

## چشمه‌های کارستی به عنوان ساده‌ترین ابزار برای تعیین خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی، مطالعه موردی چشمه بی‌بی تلخون، استان خوزستان

نصراله کلانتری، حمیدرضا محمدی بهزاد، عباس چرچی، محمدرضا کشاورزی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۰/۴/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۳

hmbehzad@yahoo.com

### چکیده

چشمه کارستی بی‌بی تلخون با متوسط تخلیه سالانه بیش از  $1/5 \text{ m}^3/\text{s}$  یکی از بزرگترین چشمه‌های کارستی استان خوزستان به حساب می‌آید. موقعیت ظهور چشمه بی‌بی تلخون در کمر شکسته تاقدیس پایده و در راستای زون خرد شده حاصل از عملکرد گسل خمشی جبهه کوهستان در جناح چپ رودخانه تالوگ قرار دارد. به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی تغذیه کننده چشمه فوق از روش ساده هیدروگراف تخلیه استفاده شده است. تجزیه و تحلیل هیدروگراف تخلیه چشمه بی‌بی تلخون در سال آبی ۸۸-۸۷ نشان می‌دهد که یک حوضه کارستی برفگیر با رژیم تغذیه برفی - بارانی نقش مهمی در تغذیه چشمه در سرتاسر سال دارد. تغذیه از رژیم برفی - بارانی سایر خصوصیات هیدرودینامیکی مخزن چشمه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، و اثر آن در فصل خشک به وضوح قابل مشاهده است.

**کلمات کلیدی:** چشمه کارستی بی‌بی تلخون، هیدروگراف تخلیه، حوضه کارستی برفگیر، رژیم تغذیه

### مقدمه

فروکش می‌توان با هزینه کمتر در رابطه با خصوصیات سفره آبدار کارستی اظهار نظر نمود (Kovacs et al., 2005). به ویژه شکل و نرخ افت منحنی فروکش اطلاعات با ارزشی را از خصوصیات هیدرودینامیکی و هیدروژئولوژیکی آبخوان زهکش شده توسط چشمه فراهم می‌کند. حتی با اینکه رویهم رفته ممکن است شکل منحنی‌های فروکش (شیب تخلیه) در یک چشمه معمولاً به هم شبیه باشد، اما با این حال از یک آبخوان (یا یک چشمه) به آبخوان (یا چشمه) دیگر متفاوت است. همچنین با استفاده از تجزیه و تحلیل هیدروگراف چشمه‌های کارستی می‌توان نوع جریان (افشان یا مجرای)، سهم هر نوع جریان، نوع و حجم آب ورودی، رژیم تغذیه (بارانی یا برفی) و حتی روند تغذیه یک چشمه کارستی را تعیین نمود. در این تحقیق قصد بر این است تا با استفاده از تجزیه و تحلیل هیدروگراف تخلیه چشمه کارستی بی‌بی تلخون یکی از بزرگترین چشمه‌های کارستی استان خوزستان، علاوه بر تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی، محاسبه ذخیره دینامیک و تعیین نوع جریان آبخوان کارستی چشمه، نوع آب‌های ورودی، رژیم تغذیه و روند تغذیه آن مورد بررسی قرار گیرد.

چندین دهه است که هیدروژئولوژیست‌ها در مراحل تحقیقاتی خود چه در داخل از جمله کرمی، (۱۳۷۲)، کریمی (۱۳۸۰)، کریمی وردنجانی (۱۳۸۴)، ریاحی‌پور و کلانتری (۱۳۸۷)، چیت‌سازان و همکاران (۱۳۸۷)، صاحب‌دل (۱۳۸۸)، شبان (۱۳۹۰) و چه در مجلات معتبر خارجی از جمله (Dreiss (1983), Raesi and Karami (1997), Bonacci (2001), Dewandel et al. (2003), Desmarais and Rojstaczer (2002), Panagopoulos and Lambrakis (2006), Karimi et al. (2005a,b), Tobias et al (2008), Raesi (2008), Fleury et al (2007), Long (2009), Fiorillo (2009), Birk and Hergarten (2010) از تجزیه و تحلیل هیدروگراف و منحنی‌های فروکش برای تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان‌های کارستی کمک گرفته‌اند. هرچند که داده‌های به دست آمده از بررسی‌های صحرایی و هیدروژئولوژیکی کلاسیک، آزمایشات ردیابی، مشاهدات ژئوفیزیکی و غارشناسی، اطلاعاتی در مورد خصوصیات هندسی و هیدرولیکی سیستم‌های کارستی ارائه می‌نمایند، اما در بیشتر موارد با استفاده از داده‌های سری زمانی هیدروگراف تخلیه چشمه و منحنی‌های

## روش کار

ابتدا آمار دبی چشمه بی‌بی‌تلخون که با استفاده از دستگاه مولینه نوع گارلی ۶۲۲، توسط متصدی سازمان آب و برق خوزستان به صورت ماهیانه اندازه‌گیری شده است و همینطور اشل آن که برای سال آبی ۸۸-۸۷ به صورت روزانه توسط افراد محلی قرائت شده، از سازمان مذکور تهیه گردید. سپس با استفاده از نمودار دبی-اشل میزان آبدی چشمه برای مقادیر قرائت شده اشل به صورت روزانه به دست آمد. در مرحله بعد جهت تعیین حجم ذخیره دینامیک، نوع جریان و سایر خصوصیات تغذیه‌ای چشمه کارستی بی‌بی‌تلخون، هیدروگراف تخلیه چشمه با استفاده از دبی روزانه آن ترسیم گردید.

## وضعیت هیدروژئولوژیکی و زمین شناسی عمومی منطقه

## مورد مطالعه

موقعیت ظهور چشمه بی‌بی‌تلخون در ۱۵۰ کیلومتری شمال شرق اهواز، ۳۰ کیلومتری شرق شهر لالی در شمال شرق استان خوزستان قرار دارد. این منطقه در زون زاگرس چین‌خورده ساده واقع شده است. سازندهای زمین‌شناسی این منطقه به ترتیب کاهش سن شامل سازند کزدمی با لیتولوژی مارن، شیل و آهک‌های مارنی (آلبین-سنومنین)، سازند کارستی ایلام-سروک با لیتولوژی آهک (آلبین-سانتوین)، شیل و مارن‌های پابده-گورپی (کامپانین-لیگوسن)، آهک و دولومیت سازند آسماری (پالئوسن-میوسن)، سازند گچساران با لیتولوژی مارن، ژپس/انیدریت و هالیت (میوسن آغازی)، شیل و مارن میشان (میوسن آغازی-میانی)، سیلستون و ماسه سنگ‌های آجاجاری (میوسن-پلیوسن پایانی)، سازند کنگلومرای بختیاری (پلیوسن پایانی-پلیستوسن) و رسوبات آبرفتی عهد حاضر می‌باشند (شکل ۱). جزئیات لیتولوژی این سازندها توسط درویش زاده (۱۳۸۳) و آقایی (۱۳۸۵) شرح داده شده‌اند. مهم‌ترین تاقدیس‌های حاوی آب در منطقه مورد مطالعه تاقدیس‌های پابده و شیرگون می‌باشند. هر دو تاقدیس دارای روند NW-SE همراستا با روند عمومی رشته کوه‌های زاگرس، یک تاقدیس دو سو مایل نامتقارن می‌باشند که دماغه شمال‌غربی آنها با دماغه جنوب‌شرقی تاقدیس‌های بالا دست آنها در هم آمیخته است. هسته تاقدیس پابده از سازند آهکی-دولومیتی آسماری تشکیل شده است. ضخامت این سازند در منطقه مورد مطالعه حدود ۳۰۰ متر بوده که توسط سازند نفوذناپذیر پابده در زیر و سازندهای نفوذناپذیر گچساران به صورت یک نوار باریک در یال جنوبی و آجاجاری در یال شمالی از جوانب محصور شده است. در حالیکه هسته تاقدیس شیرگون از سازند آهکی ایلام-سروک تشکیل شده که توسط دو سازند نفوذناپذیر کزدمی در زیر و پابده-گورپی در بالا محصور شده است.

مهم‌ترین سیمای تکتونیکی در منطقه مورد مطالعه گسل راستالغز چپ-بر بالا رود است که یکی از گسل‌های اصلی و بنیادین در کمربند زاگرس چین‌خورده ایران می‌باشد. این سامانه گسلی، نقش اساسی در ایجاد پیچیدگی‌های زمین‌شناسی ساختمانی و چینه‌شناسی محدوده مورد مطالعه ایفا نموده است. مهم‌ترین شواهد سینماتیکی این زون برشی عبارت است از: ایجاد چین‌های پوششی، افزایش ارتفاع پلانچ تاقدیس پابده در حدود ۳۵۰ متر نسبت به محل

ظهور چشمه بی‌بی‌تلخون، بریدن و فرسایش هسته تاقدیس‌های مسبر و تشکیل دره‌ها و تنگه‌ها کارستی، تشکیل آبخوان‌های کارستی که سطح حوضه‌آبگیر آنها دارای افزایش و یا کاهش سطح می‌باشند، خرد شدگی‌های فراوان در دماغه تاقدیس‌های مسبر، تشکیل گسل‌هایی مانند گسل‌های عرضی و مورب امتدادلغز و مجموعه راندگی‌هایی مانند پابده و شیرگون. گسل‌های امتدادلغز عرضی و مورب نقش مهمی در شکل‌گیری کانال‌های زیرزمینی داشته و بین آبخوان‌هایی که دارای افزایش و کاهش سطح هستند، موازنه آبی برقرار می‌کنند. راندگی پابده نیز یک راندگی پنهان (کور) بوده که با روند عمومی شمال غرب-جنوب شرق بر محل خمش جبهه کوهستان منطبق می‌باشد و مهم‌ترین نقش هیدروژئولوژیکی آن، ظهور چشمه‌های کارستی بی‌بی‌تلخون و گریوه در یک راستای خطی است. علاوه بر آن، اثرات عملکرد این گسل موارد زیر را نیز به دنبال داشته است: ایجاد یک زون گسله شدیداً خرد شده و تغییر ناگهانی شیب لایه‌ها در موقعیت ظهور چشمه مذکور، ایجاد شکستگی‌هایی به خصوص از نوع طولی که نقش مهمی در جهت دهی به جریان آب و توسعه آبخوان کارستی ادیو ایفا می‌نمایند و ایجاد سد در برابر آب‌هایی که از نقاط دور دست به سمت این بخش از منطقه در جریان هستند. عملکرد ساختاری و هیدروژئومورفولوژیکی راندگی شیرگون نیز همانند راندگی پابده است. بطوریکه نقش اساسی در ظهور چشمه‌هایی مانند دره تینا و شاهزاده عبدالله، کنترل جهت جریان آب زیرزمینی، ایجاد خردشدگی و شکستگی‌های فراوان و در نتیجه توسعه کارستی شدن به خصوص در آبخوان‌های یال جنوب غربی تاقدیس مذکور ایفا نموده است. همچنین علاوه بر چشمه‌های نامبرده، سیمای کارستی مهم دیگری نظیر دره‌های خشک تکتونیکی، غارهای کوچک، دولین‌ها، شافت‌های پنهان، کارن‌ها، گرایک‌ها و در تاقدیس‌های مذکور قابل مشاهده می‌باشند. از جمله مهم‌ترین سیمای کارستی منطقه، دره تکتونیکی کارستی تالوگ است که رودخانه فصلی تالوگ در آن جریان دارد. این دره تکتونیکی موجب جدایش سیستم یکپارچه کارستی منطقه به دو آبخوان کارستی مجزا به نام‌های ادیو و گریوه گردیده است. هر کدام از این آبخوان‌ها تنها یک خروجی دارند. چشمه گریوه در جناح راست رودخانه تالوگ با متوسط آبدی سالانه حدود  $0.115 \text{ m}^3/\text{s}$  و متوسط هدایت الکتریکی کمتر از ۵۰۰ میکرو موس بر سانتی‌متر نماینده آبخوان کارستی گریوه می‌باشد. چشمه بی‌بی-تلخون در نقطه مقابل چشمه گریوه و جناح چپ رودخانه تالوگ، با متوسط آبدی سالانه بیش از  $1/5 \text{ m}^3/\text{s}$  و متوسط هدایت الکتریکی بیش از ۱۰۰۰ میکرو موس بر سانتی‌متر دبی پایه رودخانه مذکور را تأمین می‌کند و مهم‌ترین تخلیه‌کننده سیستم کارستی ادیو و کل تاقدیس پابده می‌باشد. سطح آگیری کل سیستم ادیو حدود ۹۱ کیلومتر مربع است که حدود ۷۲ کیلومتر مربع از آن می‌تواند در آبدی چشمه مشارکت داشته باشد. بارندگی‌ها در سطح این حوضه کارستی از اواخر فصل پاییز شروع شده و تا اواسط بهار ادامه می‌یابد. متوسط بارندگی سالانه این حوضه بر اساس رابطه ارتفاع-بارندگی حدود ۵۸۷ میلی‌متر تخمین زده شده است. بنابراین حجم کل آبی که این حوضه کارستی دریافت می‌کند، از رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود:

هیدروژئولوژیکی به سمت چشمه انتقال یابد. همچنین بخش دیگر هم می‌تواند در امر تغذیه چشمه‌های پرآب تاقدیس‌های مجاور شرکت نماید.

### بحث و بررسی

### تجزیه و تحلیل هیدروگراف و منحنی فرود چشمه کارستی

#### بی‌بی تلخون

از آنجا که تمام آب عبوری از یک آبخوان کارستی به طور معمول از چشمه خارج می‌شود، بنابراین تجزیه و تحلیل تغییرات دبی در این چشمه‌ها و عوامل هیدروژئولوژیکی کنترل کننده وابسته به آنها می‌توانند منعکس کننده خصوصیات کل سیستم کارستی باشند و به ارزیابی ذخیره، پتانسیل زهکشی، درجه کارستی شدن کمک نماید (Samani and Ebrahimi, 1996). در شکل ۲ هیدروگراف تخلیه چشمه همراه با بارندگی منطقه مورد مطالعه برای سال آبی ۸۸-۸۷ بر اساس بده روزانه ترسیم شده است. این هیدروگراف شامل ۳ رژیم آبدی قبل از بارندگی، بارندگی و بعد از بارندگی و ۵ دوره فروکش می‌باشد. رژیم قبل از بارندگی، تنها یک دوره فروکش و رژیم‌های بارندگی و بعد از بارندگی، هر کدام ۲ دوره فروکش را به خود اختصاص می‌دهند. هر ۵ منحنی فروکش دارای ۲ ضریب فروکش (میکرورژیم آبدی)  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  می‌باشند. اختلاف این ضرایب فروکش با یکدیگر قابل ملاحظه است (جدول ۱). هر منحنی فروکش یک منحنی نیمه لگاریتمی است که در آن آبدی روزانه چشمه با مقیاس لگاریتمی در مقابل زمان ترسیم می‌شود. در شکل ۲ ضرایب فروکش به صورت خطوط مستقیم بر روی منحنی هیدروگراف نشان داده شده‌اند. شیب هر خط بیانگر نحوه تخلیه و رژیم‌های ویژه آبخوان است که این ضرایب از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

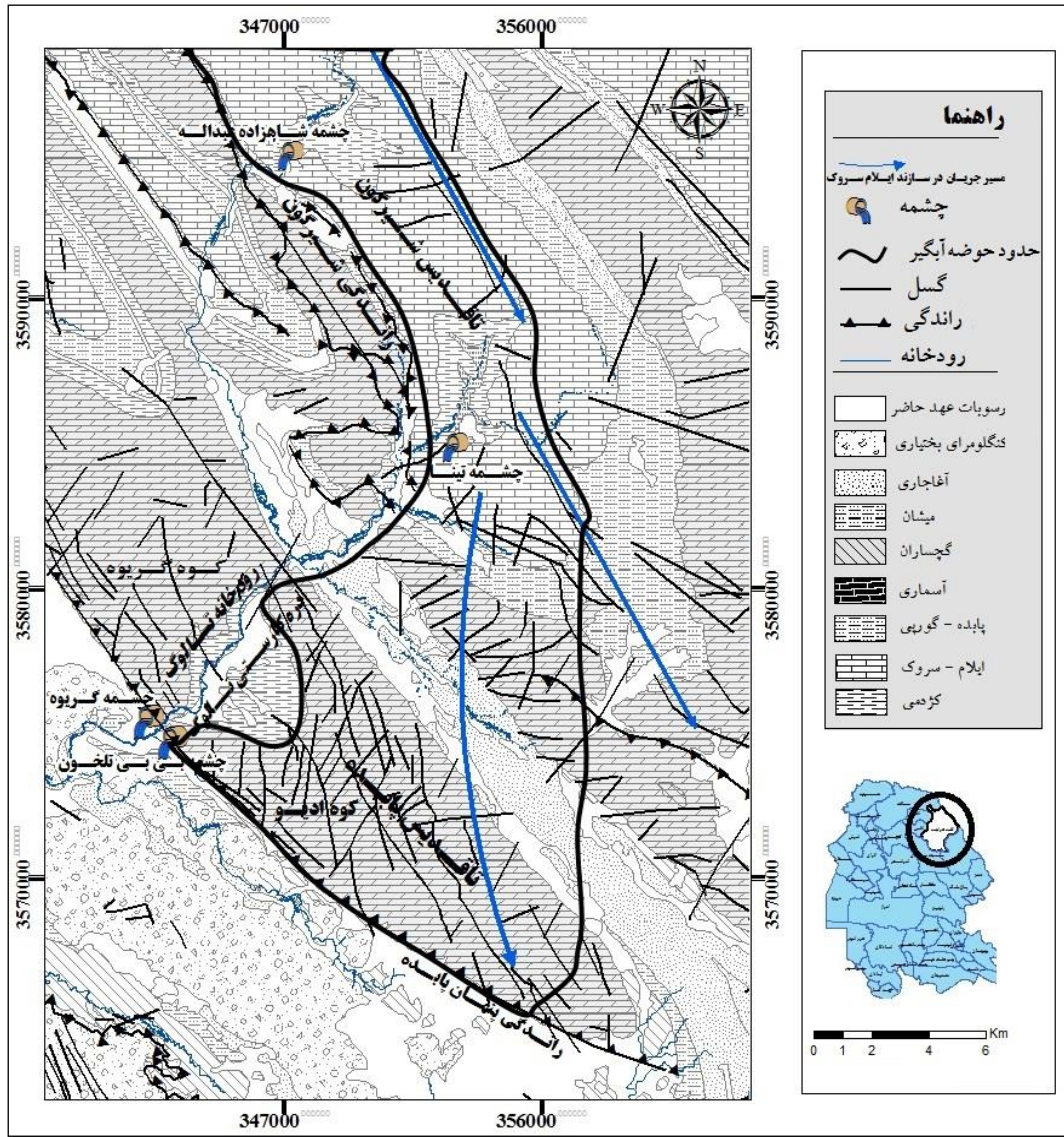
$$\alpha = (\log Q_2 - \log Q_1) / 0.434 t \quad (2)$$

$Q_1$  و  $Q_2$  (بر حسب متر مکعب بر ثانیه) به ترتیب آبدی در زمان‌های  $t_1$  و  $t_2$  می‌باشند. همانطور که هیدروگراف نشان می‌دهد، بیشترین نوسانات آبدی مربوط به رژیم بارندگی است. این مسئله به دلیل بارندگی‌هایی بوده که در این موقع از سال در سطح حوضه آبگیر چشمه رخ داده است. به طوریکه آبدی چشمه از حدود ۱/۵ متر مکعب بر ثانیه در پاسخ به بارندگی‌های روی داده در آذر ماه ۱۳۸۷ به افزایش تقریباً چشمگیری حدود ۳/۵ متر مکعب بر ثانیه در فروردین ماه ۱۳۸۸ می‌رسد. همچنین نقاط اوج اتفاق افتاده در رژیم‌های قبل و بعد از بارندگی از لحاظ میزان دبی بهم نزدیک، ولی از لحاظ شیب و مقادیر ضرایب فروکش  $\alpha_1$  با همدیگر اختلاف دارند (جدول ۱). در ذیل به تجزیه و تحلیل هیدروگراف در رژیم‌های مذکور پرداخته شده است.

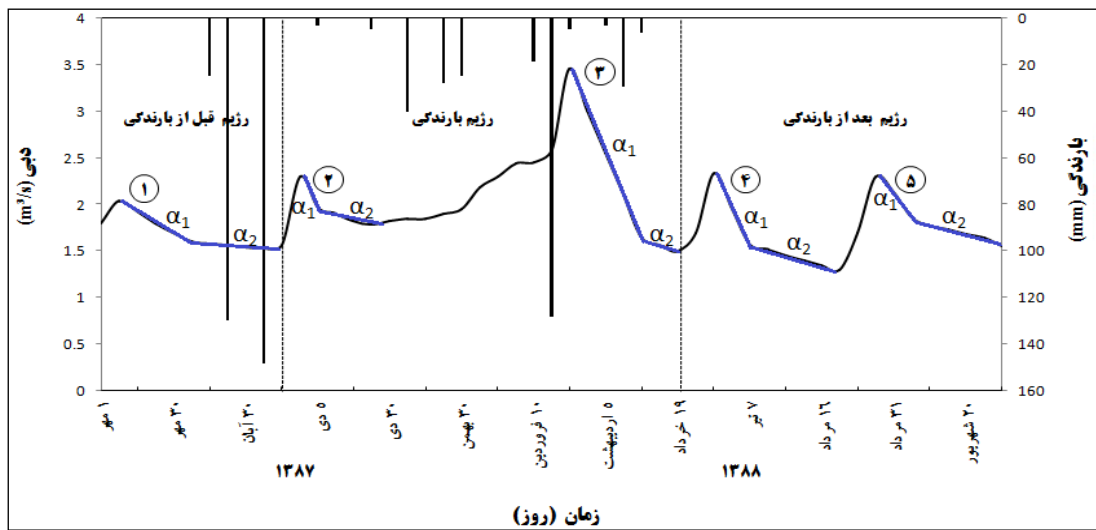
$$V = P.A.I \quad (1)$$

P متوسط بارش سالیانه، A مساحت سطح رخنمون دار سازند آسماری و I ضریب نفوذ می‌باشد. برای مناطق آهکی جنوبی ایران ضریب نفوذ ۴۶ درصد قابل قبول است (Rahneimai, 1994).

بر اساس این معادله، کل حجم آب دریافتی ناشی از بارندگی توسط سطح آبخوان کارستی ادیو در سال بیلان ۲۱/۱ میلیون متر مکعب می‌باشد. در حالیکه در ادامه نیز اشاره خواهد شد، بر اساس هیدروگراف چشمه بی‌بی تلخون (شکل ۲) و منحنی‌های فروکش آن (شکل‌های ۳- الف تا ۳- ث)، حجم آب تخلیه شده از آبخوان کارستی ادیو توسط چشمه در سال آبی ۸۸-۸۷ حدود ۶۷ میلیون متر مکعب می‌باشد. بنابراین آبخوان کارستی ادیو نمی‌تواند به تنهایی همه ذخیره چشمه را تأمین کند و بیش از دو سوم آب چشمه از یک منبع یا منابع دیگر تأمین می‌گردد. مهم‌ترین منبعی که می‌تواند نقش مهمی در امر تغذیه چشمه داشته باشد، تاقدیس شیرگون است. تنها مؤلفه ورودی به این تاقدیس بارندگی است. رخداد بارندگی‌های قابل ملاحظه به صورت برف و باران از یک سو و خردشدگی‌های شدید و درزه و شکاف‌های فراوان آهک‌های ایلام- سروک بدلیل عملکرد راندگی شیرگون از سوی دیگر شرایط را برای تشکیل آبخوان‌هایی با پتانسیل بالا فراهم نموده است. از سوی دیگر وجود عارضه‌ها و پدیده‌های زمین‌ریخت‌شناسی کارست مانند دره‌های خشک تاقدیسی و مزدوج با ساختارهای مثلثی مانند دره‌های تینا، چلویر، آب جاز و زمین لغزش‌هایی که در امتداد دره‌های مذکور اتفاق افتاده است همگی مؤید همین مطلب هستند. ولی با همه این تفاسیر هیچ تخلیه‌کننده مهمی برای این آبخوان‌ها وجود ندارد و تنها در امتداد دره‌های تینا و شاهزاده عبدالله تخلیه کم و فصلی از سازند ایلام- سروک صورت می‌گیرد. بطوریکه مجموع تخلیه سالانه چشمه‌های مذکور بین ۰/۴ تا ۰/۹ متر مکعب بر ثانیه متغیر است. با استفاده از معادله (۱)، حجم تخلیه چشمه‌های فصلی با توجه به متوسط مجموع آبدی آنها در سال آبی ۸۸-۸۷ (حدود ۰/۶۷ متر مکعب بر ثانیه) چیزی در حدود ۲۱/۱۹ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود. در حالیکه حجم آب ورودی در اثر بارندگی‌های سال آبی مذکور به آبخوان‌های کارستی شیرگون با توجه به سطح حوضه آبگیر قابل ملاحظه این آبخوان‌ها (حدود ۳۱۱ کیلومترمربع)، مقدار متوسط بارندگی ۹۴۱ میلی‌متر در سال آبی ۸۸-۸۷ و همین طور ضریب نفوذپذیری ۰/۵۵ (با توجه به خرد شدگی‌ها شدید و نوع بارش برف آن)، چیزی در حدود ۱۶۱ میلیون متر مکعب (معادل با دبی ۵/۱ متر مکعب بر ثانیه) تخمین زده می‌شود. از اینرو انتظار می‌رود که به منظور برقراری موازنه آبی آبخوان کارستی چشمه بی‌بی تلخون، بخشی از این آب طبق قاعده چرخه



شکل ۱. نقشه موقعیت و هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. هیدروگراف چشمه بی بی تلخون در سال آبی ۸۸-۸۷



جدول ۱. ضرایب فروکش و درصد جریان پایه و سریع چشمه بی‌تلخون

سال آبی	دوره‌های فروکش	طول دوره فروکش	ضرایب فروکش	مقدار ضرایب	درصد جریان پایه	درصد جریان سریع	دبی ماکزیمم (m <sup>3</sup> /s)
۱۳۸۷	۱	۲۶	$\alpha_1$	۰/۰۰۹۲۷	۸۹/۴	۱۰/۶	۲/۰۴
		۴۴	$\alpha_2$	۰/۰۰۰۴۷	۱۰۰	۰	۱/۶
	۲	۶	$\alpha_1$	۰/۰۲۶۲۳	۸۱/۲	۲۸/۸	۲/۳
		۲۰	$\alpha_2$	۰/۰۰۴۶۶	۸۳/۲	۱۶/۸	۱/۹۷
۱۳۸۸	۳	۳۶	$\alpha_1$	۰/۰۲۰۵۷	۶۸	۳۲	۳/۴۶
		۲۰	$\alpha_2$	۰/۰۰۴۷۷	۱۰۰	۰	۱/۶۵
	۴	۱۱	$\alpha_1$	۰/۰۲۶۲۷	۷۸/۳	۲۱/۷	۲/۳۴
		۴۵	$\alpha_2$	۰/۰۰۴۱۹	۱۰۰	۰	۱/۵۷
	۵	۱۱	$\alpha_1$	۰/۰۱۹۳	۷۰/۲	۲۹/۸	۲/۳
		۲۶	$\alpha_2$	۰/۰۰۴۶۱	۸۴/۵	۱۵/۵	۱/۸۶
کل دوره	۵				۸۳/۲	۱۶/۸	۳/۴۶

## تجزیه و تحلیل هیدروگراف و منحنی‌های فروکش در رژیم بارندگی

همانطور که در فوق اشاره گردید، دو نقطه اوج در این رژیم مشاهده می‌گردد که به ترتیب در اوایل دی ماه ۸۷ و فروردین ماه ۸۸ رخ داده است. هر دو نقطه اوج دارای ویژگی‌ها و مشخصات خاص خود هستند. طول مدت تأثیر میکرو رژیم  $\alpha_1$  در مورد منحنی فروکش اولی و دومی به ترتیب ۶ و ۳۶ روز است و بدنبال آن حجم و درصد جریان سریع در مورد منحنی فروکش دومی نسبت به اولی بیشتر است (جدول ۱).

منحنی فروکش اولی با توجه به وقوع چند بارندگی مناسب با یک تأخیر زمانی طولانی (حدود ۴۳ روز) و پس از طی یک روند نزولی در منحنی هیدروگراف به یکباره رخ می‌دهد. در حالیکه منحنی فروکش دومی بدنبال افزایش تدریجی آبدهی، با تأخیر زمانی کمتری (بعد از ۱۶ روز) در پاسخ به بارندگی نیمه دوم فروردین ماه ۸۸ رخ می‌دهد. با توجه به اینکه تأخیر زمانی در هر دو منحنی فروکش، برای یک چشمه کارستی بیش از حد نرمال (تقریباً بین ۱ تا ۵ روز) است، می‌توان نتیجه گرفت که چشمه کارستی بی‌تلخون از سطح حوضه آبگیر وسیعی برخوردار است و تا رسیدن آب‌های نقاط دور دست به کانال اصلی تخلیه، زمان زیادی طول می‌کشد. همچنین با توجه به کل بارندگی‌های سال آبی ۸۸-۸۷، سطح حوضه آبگیر ۷۲ کیلومتر مربع و ضریب نفوذ ۴۶ درصد برای آبخوان کارستی تغذیه کننده چشمه، افزایش نرخ آبدهی حدود ۰/۱۶ متر مکعب بر ثانیه تخمین زده می‌شود. در حالیکه با توجه به میزان بارندگی‌ها قبل از دوره‌های فروکش دوم (۳۲۳ میلی‌متر) و سوم (۲۶۹ میلی‌متر) افزایش نرخ آبدهی برای این دوره‌های فروکش به ترتیب حدود ۰/۱۸ و ۱/۷ متر مکعب بر ثانیه بوده که این مقدار فراتر از حد انتظار است. بنابراین انتظار می‌رود منبع یا منابع دیگری نیز به غیر از آبخوان کارستی ادیو،

در امر تغذیه چشمه بی‌تلخون مشارکت داشته باشند. بررسی‌های مقدماتی نشان می‌دهند، منابع آبی که می‌توانند احتمالاً در امر تغذیه شرکت کنند، شامل آبخوان‌های کارستی تاقدیس شیرگون هستند. بنابراین با در نظر گرفتن این منابع، روند تغذیه چشمه بی‌تلخون از روی هیدروگراف به شرح ذیل خواهد بود: بارندگی‌های صورت گرفته در ابتدای سال آبی فوق در سطح حوضه کارستی اصلی (ادیو) و حوضه‌های کارستی مجاور (شیرگون و یا منابع احتمالی دیگر) صرف پر نمودن (جبران ذخیره از دست رفته) مخزن اصلی و دیگر مخازن کارستی می‌شوند. اما پس از یک بارش قابل ملاحظه، پالس فشاری حاصل از آن باعث القاء یک شوک هیدرولیکی به مخازن کارستی مذکور شده و آب آنها را با سرعت بیشتری به سمت نقطه خروجی هدایت می‌کند. بدین ترتیب با رسیدن آب درون مخزن و آب نقاط دورتر به مظهر چشمه، نقطه اوج اول اتفاق می‌افتد. اما به دلیل حجم کم آب دریافتی، دبی چشمه سریع فروکش می‌کند. با ادامه بارش‌های پراکنده، شروع دوره ذوب برف حوضه‌های کارستی مجاور، به مرور زمان حجم آب بیشتری از این منابع نسبت به زمان‌های قبلی به سمت حوضه کارستی ادیو هدایت می‌شود. بنابراین، با افزایش حجم آب ورودی به مخزن کارستی ادیو، سطح آب و بار هیدرولیکی درون مخزن نیز افزایش یافته و به این ترتیب سرعت تخلیه نیز به طور صعودی افزایش می‌یابد، تا اینکه در پاسخ به بارندگی مناسب در نیمه دوم فروردین به یکباره پیک سوم (اصلی) هیدروگراف با تأخیر زمانی کمتری نسبت به پیک دوم شکل می‌گیرد. در واقع این بارندگی قابل ملاحظه با ایجاد یک پالس ناگهانی، به فرآیند تغذیه سرعت بیشتری بخشیده است.

## تجزیه و تحلیل هیدروگراف و منحنی‌های فروکش در رژیم‌های قبل و بعد از بارندگی

می‌کنند که با مطالعات ایزوتوپی و بررسی‌های دقیق‌تر می‌توان آنرا اثبات نمود. در نقشه هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه حدود و مرز احتمالی حوضه تغذیه چشمه مشخص شده است (شکل ۱).

### بررسی نوع جریان در آبخوان کارستی چشمه بی‌بی‌تلخون

با استفاده از هیدروگراف چشمه بی‌بی‌تلخون، درصد جریان پایه و سریع بوسیله تکنیک‌های تجزیه (جدا سازی) هیدروگراف، برای میکرو رژیم‌های  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  در تمامی دوره‌های فروکش و کل دوره مشخص گردید (جدول ۱). نتایج مندرج در این جدول نشان می‌دهد که در کل دوره و در هر دوره فروکش، درصد جریان پایه از درصد جریان سریع بیشتر است. این موضوع نشان می‌دهد که جریان غالب در امر تغذیه چشمه بی‌بی‌تلخون از نوع جریان افشان می‌باشد. همچنین ضریب تغییرات درجه حرارت آب چشمه (کمتر از ۵ درصد) نیز این مسئله را تأیید می‌کند (جدول ۲). اگرچه بنا به شواهد فوق، رژیم جریان در چشمه بی‌بی‌تلخون افشان است، اما شواهد ذیل دال بر رفتاری غیر از رژیم افشان می‌باشند. با توجه به بررسی‌های بیلان، حدود دو سوم از آبدهی چشمه ناشی از آب‌هایی است که خارج از حوضه کارستی وارد مخزن آن می‌شوند. این آب‌ها تماماً توسط مجاری گسله به مخزن چشمه هدایت می‌شوند. از سوی دیگر اگر فرض کنیم که تمام آب‌های ناشی از بارندگی سطح حوضه کارستی ادیو به صورت جریان پایه تخلیه شوند، در هر صورت باز هم جریان غالب در امر تغذیه چشمه، جریان مجرای خواهد بود. در اینجا این سؤال مطرح می‌شود که چرا با اینکه بیشتر آبدهی چشمه از طریق جریان مجرای تأمین می‌شود، اما جریان غالب به صورت جریان پایه خود را نشان می‌دهد. دلیل این مسئله می‌تواند گستردگی حوضه‌آبگیر چشمه و همین‌طور هندسه مخزن و طبیعت کانال‌های جریان باشد. مثلاً عریض بودن این کانال‌ها باعث کاهش سرعت جریان، کاهش شیب ضرایب تخلیه (ضرایب منحنی‌های فرود) و مقادیر این ضرایب می‌شود. بنابراین چنین جریانی که ماهیت آن جریان مجرای است اما ظاهر و نمود آن به صورت جریان پایه یا جریان افشان است، جریان پایه<sup>۲</sup> یا افشان کاذب<sup>۳</sup> نامیده می‌شود (Karimi et al. 2003; Karimi 2003). همچنین شواهد زیر این مسئله را تأیید می‌کنند:

- ۱- ضریب تغییرات بالای آبدهی در رژیم‌های قبل و بعد از بارندگی (جدول ۲). این مسئله بیانگر مشارکت آب‌های خارج از حوضه کارستی ادیو در امر تغذیه چشمه است. بنابراین وجود یکسری مجاری برای انتقال آب این نواحی به چشمه الزامی است. ۲- طولانی بودن زمان تأخیر بارندگی نسبت به زمان تداوم آن در رژیم بارندگی. این موضوع نشان می‌دهد که تخلیه چشمه به بارندگی‌های حوضه واکنشی نشان نمی‌دهد. بنابراین منشأی غیر از بارندگی در تأمین آبدهی چشمه مشارکت دارد که این مشارکت از طریق مجاری زیرزمینی صورت می‌گیرد. ۳- نوسانات قابل ملاحظه هدایت الکتریکی و اکثر پارامترهای فیزیکی- شیمیایی به غیر از درجه حرارت آب چشمه در رژیم‌های قبل و بعد از بارندگی (جدول ۲). این مسئله نیز بیانگر پیوستن آب مجرای نواحی دور دست در طی رژیم‌های مذکور می‌باشد. ۴- شواهد مورفوتکتونیک در مسیرهای

منحنی‌های فروکشی که در این رژیم‌ها شکل گرفته‌اند، بر عکس منحنی‌های فروکش رژیم بارندگی از لحاظ میزان آبدهی بسیار شبیه به هم بوده، اما از لحاظ سرعت تخلیه با هم اختلاف دارند. بطوریکه منحنی‌های فروکش چهارم و پنجم در رژیم بعد از بارندگی، دارای ضریب فروکش بالا و سرعت تخلیه بیشتری هستند (جدول ۱). در حالیکه منحنی فروکش اول در رژیم قبل از بارندگی، ضریب فروکش پایین و سرعت تخلیه کمتری را نشان می‌دهند. از آنجائیکه نقاط اوج مذکور قبل و بعد از بارندگی رخ داده‌اند بارندگی در شکل‌گیری آنها نقشی ناچیزی داشته است و علت این مسئله، همان منابع تغذیه احتمالی فوق است که بدان اشاره گردید. بنابراین با توجه به گفته‌های بالا، روند تغذیه چشمه بی‌بی‌تلخون در رژیم‌های مذکور بدین شرح است: بارندگی‌ها در ارتفاعات آهکی حوضه‌های کارستی مجاور تا اوایل و اواسط خرداد ماه نیز ادامه دارد که بعضاً ریزش این نزولات به شکل برف حتی در ماه‌های فروردین و اوایل اردیبهشت در نقاط مرتفع این حوضه‌ها نیز وجود دارد. از سوی دیگر بدنال ریزش برف‌های متوالی در نقاط مرتفع حوضه‌های کارستی که از اواخر پاییز شروع می‌شود و تا زمان‌های فوق ادامه می‌یابد، روپهم قرارگیری این برف‌ها و تراکم آنها سبب شکل‌گیری توده‌های فشرده برف<sup>۱</sup> به ویژه در محل گودی‌ها، دره‌ها و مناطق یخچالی این حوضه‌های کارستی می‌شوند. ذوب این برف‌ها و توده‌های متراکم برفی در ارتفاعات حوضه‌های کارستی مذکور از نیمه دوم اسفند ماه آغاز می‌شود و بسته به نوسانات دمایی منطقه تا اواسط و حتی تا اواخر تابستان نیز ممکن است به طول بیانجامد. بنابراین با توجه به مطالب فوق می‌توان انتظار داشت که رخداد منحنی فروکش چهارم در رژیم بعد از بارندگی، بیشتر به علت بارش‌های انتهایی سال آبی و آب‌های ناشی از ذوب برف در حوضه‌های کارستی مذکور بوده باشد. اما رخداد منحنی‌های فروکش اول و پنجم می‌تواند، اساساً به دلیل ذوب توده‌های متراکم برف نقاط مرتفع حوضه‌های کارستی فوق بوده باشد.

با توجه به توضیحات فوق ملاحظه می‌شود که علاوه بر رژیم بارانی، یک رژیم برفی نیز در امر تغذیه چشمه دخالت دارد. در نتیجه می‌توان اظهار داشت که چشمه بی‌بی‌تلخون از لحاظ نوع بارندگی، دارای رژیم برفی- بارانی و از لحاظ رخداد یا عدم رخداد بارندگی، شامل سه رژیم قبل از بارندگی، بارندگی و بعد از بارندگی می‌باشد. به طوریکه تأثیر رژیم بارانی، بر رژیم بارندگی و تأثیر رژیم برفی، بر دو رژیم دیگر بارز و مشخص است. علت تفاوت مقادیر و طول مدت تأثیر ضریب فروکش  $\alpha_1$ ، درصد و حجم جریان پایه و سریع در این سه منحنی فروکش، می‌تواند بیانگر سرعت تغذیه و تخلیه شدن مجاری زیرزمینی توسعه یافته کارستی و میزان آبی باشد که از سمت ارتفاعات برفگیر تاقدیس شیرگون یا یک منبع احتمالی با فاصله مکانی دورتر باشد. نتیجه اینکه، آبخوان‌های کارستی شیرگون را می‌توان به عنوان یک منبع ثابت در امر تغذیه چشمه بی‌بی‌تلخون معرفی کرد که در سرتاسر سال آبدهی چشمه را تأمین

2- Pseudo base flow

3- Pseudo diffuse flow

1- Snow pack

نیز وجود دارند که از نقاط دور دست، با تأخیر زمانی قابل ملاحظه به سمت حوضه آبرگیر چشمه هدایت می‌شوند و در امر تغذیه چشمه مشارکت می‌نمایند. مسئله بعد اینکه؛ پایین‌ترین حجم ذخیره دینامیک به دوره فروکش دوم مربوط می‌شود. علت این موضوع درست عکس دوره فروکش اول است:

۱- پایین بودن طول مدت تأثیر این دوره فروکش نسبت به دیگر دوره‌های فروکش، ۲- بالا بودن مقدار ضریب  $\alpha_1$  در دوره فروکش مذکور نسبت به مقدار همین ضریب در دیگر دوره‌های فروکش (بجز دوره فروکش چهارم) و ۳- پایین بودن طول مدت تأثیر میکرو رژیم  $\alpha_1$  نسبت به همین میکرو رژیم در دیگر دوره‌های فروکش (جدول ۱). با اینکه قبل از این دوره فروکش بارندگی‌های نسبتاً خوبی رخ داده، اما به نظر می‌رسد که هنوز مخزن کارستی به حد کافی پر نشده است و بلافاصله پس از بارندگی با افت ناگهانی منحنی فروکش در این دوره، حجم ذخیره دینامیک نیز به یکباره افت می‌کند. حجم پایین ورودی زیرزمینی در این دوره نیز تأثیر بسزایی در کاهش حجم ذخیره دینامیک داشته است.

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از هیدروگراف چشمه کارستی بی‌بی‌تلخون برای سال آبی ۸۸-۸۷ نشان می‌دهد که آبخوان کارستی تغذیه کننده چشمه دارای رژیم جریان افشان کاذب بوده و از ذخیره قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. همچنین رژیم تغذیه چشمه از لحاظ نوع بارندگی، دارای رژیم برفی-بارانی و از لحاظ رخداد یا عدم رخداد بارندگی، شامل سه رژیم قبل از بارندگی، بارندگی و بعد از بارندگی می‌باشد. به طوریکه تأثیر رژیم بارانی، بر رژیم بارندگی و تأثیر رژیم برفی، بر دو رژیم دیگر بارز و مشخص است. این مسئله همراه با بالا بودن ضریب تغییرات آبدهی، نوسانات قابل ملاحظه هدایت الکتریکی و اکثر پارامترهای فیزیکی-شیمیایی به غیر از درجه حرارت آب چشمه در هر سه رژیم بارندگی، طولانی بودن زمان تأخیر بارندگی نسبت به زمان تداوم آن در تمام رژیم‌ها به خصوص در رژیم بارندگی، بیانگر این مطلب می‌باشند که آب‌هایی خارج از حوضه کارستی ادیو و از حوضه کارستی برفگیر مجاور آن یعنی تاقدیس شیرگون در سرتاسر سال در امر تغذیه چشمه مشارکت دارد. بطوریکه این منبع به عنوان منبع اصلی تغذیه کننده چشمه کارستی بی‌بی‌تلخون در سرتاسر سال روند تغذیه و سایر خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان کارستی آن را تحت تأثیر قرار داده است. بررسی‌های تکنیکی، ژئومورفولوژیکی همراه با بررسی بیلان هیدرولوژیکی حوضه‌های کارستی مذکور نیز این مسئله را تأیید می‌کنند.

انتقال آب نظیر خردشدگی و شکستگی‌های فراوان به خصوص در یال جنوبی تاقدیس‌های پایده و شیرگون، زمین‌لغزش، دولین، شافت، دره‌ها و تنگه‌های کارستی. بنابراین بر اساس این معیارها رژیم جریان در آبخوان کارستی چشمه بی‌بی‌تلخون به صورت مجرای-افشان می‌باشد. بطوریکه گرایش به سمت مجرای بودن جریان، بیشتر از پایه است.

### تعیین حجم ذخیره دینامیکی آبخوان کارستی چشمه بی‌بی‌تلخون

برای تعیین حجم ذخیره دینامیکی آبخوان‌های کارستی روش‌های مختلفی توسط محققین ارائه شده است. Kersic با استفاده از روابط (1905) Maillet روشی جهت محاسبه حجم ذخیره دینامیک برای سیستم‌های کارستی که دارای چندین رژیم در دوره فروکش هستند، ارائه نموده است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود (به نقل از Kresic and Stevanovic, 2010):

$$V_0 = Q_{t0} - Q_{t1}/\alpha_1 + Q_{t1} - Q_{t2}/\alpha_2 + \dots + Q_{tin-1} - Q_{tin}/\alpha_{n-1} \quad (3)$$

در این تحقیق نیز، از روش فوق (Kersic (2007 جهت تعیین حجم ذخیره دینامیک آبخوان کارستی چشمه بی‌بی‌تلخون بهره گرفته شده است. بر این اساس ابتدا منحنی‌های فروکش چشمه کارستی بی‌بی‌تلخون در سال آبی ۸۸-۸۷ ترسیم گردید (شکل‌های ۳-الف تا ۳-ث). در این شکل‌ها، میکرو رژیم تخلیه و ارتباط حجم آب‌های تخلیه شده چشمه مذکور با این میکرو رژیم‌ها برای تمامی منحنی‌های فروکش در سال آبی فوق بخوبی نمایش داده شده است. سپس با تعیین  $V_0$  و  $V^*$ ، حجم ذخیره دینامیک برای هر دوره فروکش و برای کل دوره‌ها بدست آمد (جدول ۳).

بر این اساس، حجم کل ذخیره دینامیک در سال بیلان حدود  $67 \times 10^6$  متر مکعب (معادل آبدهی  $2/12$  متر مکعب بر ثانیه) تخمین زده شده که رقم بالایی است. این مطلب پتانسیل سیستم کارستی چشمه بی‌بی‌تلخون را در تخلیه طولانی مدت و ذخیره دینامیک با درصد ماندگاری بالاتر نشان می‌دهد.

### تجزیه و تحلیل حجم ذخیره دینامیکی آبخوان کارستی چشمه بی‌بی‌تلخون

همانطور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، بیشترین حجم ذخیره دینامیک مربوط به رژیم قبل از بارندگی و دوره فروکش اول است. علت این مسئله را می‌توان چنین توجیه کرد:

۱- بالا بودن طول مدت تأثیر این دوره فروکش نسبت به دیگر دوره‌های فروکش، ۲- بالا بودن طول مدت تأثیر میکرو رژیم  $\alpha_2$  نسبت به میکرو رژیم  $\alpha_1$  در رژیم مذکور، ۳- پایین بودن مقادیر ضریب  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  (سرعت تخلیه) در این دوره فروکش نسبت به مقادیر همین ضرایب در دیگر دوره‌های فروکش (جدول ۱).

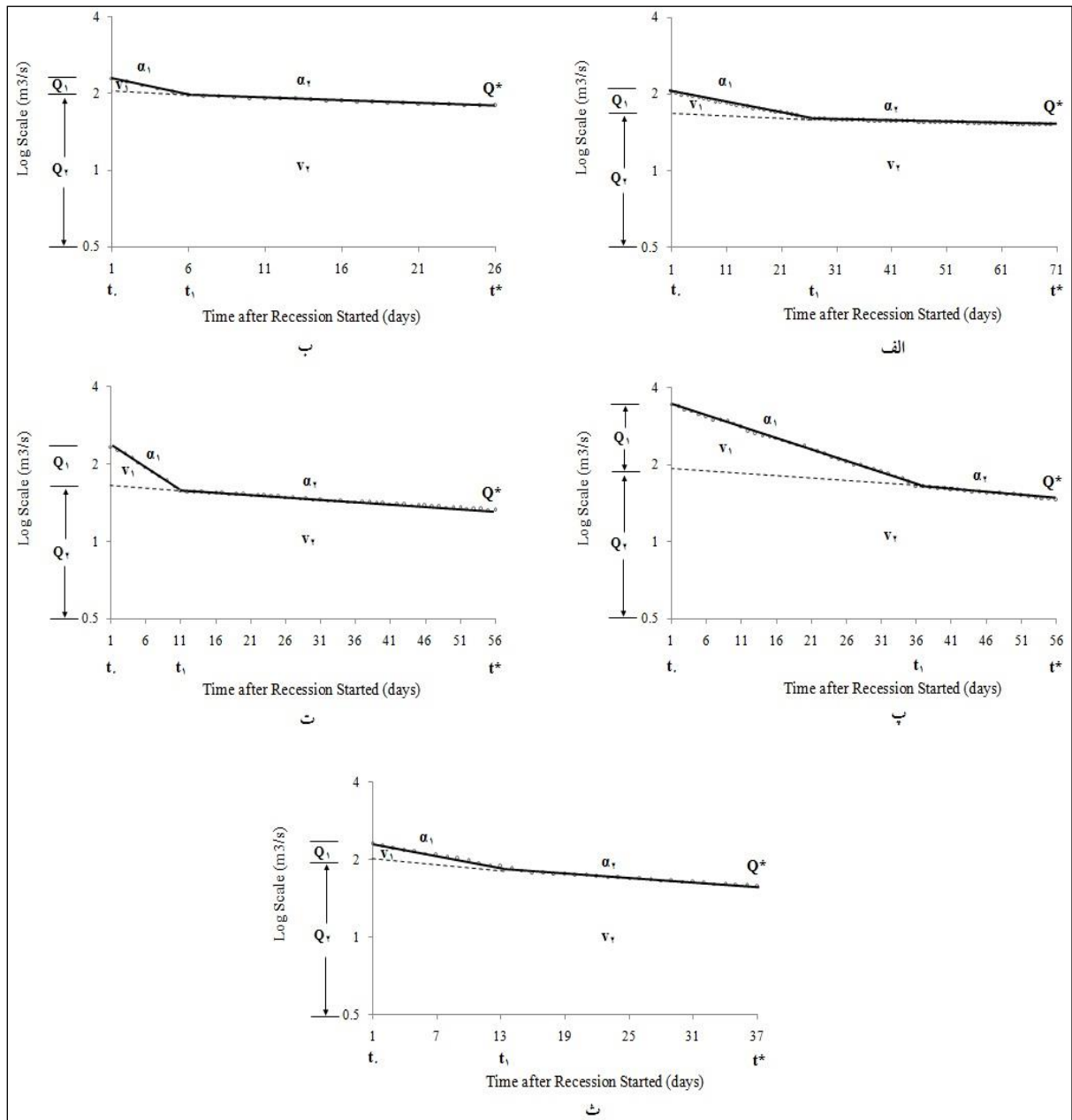
این حجم بالای تخلیه در دوره فروکش اول با توجه به عدم تغذیه از نزولات جوی در مقایسه با دوره‌های فروکش سوم (به خصوص) و چهارم که مخزن بدلیل بارندگی‌های رخ داده پر شده، دلیلی است بر این که تغذیه چشمه بی‌بی‌تلخون تنها به بارندگی‌های سطح حوضه آبرگیر آن بستگی ندارد و آب‌هایی

جدول ۲- پارامترهای آماری خصوصیات فیزیکی- شیمیایی چشمه‌های نطنخ برای رژیم‌های بارندگی مختلف در سال ۸۸-۸۷

رژیم	رژیم قلیل از بارندگی						رژیم بارندگی						رژیم بعد از بارندگی					
	حدائق	حدائق	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)	ضریب تغییرات (درصد)	حدائق	حدائق	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)	ضریب تغییرات (درصد)	حدائق	حدائق	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)	ضریب تغییرات (درصد)
پارامترهای آماری بارندگی																		
فیزیکوشیمیایی																		
دمی (m <sup>3</sup> /s)	۱/۵۳	۲/۰۴	۱/۷۲	۰/۳	۱/۶	۳/۶۶	۲/۲۷	۰/۷	۳/۱/۱	۱/۵۷	۲/۳۴	۲	۰/۴	۱۹/۱				
درجه حرارت (°C)	۲۱	۲۲/۲	۲۱/۷۳	۰/۶	۳	۲۲	۲۱/۵۲	۰/۹	۲/۱/۸	۲۲/۰۵	۲۲/۴	۲۲/۰۵	۰/۲	۱/۱				
توزیدی (N.T.U)	۴	۵	۴/۳۳	۰/۶	۱۳/۳	۲	۲/۴	۱/۱	۲۷/۵	۱	۱	۱	۰	۰				
سختی	۳۲۵	۳۵۰	۳۴۰	۱۳/۲	۳/۹	۲۹۰	۲۶۷	۱۶/۴	۶/۱	۲۶۲	۳۹۵	۳۳۶	۵۷/۷	۱۷/۲				
EC (µmho/cm)	۱۱۸۰	۱۵۳۱	۱۳۵۰	۱۷۵/۷	۱۳	۷۲۱	۹۶۲/۴	۱۹۹/۱	۱۵/۵	۱۱۲۹	۱۲۶۵	۱۱۸۲	۶۱/۷	۵/۲				
TDS (mg/l)	۷۰۸	۹۱۹	۸۲۸	۱۰۶/۶	۱۳/۱	۶۹۰	۵۹۱	۷۷	۱۳	۷۲۳	۸۱۰	۷۶۰	۳۹/۱	۵/۲				
PH	۷/۸	۸	۷/۸۷	۰/۱	۱/۵	۷/۶	۸	۷/۷۶	۰/۲	۲/۳	۶/۷	۸	۷/۳۸	۰/۵	۷/۳			
Ca(meq/l)	۳/۸	۴/۹	۴/۴	۰/۶	۱۲/۷	۳/۸۳	۳/۵۳	۰/۳	۷/۸	۳/۹	۵/۳	۴/۵۳	۰/۶	۱۲/۸				
Mg(meq/l)	۲	۲/۷	۲/۴	۰/۴	۱۵	۲/۶	۱/۷۹	۰/۵	۲/۸/۶	۱/۳۴	۲/۶۴	۱/۹۷	۰/۴	۲۷/۲				
Na (meq/l)	۵/۱۲	۶/۸۵	۶/۰۵	۰/۹	۱۶/۴	۲/۷۳	۴/۵۱	۱/۱	۳۶/۹	۵/۳۶	۶/۳۶	۵/۷۱	۰/۴	۷/۳				
K (meq/l)	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۱	۱۵/۸	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۱	۱۲	۰/۰۳	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۳	۶/۷/۳				
HCO3 (meq/l)	۲/۴۲	۲/۹	۲/۷۰	۰/۳	۶/۸	۳/۴۲	۳/۸	۰/۲	۴/۸	۲/۴۸	۴/۰۲	۳/۴۷	۰/۷	۲۰/۶				
SO4 (meq/l)	۲/۱۲	۳/۰۷	۲/۴۴	۰/۵	۲۲/۲	۱/۶۶	۱/۲۹	۰/۴	۳۹/۵	۱/۶۷	۴/۱۵	۲/۹۳	۱	۳۴/۶				
Cl (meq/l)	۵/۵	۶/۷	۶/۳	۰/۷	۱۱	۶/۱	۴/۷۴	۱/۱	۲۶/۱	۴/۹	۶/۳۷	۵/۶۵	۰/۶	۱۰/۱				
SiC	۰/۶۷	۰/۹۴	۰/۷۸	۰/۱	۱۷/۹	۰/۸۲	۰/۶۳	۰/۱	۲/۱۴	-۱/۳۵	۰/۷	۰/۴۸	۰/۴	۱۶/۳				
SiD	۱/۲۸	۱/۵۸	۱/۳۹	۰/۲	۱۱/۷	۱/۶۶	۱/۰۴	۰/۴	۳۹/۶	-۱/۰۳	۱/۰۳	۰/۴۸	۰/۹	۳۴۴/۶				
SiG	-۱/۱۹	-۱	-۱/۱۰	۰/۱	۸/۷	-۱/۶۳	-۱/۳۹	۰/۱	۹/۸	-۱/۲۱	-۰/۸۱	-۱/۰۱	۰/۲	۱۶/۲				
SiH	-۶/۲۵	-۶/۰۵	-۶/۱۳	۰/۱	۱/۷	-۶/۷۷	-۶/۳۹	۰/۲	۳/۶	-۶/۳	-۶/۱۴	-۶/۱۴	۰/۱	۱/۲				

نماینده انحراف استاندارد: SiD، نماینده انحراف درجه اول: Sig، و نماینده انحراف درجه دوم: SiH





شکل ۳. به ترتیب منحنی‌های فروکش اول تا پنجم چشمه کارستی بی‌بی‌تلخون در سال آبی ۸۸-۸۷، توضیحات در داخل متن آورده شده است.

جدول ۳. حجم ذخیره دینامیک چشمه بی‌بی‌تلخون در دوره‌های فروکش و کل دوره

سال آبی	نوع رژیم	طول دوره فروکش (روز)	دوره فروکش	$V_0 \times 10^6 \text{ (m}^3\text{)}$	$V^* \times 10^6 \text{ (m}^3\text{)}$	$V \times 10^6 \text{ (m}^3\text{)}$
۱۳۸۶	قبل از بارندگی	۷۱	۱	۳۱۷	۲۸۵	۳۲
	بارندگی	۲۶	۲	۳۹	۳۳	۶
۱۳۸۷		۵۶	۳	۴۵	۲۸	۱۷
	بعد از بارندگی	۵۶	۴	۳۶	۳۰	۶
		۳۷	۵	۳۷	۳۱	۶
کل دوره		۲۴۶	۵	۴۷۴	۴۰۷	۶۷

$V$ ،  $V_0$ ،  $V^*$  در رابطه فوق به ترتیب حجم ذخیره دینامیکی، حجم تمام آب زیرزمینی تخلیه شده در ابتدای دوره فروکش و حجم آب باقی‌مانده در آبخوان کارستی در بالای سطح تراز چشمه در انتهای دوره فروکش

## منابع

- آقناباتی، علی، ۱۳۸۵، زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- چیت سازان، منوچهر، سیدی پور، مسعود، میرزایی، یحیی، ۱۳۸۷، تعیین خصوصیات آبخوان کارستی چشمه برم جمال با استفاده از پاسخهای فیزیکی- شیمیایی. مجله آب و فاضلاب، شماره ۶۸، صفحات ۷۷-۷۲.
- ریاحی پور، مهدی، کلانتری، نصراله، ۱۳۸۷، تعیین حوضه آبریز چشمه کارستی پیرغار به روش زمین شناسی و هیدروژئولوژی. دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، اهواز- شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب.
- درویش زاده، علی، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران. انتشارات امیرکبیر، ۴۳۴ ص.
- شبان، مجتبی، ۱۳۹۰، تعیین حوضه آبریز و منابع تأمین آب چشمه سبزاب (شمال شرق مسجد سلیمان). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- صاحبدل، مهدی، ۱۳۸۸، بررسی هیدروشیمیایی کارست منطقه شیرین بهار. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- کرمی، غلامحسین، ۱۳۷۲، بررسی رابطه بین عوامل مؤثر بر نفوذ آب و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه های کارستی کوه های گر و برم فیروز. پایان نامه کارشناسی ارشد آبشناسی، بخش زمین شناسی، دانشگاه شیراز.
- کریمی، احمد رضا، ۱۳۸۰، مطالعه هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی تاقدیس پابده لالی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- کریمی وردنجانی، حسین، ۱۳۸۴، بررسی هیدروژئولوژیکی چشمه های کارستی موگرمون و سرآسیاب. نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- Bonacci, O., 2001, Analysis of the maximum discharge of karst springs. *Hydrogeol. J.*, 9 (4), 328-338.
- Birk, S., Hergarten. S., 2010, Early recession behaviour of spring hydrographs. *J. Hydrol.* doi:10.1016/j.jhydrol.2010.03.026.
- Desmarias, K., and Rojstaczer, S., 2002, Inferring source waters from measurements of carbonate spring response to storms. *J. Hydrol.*, 260: 118-134.
- Dewandel, B., Lachassagne, P., Bakalowicz, M., Wengb, Ph., Al-Malki, A., 2003, Evaluation of aquifer thickness by analysing recession hydrographs. Application to the Oman ophiolite hard-rock aquifer *J. Hydrol.*, 274: 248-269.
- Dreiss, Sh. J., 1983, Linear unit-response functions as indicators of recharge areas for large karst springs. *J. Hydrol.*, 61: 31-44.
- Fiorillo, F., 2009, Spring hydrographs as indicators of droughts in a karst environment. *J. Hydrol.*, 373: 290-301.
- Fleury, P., Plagnes, V., Bakalowicz, M., 2007, Modelling of the functioning of karst aquifers with a reservoir model: Application to Fontaine de Vaucluse (South of France). *J. Hydrol.*, 345 (1-2): 38-49.
- Karimi, H., 2003, Hydrogeological behavior of Alvand karst aquifers, Kermanshah (in English). PhD Thesis, University of Shiraz, Iran.
- Karimi, H., Raeisi, E., Zare, M., 2003, Hydrodynamic behavior of the Glian karst spring, West of the Zagros, Iran. *Journal of Cave and Karst Studies*, 30 (1): 15-22.
- Karimi, H., Raeisi, E., Bakalowicz, M., 2005a, Characteristics the main karst aquifers of the Alvand Basin, Northwest of Zagros, Iran, by a hydrogeochemical approach. *Hydrogeol. J.*, 13: 787-799.
- Karimi, H., Raeisi, E., Zare, M., 2005b, Physicochemical time series of karst spring as a tool to differentiate the source of spring water. *Carbonates Evaporites*, 20 (2): 138-147.
- Kersic, N., Stevanovic, Z., 2010, Ground water hydrology of springs, 565 p.
- Kovacs, A., Perrochet, P., Kiraly, L., Jeannin, P. Y., 2005, A quantitative method for the characterization of karst aquifers based on spring hydrograph analysis. *J. Hydrol.*, 303: 152-164.
- Long, A. J., 2009, Hydrograph separation for karst watersheds using a two-domain rainfall-discharge model. *J. Hydrol.*, 364: 249-256.
- Panagopoulos, G., Lambrakis, N., 2006, The contribution of time series analysis to the study of the hydrodynamic characteristics of the karst systems: Application on two typical karst aquifers of Greece (Trifilia, Almyros Crete). *J. Hydrol.*, 329 (3-4): 368-376.
- Raeisi, E., Karami, G., 1997, Hydrodynamic of Berghan karst spring as indicators of aquifer characteristics. *Journal of Cave and Karst Studies*, 59 (3): 112-118.

- Rahnemaei, M., 1994, Evaluation of Infiltration and Run-off in Karstified Carbonatic Rocks. Unpublished Masters Thesis, Shiraz University, 222 p.
- Samani, N. and Ebrahimi, B., 1996, Analysis of spring hydrographs for Hydrogeological evaluation of a karst aquifer system. *Theoretical & Applied Karstology*, 9: 97-112.
- Tobias, G., Birk, S., Liedl, R., Sauter, M., 2008, Quantification of temporal distribution of recharge in karst systems from spring hydrographs. *J. Hydrol.*, 348: 452-463.