمانی حجم جریان‌های خروجی چشمه به صورت ماهانه Q_v موجود می‌باشد که در آن اندیس i سال هیدروژئولوژیکی و اندیس j ماه مربوط به سال هیدروژئولوژیکی می‌باشد.

$$SDI_{ik} = \frac{V_{ik} - \bar{V}_k}{S_k} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن S_k و \bar{V}_k به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریانات تجمعی برای دوره مبنای k می‌باشد. جدول ۵ طبقه‌بندی حالت‌های مختلف خشک‌سالی را به روش SDI نشان می‌دهد.



شکل ۳- تغییرات شاخص SDI در مقیاس سالانه

7- Streamflow Drought Index

8- Nalbantis

جدول ۶- میزان شاخص SDI را در طی دوره ۱۰ ساله

ردیف	سال آبی	SDI	حالت خشک سالی
۱	۱۳۸۳-۱۳۸۴	۰/۳۹	فاقد خشک سالی
۲	۱۳۸۴-۱۳۸۵	۲/۱۰	فاقد خشک سالی
۳	۱۳۸۵-۱۳۸۶	۰/۰۷۰	فاقد خشک سالی
۴	۱۳۸۶-۱۳۸۷	-۰/۹۶۱	خشک سالی ملایم
۵	۱۳۸۷-۱۳۸۸	-۰/۴۳۸	خشک سالی ملایم
۶	۱۳۸۸-۱۳۸۹	۱/۰۸۷	فاقد خشک سالی
۷	۱۳۸۹-۱۳۹۰	-۰/۴۱۵	خشک سالی ملایم
۸	۱۳۹۰-۱۳۹۱	-۱/۴۷۶	خشک سالی نزدیک به شدید
۹	۱۳۹۱-۱۳۹۲	-۰/۷۷۰	خشک سالی ملایم
۱۰	۱۳۹۲-۱۳۹۳	۰/۴۰۲	فاقد خشک سالی

شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI^۹)

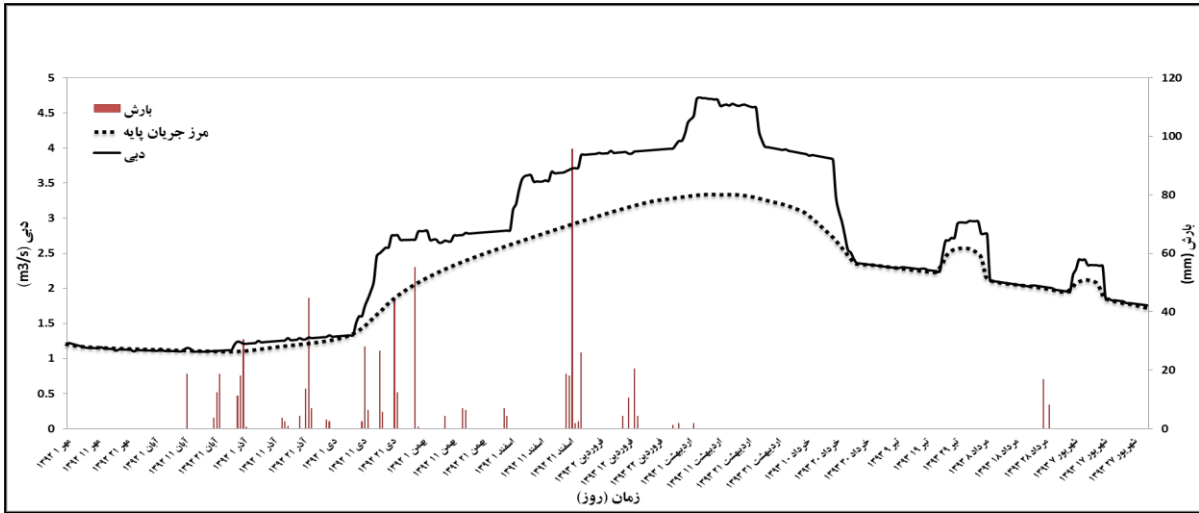
شاخص منبع آب زیرزمینی توسط مندیسینو و همکارانش^{۱۰} (۲۰۰۸) از یک مدل توازن آب ساده ایجاد شده است. شرایط سنگ‌شناسی منطقه که در پاسخ هیدرولوژیکی تابستانه به بارش‌های زمستانه مؤثر است، در نظر گرفته شده است که به‌عنوان یک روش مؤثر قابل اطمینان در یک رویکرد آنالیزی چندمنظوره برای پایش و پیش‌بینی وضعیت خشک‌سالی در آب زیرزمینی ارائه شده است. این نمایه به منظور ارزیابی وضعیت مخزن آبخوان‌های آب زیرزمینی به کار می‌رود. از این‌رو، فقط با استانداردسازی مقادیر ماهانه‌ی آب زیرزمینی محبوس برای همه‌ی ماه‌ها بدون هیچ‌گونه تغییرشکل، شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) طبق رابطه ۳ پیشنهاد شده است:

$$GRI_{y.m} = \frac{D_{y.m} - \mu_{D.m}}{\sigma_{D.m}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

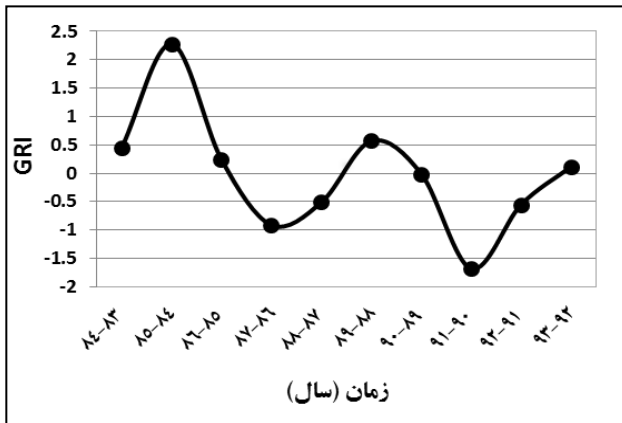
که در آن پارامترهای $GRI_{y.m}$ و $D_{y.m}$ به ترتیب بیانگر مقادیر شاخص و حجم آب محبوس برای ماه m و سال y می‌باشد، همچنین $\mu_{D.m}$ و $\sigma_{D.m}$ بیانگر مقادیر میانگین و انحراف معیار آب زیرزمینی محبوس برای ماه m در طول سال‌های برداشت داده‌ها هستند. مقدار شاخص GRI همانند شاخص SDI برای چشمه در طی دوره آماری ۱۰ ساله از رابطه ۳ محاسبه شد. البته در محیط کارستی حجم ذخیره آبخوان از روی دبی پایه‌ی هیدروگراف تعیین می‌شود. به همین منظور ابتدا هیدروگراف‌های تخلیه‌ی چشمه در طی دوره‌ی آماری ۱۳۸۳-۱۳۹۳ با استفاده از دبی روزانه‌ی چشمه رسم شد، سپس با جداسازی دبی پایه از دبی جریان سریع حجم ذخیره آبخوان در طی ماه‌ها و سال‌های دوره آماری تعیین گردید. به‌عنوان مثال در شکل ۴، هیدروگراف روزانه‌ی چشمه‌ی بی‌بی‌تلخون در سال نرمال ۹۳-۹۲ آورده شده است.

9- Groundwater Resource Index

10- Mendicino



شکل ۴- هیدروگراف دبی روزانه چشمه‌ی بی‌بی تلخون در سال نرمال ۹۲-۹۳



شکل ۵- تغییرات شاخص GRI در مقیاس سالانه

طبقه‌بندی و تعیین وضعیت رطوبتی در شاخص GRI شبیه به شاخص SPI است، زیرا در هر دو روش از توزیع نرمال استفاده شده است (نیکو و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۰).

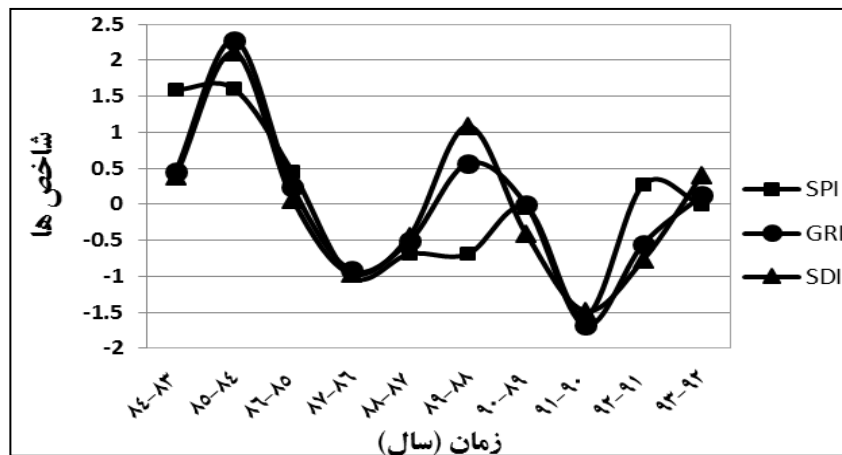
برطبق این شاخص در سال آبی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ خشک‌سالی خیلی شدید با مقدار شاخص $-1/68$ اتفاق افتاده است. همچنین طبق این شاخص، در سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۵ ترسالی خیلی خیلی شدیدی با مقدار شاخص $2/28$ روی داده است. شکل ۵ تغییرات شاخص GRI در مقیاس سالانه را نشان می‌دهد. جدول ۷ مقادیر شاخص GRI را در طی دوره آماری ۱۰ ساله نشان می‌دهد.

¹¹- Nico

جدول ۷- میزان شاخص GRI در طی دوره‌ی آماری منتخب

ردیف	سال آبی	GRI	حالت خشک‌سالی
۱	۱۳۸۳-۱۳۸۴	۰/۴۵	نزدیک نرمال
۲	۱۳۸۴-۱۳۸۵	۲/۲۸	خیلی مرطوب
۳	۱۳۸۵-۱۳۸۶	۰/۲۴	نزدیک نرمال
۴	۱۳۸۶-۱۳۸۷	-۰/۹۱	نزدیک نرمال
۵	۱۳۸۷-۱۳۸۸	-۰/۵۱	نزدیک نرمال
۶	۱۳۸۸-۱۳۸۹	۰/۵۷	نزدیک نرمال
۷	۱۳۸۹-۱۳۹۰	-۰/۰۱	نزدیک نرمال
۸	۱۳۹۰-۱۳۹۱	-۱/۶۸	خیلی خشک
۹	۱۳۹۱-۱۳۹۲	-۰/۵۵	نزدیک نرمال
۱۰	۱۳۹۲-۱۳۹۳	۰/۱۲	نزدیک نرمال

شکل ۶ تغییرات شاخص‌های GRI، SDI و SPI را نسبت به دوره‌ی آماری ۱۳۸۳-۱۳۹۳ را نمایش می‌دهد.



شکل ۶- تغییرات شاخص‌های GRI، SDI و SPI نسبت به زمان

همچنین در سطح فراتر از ۱ نیز معنی‌دار است و این ارتباط بالای دو شاخص هواشناسی و هیدروژئولوژیکی را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده در این قسمت از پژوهش با نتایج کار مندسینو و همکاران در سال ۲۰۰۸ و سیف و همکاران در سال ۲۰۱۲ مطابقت دارد. جدول ۸ خروجی ضریب همبستگی پیرسون با استفاده از نرم‌افزار SPSS را نمایش می‌دهد.

با توجه به اینکه شاخص‌های SPI و GRI از طریق اختلاف بین داده‌ها (داده‌های بارندگی یا حجم ذخیره آبخوان) با میانگین و تقسیم کردن بر انحراف معیار محاسبه شده‌اند، مقادیر ضریب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس زمانی سالانه با میانگین حجم ذخیره آب زیرزمینی و شاخص GRI در همان مقیاس زمانی سالانه محاسبه شد. بررسی‌ها نشان داد که ضریب همبستگی بین شاخص SPI و GRI در مقیاس زمانی سالانه برابر با ۰/۷۸/۴ می‌باشد.



جدول ۸- خروجی ضریب همبستگی پیرسون بین GRI و SPI از نرم افزار Spss

Correlations			
		SPI	GRI
SPI	Pearson Correlation	1	.784**
	Sig. (2-tailed)		0.007
	N	10	10
GRI	Pearson Correlation	.784**	1
	Sig. (2-tailed)	0.007	
	N	10	10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

۱ نیز معنی دار است و این ارتباط بالای دو متغیر GRI و SDI را نشان می دهد. جدول ۹ خروجی ضریب همبستگی پیرسون با استفاده از نرم افزار spss را نمایش می دهد.

برای شاخص های GRI و SDI نیز ضریب همبستگی در مقیاس زمانی سالانه محاسبه شد. بررسی ها نشان می دهد که ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص های GRI و SDI در مقیاس زمانی سالانه برابر با ۰/۹۶۶ می باشد و در سطح فراتر از

جدول ۹- خروجی ضریب همبستگی پیرسون بین SDI و GRI از نرم افزار Spss

Correlations			
		GRI	SDI
GRI	Pearson Correlation	1	.966**
	Sig. (2-tailed)		0
	N	10	10
SDI	Pearson Correlation	.966**	1
	Sig. (2-tailed)	0	
	N	10	10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

مشخص شده است تغذیه این چشمه تنها به بارش های سطح تاقدیس پابده (حوضه میزبان چشمه) بستگی ندارد و بخش مهم تغذیه این چشمه از تاقدیس مجاور می باشد (کلانتری و همکاران، ۲۰۱۶). با استناد به این موضوع، در این پژوهش دبی چشمه به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است و به بررسی تأثیرات بارش در سطح حوضه آبرگیر چشمه بر روی هیدروگراف آن پرداخته شده است. جدول ۱۰ ویژگی های بارشی چشمه بی بی تلخون را در دوره آماری منتخب نشان می دهد.

تحلیل هیدروگرافها

تحلیل هیدروگراف، یکی از پیچیده ترین مسائل در تحقیقات منابع آب بوده و برآورد آن در ارزیابی خصوصیات جریان حداقل برای استفاده در آبرسانی، مدیریت آب و آلودگی امری حیاتی است. شکل و نرخ فرود هیدروگراف یک چشمه می تواند اطلاعات مهمی در مورد ذخیره و خصوصیات ساختاری یک آبخوان کارستی ارائه دهد. در حقیقت هیدروگراف یک چشمه، انعکاسی از پاسخ آبخوان نسبت به تغذیه می باشد (محمدی بهزاد و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به بررسی های صورت گرفته در ارتباط با چشمه بی بی تلخون

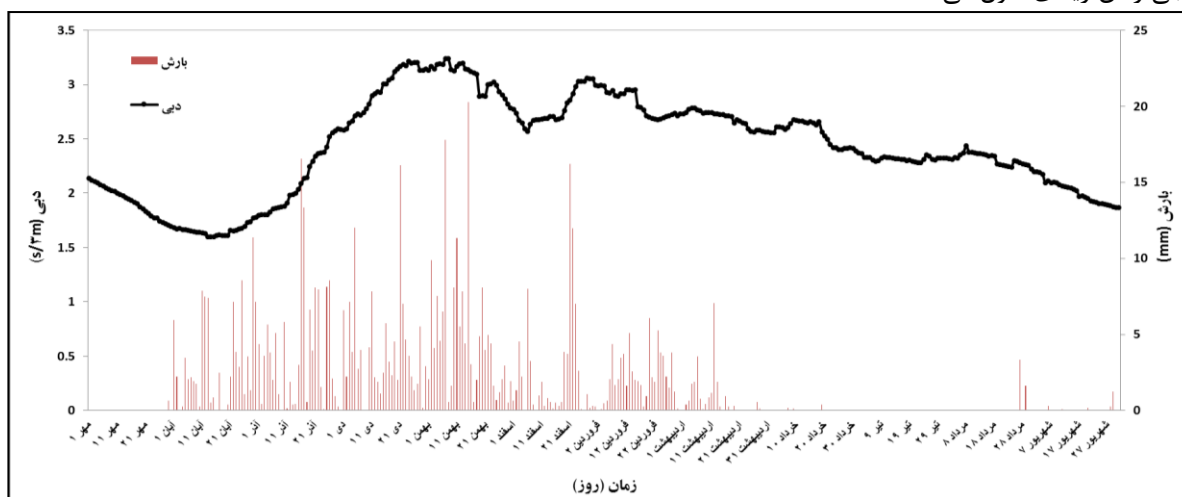


جدول ۱۰- ویژگی‌های بارشی چشمه‌ی بی‌بی تلخون

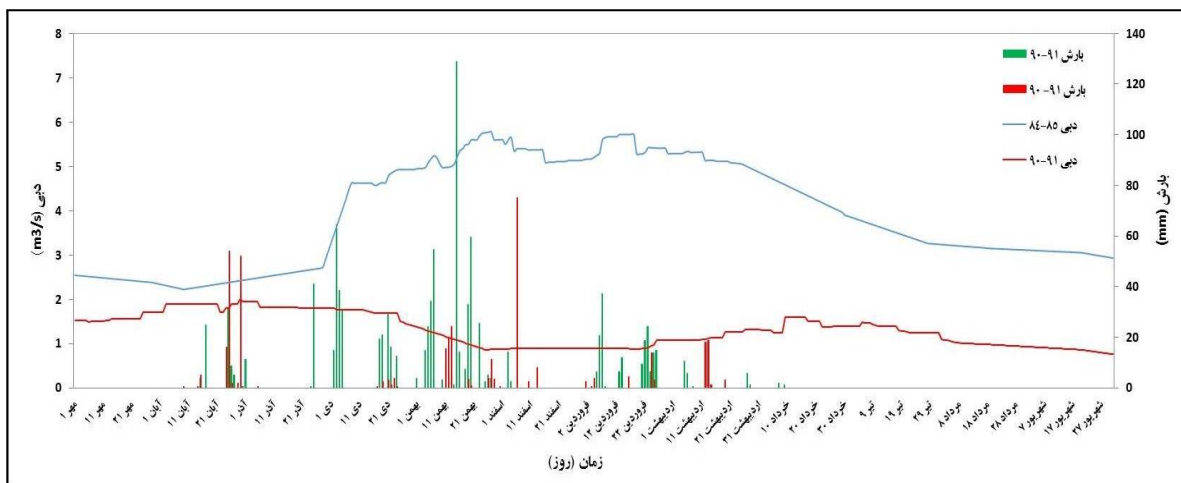
سال آبی	بارش سالانه	پربارش‌ترین ماه (mm)	کم بارش‌ترین ماه (mm)
۱۳۸۳-۱۳۸۴	۱۰۲۰/۱	اسفند ۱۹۲	مهر، تیر، مرداد، شهریور
۱۳۸۴-۱۳۸۵	۱۰۰۳/۳۵	دی ۱۹۹/۵	مهر، خرداد، تیر، مرداد، شهریور
۱۳۸۵-۱۳۸۶	۷۳۰/۹۴۹	آذر ۱۴۳/۵	مهر، تیر، مرداد، شهریور
۱۳۸۶-۱۳۸۷	۴۶۴/۱۳۴	آذر ۱۴۴/۵	مهر، خرداد، تیر، مرداد، شهریور
۱۳۸۷-۱۳۸۸	۵۱۴/۶۴	بهمن ۱۰۰	مهر، خرداد، تیر، مرداد، شهریور
۱۳۸۸-۱۳۸۹	۵۱۳/۷۷	آذر ۱۳۷	مهر، خرداد، تیر، مرداد، شهریور
۱۳۸۹-۱۳۹۰	۶۲۸/۹۳	بهمن ۱۹۱/۷	مهر، خرداد، تیر، مرداد، شهریور
۱۳۹۰-۱۳۹۱	۳۸۱/۴۸	آبان ۱۰۶/۵	مهر، تیر، مرداد، شهریور
۱۳۹۱-۱۳۹۲	۶۹۳/۰۹	آذر ۱۶۳/۵	خرداد، تیر، مرداد، شهریور
۱۳۹۲-۱۳۹۳	۶۳۷/۵۰	دی ۱۴۶	مهر، خرداد، تیر، شهریور

در شکل ۷ هیدروگراف میانگین ۱۰ ساله دبی چشمه‌ی بی‌بی تلخون و در شکل ۸ هیدروگراف دبی سال‌های آبی ۸۵-۹۰-۹۱ به ترتیب به‌عنوان مرطوب‌ترین و خشک‌ترین سال آبی نشان داده شده است. آنچه در هر سه بازه زمانی مشابه است زمان تأخیر زیاد دبی چشمه بی‌بی تلخون در پاسخ به بارش‌ها است و این به خاطر آن است که بخش مهمی از بارش‌ها در منطقه دور دست حوضه آبرگیر چشمه (تاق‌دیس کارستی مجاور) اتفاق می‌افتد و تا رسیدن این آب‌ها به نقطه خروجی زمان زیادی طول می‌کشد.

مقایسه هیدروگراف سال آبی ۸۵-۸۴ و ۹۱-۹۰ با هیدروگراف میانگین ۱۰ ساله چشمه تأثیر خشک‌سالی رو به خوبی نشان می‌دهد. بر این اساس در سال آبی ۸۴-۸۵ به دلیل بالا بودن حجم بارش‌ها در سطح حوضه آبرگیر چشمه بی‌بی تلخون، آبدهی آن در بیشترین مقدار خود قرار دارد ولی در مقابل در سال آبی ۹۰-۹۱ حجم تخلیه به شدت کاهش پیدا کرده است و حتی نوسانات آن کمتر از میانگین دراز مدت و سال آبی ۸۵-۸۴ می‌باشد.

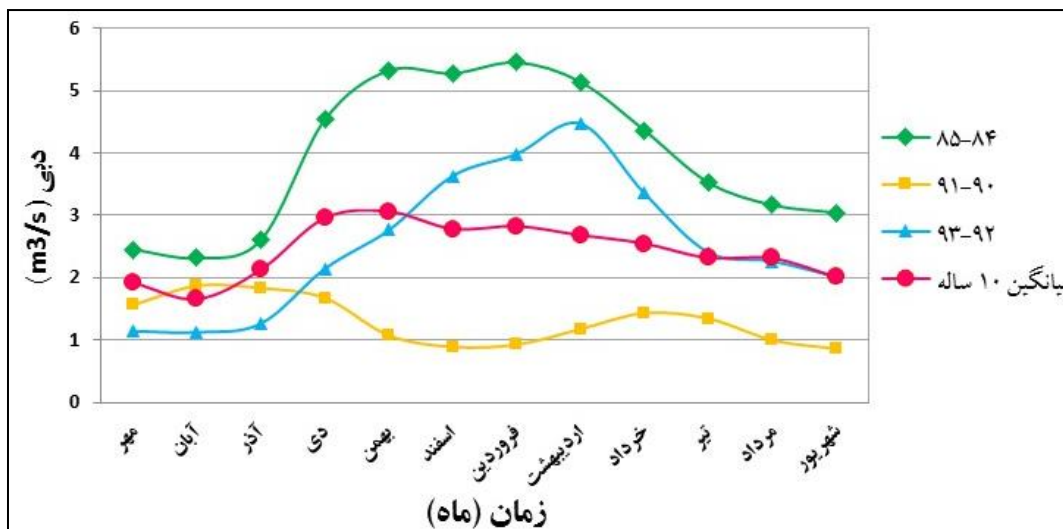


شکل ۷- هیدروگراف میانگین ۱۰ ساله دبی چشمه‌ی بی‌بی تلخون



شکل ۸- هیدروگراف دبی چشمه‌ی بی‌بی‌تلخون در سال‌های آبی ۸۴-۸۵ و ۹۰-۹۱

شکل ۹ هیدروگراف سال ۸۴-۸۵، ۹۰-۹۱ و ۹۲-۹۳ با هیدروگراف میانگین ۱۰ ساله را نشان می‌دهد. بررسی هیدروگراف‌ها نشان می‌دهد که دبی سال ۸۴-۸۵ به ترتیب نسبت به میانگین ۱۰ ساله و سال ۹۲-۹۳، به ترتیب ۶۱٪ و ۵۴٪ افزایش داشته است. همچنین میزان دبی سال ۹۰-۹۱ به ترتیب نسبت به میانگین ۱۰ ساله و سال ۹۳-۹۲، به ترتیب ۴۶٪ و ۴۹٪ کاهش یافته است.



شکل ۹- هیدروگراف دبی چشمه‌ی بی‌بی‌تلخون در سال‌های آبی ۸۴-۸۵، ۹۰-۹۱، ۹۲-۹۳ و میانگین ۱۰ ساله

میزان افزایش و کاهش دبی چشمه بی‌بی‌تلخون و ایستگاه هواشناسی سد شهید عباسپور را نشان می‌دهد. آبدهی چشمه در سال ۸۴-۸۵ نسبت به میانگین ۱۰ ساله و سال ۹۳-۹۲ و سال ۹۲-۹۳ به ترتیب ۵۲٪ و ۵۷٪ بوده است. همچنین کاهش بارش سال ۹۰-۹۱ نسبت به میانگین ۱۰ ساله و سال ۹۲-۹۳ به ترتیب ۴۲٪ و ۴۰٪ بوده است. جدول ۱۱

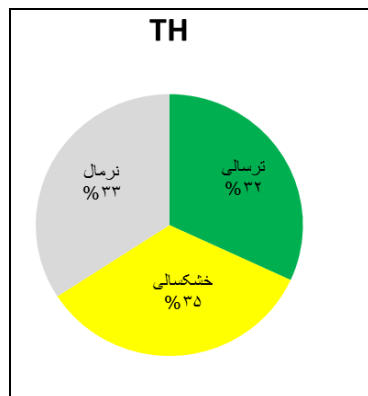
داشته است. همچنین آبدهی این چشمه در سال ۹۰-۹۱ ۳۵/۷۲ و ۳۹/۴۹ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. نسبت به میانگین ۱۰ ساله و سال نرمال ۹۲-۹۳ به ترتیب

جدول ۱۱- نوسانات دبی چشمه بی‌بی تلخون و بارش ایستگاه مورد مطالعه

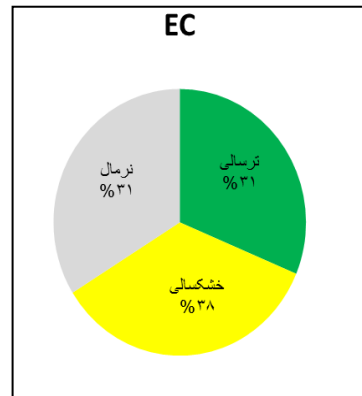
چشمه	افزایش دبی	افزایش دبی	کاهش دبی	کاهش دبی	افزایش دبی	کاهش بارش	کاهش بارش
افزایش دبی	افزایش دبی	کاهش دبی	کاهش دبی	افزایش بارش	افزایش بارش	کاهش بارش	کاهش بارش
۸۴-۸۵ نسبت	۸۴-۸۵ نسبت	۹۰-۹۱ نسبت	۹۰-۹۱ نسبت	۸۴-۸۵ نسبت	۸۴-۸۵ نسبت	۹۰-۹۱ نسبت	۹۰-۹۱ نسبت
به میانگین	به میانگین	به میانگین	به میانگین	به میانگین	به میانگین	به میانگین	به میانگین
۱۰ ساله	۱۰ ساله	۱۰ ساله	۱۰ ساله	۹۲-۹۳	۹۲-۹۳	۹۲-۹۳	۹۲-۹۳
%۶۱	%۵۴	%۴۶	%۴۹	%۵۲	%۵۷	%۴۲	%۴۰

این نمودارها بر اساس شاخص SPI مورد ارزیابی قرار داده شد و شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان‌دهنده میزان EC و TH در طی دوره آماری برحسب درصد می‌باشند. در جدول ۱۲ میزان EC و TH نسبت به میانگین ده ساله نمایش داده شده است.

بررسی تأثیر خشک‌سالی و ترسالی بر کیفیت چشمه
در مطالعات کیفی منابع آب جهت اهداف مختلف، همچون تعیین مقادیر و نوع عناصر محلول در آب از اهمیت خاصی برخوردار است. به منظور ارزیابی تغییرات EC و TH نمودارهای دایره‌ای شکل در طی دوره آماری رسم شد.



شکل ۱۱- تغییرات TH در طی دوره آماری



شکل ۱۰- تغییرات EC در طی دوره آماری

جدول ۱۲- میزان EC و TH نسبت به میانگین ده ساله (۱۳۸۳-۱۳۹۳)

وضعیت	EC ($\mu\text{mho/cm}$)	TH (mg/l)
ترسالی	۸۵۰/۲۱	۲۷۰/۲۷
خشک‌سالی	۹۴۶/۷۵	۲۸۷/۷۳
نرمال	۹۲۰/۲۴	۲۸۹/۵۱
میانگین ده ساله	۹۱۳/۶۸	۲۸۵/۴۸



نتیجه گیری

بر اساس تقسیم بندی مینزر، چشمه‌ی بی‌بی تلخون در مرتبه ۲ قرار دارد و جزو چشمه‌های با آبدهی دائمی محسوب می‌شود. با این حال آبدهی این چشمه تحت تأثیر رژیم‌های بارشی در سطح حوضه آبریزش می‌باشد. به منظور بررسی تأثیر نوسانات بارشی و رخداد ترسالی و خشک‌سالی‌های ۱۰ سال آبی ۸۴-۸۳ الی ۹۳-۹۲ بر آبدهی چشمه‌ی کارستی بی‌بی تلخون ابتدا از شاخص‌های SDI، SPI و GRI استفاده گردید. بر اساس این شاخص‌ها، سال آبی ۸۴-۸۵ به‌عنوان ترسالی شدید، سال آبی ۹۱-۹۰ خشک‌سالی شدید و سال آبی ۹۳-۹۲ به‌عنوان یک سال نرمال مشخص گردید. مقایسه هیدروگراف‌های دبی چشمه بی‌بی تلخون در بازه زمانی ۱۰ ساله نشان می‌دهد که در سال آبی ۸۴-۸۵ به دلیل بالا بودن حجم بارش‌ها در سطح حوضه آبریز چشمه آبدهی آن در بیشترین مقدار خود قرار دارد و یک شرایط ترسالی واقعی بر تغذیه چشمه حاکم بوده است و در مقابل در سال آبی ۹۱-۹۰ با کاهش حجم قابل ملاحظه بارش‌ها حجم آب تخلیه‌ای از چشمه به‌شدت کاهش پیدا کرده است و این خشک‌سالی شدید نقش مهمی در تغذیه چشمه بی‌بی تلخون داشته است، به‌طوری که

نوسانات دبی چشمه کمتر از میانگین درازمدت و سال آبی ۸۵-۸۴ بوده است. همچنین بررسی هیدروگراف‌ها حاکی از این است که دبی سال ۸۴-۸۵ به ترتیب نسبت به میانگین ۱۰ ساله و سال نرمال ۹۳-۹۲، به ترتیب ۶۱٪ و ۵۴٪ (۳۱/۴۷ و ۵۵/۴۳ میلیون مترمکعب) افزایش داشته است. همچنین میزان دبی سال ۹۱-۹۰ به ترتیب نسبت به میانگین ۱۰ ساله و سال نرمال ۹۳-۹۲، به ترتیب ۴۶٪ و ۴۹٪ (۷۲/۳۵ و ۴۹/۳۹ میلیون مترمکعب) کاهش یافته است که این امر حاکی از تأثیرپذیری چشمه‌ی بی‌بی تلخون از وقوع نوسانات بارشی و وقوع ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها می‌باشد. کیفیت آب چشمه‌ی بی‌بی تلخون نیز نسبت به رخدادهای خشک‌سالی و ترسالی واکنش نشان داده و تأثیر کمبود بارش‌ها و افزایش آن‌ها را در طول دوره مورد مطالعه به‌خوبی نشان می‌دهد. طبق نتایج به دست آمده از این بررسی‌ها میزان EC و TH در سال‌های خشک‌سالی بیشتر از میزان میانگین ده ساله است. در مقابل، در سال‌های ترسالی مقادیر EC و TH کمتر از میزان میانگین ده ساله است. در سال‌های نرمال نیز این مقادیر به میانگین ده ساله نزدیک هستند.

منابع

محمدی بهزاد، ح.ر.، چرچی، ع. و کلانتری، ن.، ۱۳۹۴، بررسی رفتار هیدروژئولوژیکی چشمه کارستی سبزاب، شمال شرق استان خوزستان. فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۵، ص: ۱۹-۱۰.

مرادی، ح.ر.، سپهوند، ع.ر.، خزایی، م.، ۱۳۸۸، ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک با استفاده از شاخص SPI اصلاح شده و SDI (مطالعه موردی: حوزه شهر خرم‌آباد)، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، کرج، انجمن آبخیزداری ایران.

مفیدی پور، ن.، بردی‌شیخ، و.، اونق، م.، ۱۳۹۰، بررسی رابطه خشک‌سالی هواشناسی و هیدروژئولوژیکی در حوزه آبخیز اترک، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۳(۵): ص ۲۵-۱۶.

محمدی بهزاد، ح. ر.، ۱۳۹۵، بررسی منابع تغذیه آبخوان‌های کارستی شمال شرق خوزستان با استفاده از پارامترهای فیزیکی-شیمیایی و ایزوتوپ‌های پایدار (^{18}O و ^2H). رساله دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.

باقری سیدشکری، س.، صفرراد، ط.، ویسی، ع.، رضائی، ی.، ۱۳۹۱، بررسی و شناخت روند تأثیرگذاری ترسالی‌ها بر نوسانات چشمه‌های کارستی (مطالعه موردی: چشمه‌ی کارستی گیلان غرب)، چهارمین همایش علمی سراسری دانشجویی جغرافیا، تالار اندیشمندان علوم انسانی.

بذرافشان، ج.، ۱۳۸۹، کاربرد مدل‌های لوگ-خطی در تحلیل انتقال طبقات خشک‌سالی شاخص بارش استاندارد (SPI) در ایستگاه‌های هواشناسی قدیمی ایران طی قرن بیستم، پژوهش آب ایران، سال چهارم، شماره هفتم، ص ۱۱۸-۱۰۹.

کلانتری، ن.، محمدی بهزاد، ح.ر.، چرچی، ع.، کشاورزی، م.ر.، ۱۳۹۰، چشمه‌های کارستی به‌عنوان ساده‌ترین ابزار برای تعیین خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی (مطالعه موردی: چشمه‌ی بی‌بی تلخون، استان خوزستان)، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲، ص: ۱۰۰-۹۰.

- Ayvaz, T., 2009. Application of Harmony Search algorithm to the solution of groundwater management models. *Advances in Water Resources*. 32: 916–924.
- Azizi, G., 2004. Relationship of Last Drought and Ground Water Resource in Qazvin Plain. *Geographical Research*. 46: 131-143.
- Ekrami, M., M. R. Ekhtesasi., and H. Malekinezhad., 2013. The Effects and Consequences of Climatic Drought on Time Delay and the Change in Water Discharge of Springs and Qanats (Yazd-Ardakan Plain). *Iranian-Water Resources Research*. 9 (2): 19-26.
- Fiorillo, F., Esposito, L., Guadagno, F., 2007. Analyses and forecast of water resources in an ultra-centenarian spring discharge series from Serino (Southern Italy)". *Journal of Hydrology*. 336: 125–138.
- Gondwe, B., Alonso, G., Gottwein, G., 2011. The influence of conceptual model uncertainty on management decisions for a groundwater-dependent ecosystem in karst. *Journal of Hydrology*. 400: 24–40.
- Kalantari, N., Charchi, A., Mohamadi Behzad, H.R., Nadri, A., 2016. Bibitalkhone and Gariveh Springs paradox symbol of Pabdeh karstic anticline in southwest Iran. *Arabian Journal of Geosciences*. 4: 152-159.
- Khan, S., H. F. Gabriel., and T. Rana., 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. *Irrigation & Drainage Systems*. 22 (2): 159-177.
- Meinzer, O.E., 1923a. The occurrence of ground water in the United States with a discussion of principles. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 489, Washington, DC.
- Medicino, G., A. Senatore., and P. Versace., 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*. 357 (3): 282-302.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, In Proc. 1th Conf, January 02-00 Climatology, American Meteorological Society, Massachusetts. 2: 12-20.
- Mudarra, M., Andreo, B., 2011. Relative importance of the saturated and the unsaturated zones in the hydrogeological functioning of karst aquifers: The case of Alta Cadena (Southern Spain). *Journal of Hydrology*. 397: 263–280.
- Naderianfar, M., H. Ansari, A. Ziaie., and K. Davari., 2010. Evaluating the Ground Water Level Fluctuations under Different Climatic Condition in the Basin Neyshabour. *Irrigation & Water Engineering*. (3): 21-37.
- Naderianfar, M., and H. Ansari., 2011. Effects of Drought Rate-Duration in Multi-Time Scale on Ground Water Levels Change (Neyshabor Plain). *Water Resource Engineering*. (4): 1-15.
- Nalbantis, I., 2008. Evaluation of a hydrological drought index. *Eur Water*. 23(24): 67-77.
- Nalbantis, I., and Tsakiris, G., 2009. Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*. 23(5): 881-897.
- Nico, W., A.J. Van Lanen and A.F. Loon., 2010. Indicators for drought characterization on a global scale. Wageningen, Netherlands, *Water and Global Change*. 24: 80-93.
- Report of World Meteorological Organization., 2012. Standardized Precipitation Index User Guide. WMO-NO. 1090.
- Seif, M., H. Mohammadzade and A. Mosaedi., 2012. Assess the impact of drought on groundwater resources in Fasa aquifer using Standardized Precipitation Index. A measure of electrical conductivity of groundwater resources. *Journal of Water Resources*. 5: 45-59.
- Vicente-Serrano, S. M., and J. I. López-Moreno., 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 9 (5): 523-533.