



<http://ui.ac.ir/en>

Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan  
Vol. 36, Issue 1, No. 78, Spring 2020  
pp. 1-20  
Received: 15.07.2019 Accepted: 08.12.2019

## Investigating the effect of various stratigraphy on karst development and variability of karst springs discharges, Kermanshah Province

**Zeinab Najafi**

*Ph.D. Student Hydrogeology, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran*  
*zeinab.najafi7@gmail.com*

**Gholam Hossein Karami\***

*Associate Professor, Department of Environmental Geology and Hydrogeology, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran*  
*g.karami@shahroodut.ac.ir*

**Haji Karimi**

*Professor, Department of Range and Watershed Management, Agriculture Faculty, Ilam University, Ilam, Iran*  
*haji.karimi@gmail.com*

### Abstract

In karstification phenomenon of carbonate formations various factors are involved which the most important of them are lithology, precipitation, stratigraphic characteristics, structural factors and the topography of the region. Thick and massive limestones have much higher potential for the development of karst and, as a result, the formation of karst features. In this research, four important karstic springs have been investigated, the name of these springs are Ravansar, Kabotarlaneh, Sahneh and Kashanbeh. The catchment areas of these springs are located in the different geological formations with various lithologies and ages. The discharge of springs and its variability depends significantly on the lithology of the aforementioned formations. The average annual discharge of the Ravansar, Darband Sahneh, Kashanbeh, and Kabotarlaneh springs in the hydrological year 2016–2017 is 1932, 462, 166 and 771 lit/s, respectively. Moreover, the coefficients of variation of these karst springs are 1.07, 0.30, 0.49 and 0.48 and the maximum to minimum ratio of these springs were calculated 20, 2, 7 and 4, respectively. The Ravansar and Kabotarlaneh springs have three discharge coefficients, while the springs of the Sahneh and Kashanbeh have two, which are related to stratigraphy and lithology of their basins. The largest of the aquifer storage from these springs is dedicated to the Ravansar spring, and the smallest is Kashanbeh; the discharge of these springs also confirms it.

**Keyword:** Stratigraphy, Karst Development, Karst spring, Kermanshah

### Introduction:

“Karst” refers to terrain with distinctive landforms and a largely subsurface drainage system, arising from the high solubility of certain rocks in natural waters (Karami 2002). Although karstic areas mainly develop on carbonate rocks (limestone in particular), they are not limited to these rocks and can also develop on other soluble rocks (e.g. gypsum, anhydrite, and halite). Several factors are involved in karst development, the karst development is mainly controlled by lithology, precipitation, stratigraphic characteristics of structural factors and the topography of the area. Among them, the lithology and stratigraphic characteristics of carbonaceous formations are of particular importance. Thick and massive carbonate rocks have a higher degree of karst development and, as a result, more obvious karstic features. There are many karst springs (that is called “Sarab” in the local lingo) in Kermanshah province (more than 200 springs). The mean annual discharge of these springs is relatively considerable (the average annual discharge some of them is

up to 3000 lit/s). In this study, karstic springs have been selected from different regions of the province and their characteristics related to the stratigraphy of spring's basin have been studied. The purpose of this study is to investigate the stratigraphic role of different formations on discharge fluctuations of the selected springs in the study area.

### Material & Methods:

For achieving the aim of this research as the initial evaluation, geological maps in the area were concerned and then springs were selected whose catchment area are located in different carbonate formations or have different lithologies status. In the fieldwork electrical conductivity and water temperature of springs has been measured. Spring's water was sampled monthly during a water year (2016–2017) and concentration of major ions of samples was determined in the hydrology laboratory of the Shahrood University of Technology by titration method, then the results were randomly re-measured at the Freie Universität Berlin (FUB)

\*Corresponding author

by ion chromatography, which showed high precision results. After following the steps mentioned above estimating recharge potential zone in the study area was estimated and the catchment area of the springs was determined. Finally, the effect of various stratigraphy on karst development and variability of karst springs discharges and groundwater flow in karst aquifers was investigated.

#### **Discussion of Results & Conclusions**

The role of stratigraphy in karst aquifers is very important and plays a major role in karst development and the creation of various conduits and dissolution spaces in the aquifer of springs. This theme is well visible in the evaluation of the four springs of Ravansar, Kabotarlaneh, Darband, and Kashanbeh. Ravansar spring's basin due to the Bistoon Formation has high karst development and consequently high fluctuations in discharge, electrical conductivity, and temperature. Many studies have been carried out to determine

the flow type and thickness dynamics of a karstic aquifer, mainly evaluating the physical and chemical properties of springs. Changes in the physical and chemical properties of the water of the selected springs are different and are influenced by the stratigraphy and geological characteristics of the catchment basins of these springs. The discharge coefficients and variations of the measured parameters for Ravansar spring indicate that conduit flow system is dominant in karst aquifer feeding this spring. According to the characteristics of the Kabotarlaneh spring, the conduit system in its aquifer has become less developed in comparison to the Ravansar spring which is related to its different stratigraphy. The characteristics of catchment areas of the Darband are similar to the Kabotarlaneh spring, which has caused the flow system of the Darband spring to be similar to the Kabotarlaneh spring. According to characteristics of Kashanbeh Springs, it has a diffuse-conduit flow system.

## بررسی تأثیر واحدهای سنگ‌چینه‌شناسی مختلف بر توسعه کارست و تغییرپذیری آبدهی چشمه‌های کارستی، استان کرمانشاه

زینب نجفی، دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

zeinab.najafi7@gmail.com

غلامحسین کرمی\*، دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

g.karami@shahroodut.ac.ir

حاجی کریمی، استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

haji.karimi@gmail.com

### چکیده

عوامل مختلفی در پدیده کارستی شدن سازندهای کربناته نقش دارند که از مهم‌ترین آنها عبارتند از: سنگ‌شناسی، مقدار بارش، ویژگی‌های چینه‌شناسی، عوامل ساختاری و توپوگرافی منطقه و در این میان، ویژگی‌های سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی اهمیت ویژه‌ای دارند. در پژوهش حاضر، چهار چشمه کارستی مهم با چینه‌شناسی مختلف شامل چشمه‌های روانسر، کبوترلانه، دربند صحنه و کاشنبه بررسی شدند. آبخوان تغذیه‌کننده این چشمه‌ها به ترتیب از آهک‌های توده‌ای و ضخیم‌لایه سازند بیستون، آهک‌های کرتاسه اریبتولین‌دار و توده‌ای، آهک کرتاسه و آهک مارنی و آهک تله‌زنگ و واحدهای سنگی آواری سازند امیران تشکیل شده است. آبدهی این چشمه‌ها و تغییرپذیری آن به‌طور درخور توجهی به سنگ‌شناسی سازندهای یادشده وابسته است؛ به‌این ترتیب که میانگین آبدهی سالانه چشمه‌های روانسر، دربند صحنه، کاشنبه و کبوترلانه در سال بررسی شده به ترتیب ۱۹۳۲، ۴۶۲، ۱۶۶ و ۷۷۱ لیتر بر ثانیه است؛ همچنین ضریب تغییرات آبدهی چشمه‌های یادشده به ترتیب ۱/۰۷، ۰/۳۰، ۰/۴۹ و ۰/۴۸ و نسبت حداکثر به حداقل میزان آبدهی این چشمه‌ها به ترتیب ۲۰، ۲، ۷ و ۴ محاسبه شده است. چشمه‌های روانسر و کبوترلانه سه ضریب و چشمه‌های دربند صحنه و کاشنبه هرکدام دو ضریب کاهش دبی دارند که به حوضه آبرگیر و سنگ‌شناسی آن در این چشمه‌ها مربوط است. بیشترین حجم ذخیره آبخوان‌ها به چشمه روانسر و کمترین به چشمه کاشنبه اختصاص دارد؛ آبدهی این چشمه‌ها مؤید این مطلب است.

واژه‌های کلیدی: چینه‌شناسی، توسعه کارست، چشمه کارستی، کرمانشاه

\* نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۲۷۳۱۳۵۱

## مقدمه

منابع آب سطحی در بیشتر نواحی محدودند و امروزه با افزایش نیاز به منابع آب، برداشت از آب زیرزمینی افزایش یافته است. منابع آب کارستی به علت کیفیت مطلوب، اهمیت ویژه‌ای دارند. کارست، گستره‌ای با مورفولوژی خاص و سیستم زه‌کشی زیرزمینی درخور توجه است که از حلالیت برخی سنگ‌ها در آب‌های طبیعی حاصل می‌شود. اگرچه نواحی کارستی عمدتاً روی سنگ‌های کربناته توسعه می‌یابند، ممکن است در سنگ‌های دیگری که قابلیت انحلال دارند (مانند سنگ گچ و سنگ نمک) نیز ایجاد شوند (Karami 2002)؛ در این میان، سنگ‌های کربناته به علت مقاومت بیشتر در گذر زمان دارای ماندگاری بیشترند. نواحی کارستی عوارض مشخصی از جمله مجاری انحلالی، گودی‌های مسدود، فروچاله‌ها و دره‌های خشک غارها را دارند (Jennings 1985). سفره‌های کارستی عمدتاً ذخایر آب مهمی‌اند؛ به گونه‌ای که آب آشامیدنی حدود ۲۵ درصد جمعیت جهان را فراهم می‌کنند (Ford and Williams 1989). در ایران، سازندهای کربناته حدود ۱۱ درصد (۱۸۵۰۰۰ کیلومتر مربع) از سطح کشور را می‌پوشانند و رشته‌کوه زاگرس نیمی از این کارست‌ها را شامل می‌شود (Raeisi 2002). طبق یافته‌های بسیاری از پژوهشگران، چشمه‌هایی که سیستم تغذیه و جریان افشان دارند، تنوع شیمیایی و نوسانات آب‌دهی کمتری دارند (Shuster and White 1971, Hess and White 1988, Moore et al. 2009). لهمان (Lehman 1932 as cited by Bonacci 2001) عوارض کارستی را رابطی برای انتقال سریع آب تغذیه‌شده به آب زیرزمینی معرفی می‌کند و تراکم این عوارض را عامل پاسخ سریع آبخوان به آب ورودی می‌داند. وجود ساختارهای خطی و عوارض کارستی وسیع سبب ایجاد مسیری برای نفوذ راحت‌تر آب می‌شود که خود، انحلال بیشتر و توسعه کارست را در پی دارد؛ این مسئله در نهایت روی ظهور و آب‌دهی چشمه‌ها تأثیر می‌گذارد (Vahdati M. and Taheri K. 2007). آبخوان‌های کارستی خوب توسعه‌یافته مجاری بزرگی با

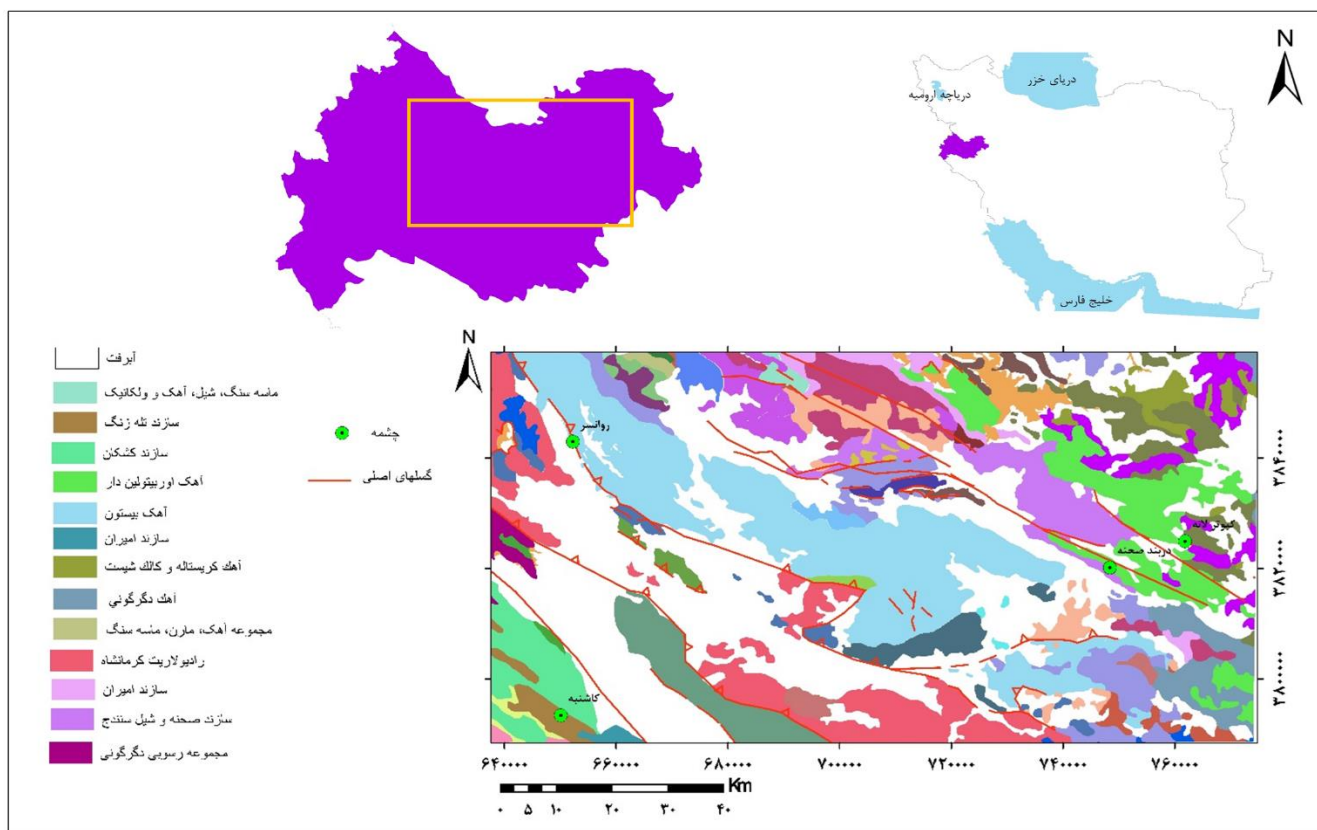
ظرفیت ذخیره‌سازی کم و تراوایی زیاد دارند و سریع به تغییرات اعمال‌شده بر آبخوان پاسخ می‌دهند (Panagopoulos and Lambrakis 2006). به منظور درک بهتر ساختارهای درونی کارست و بررسی توسعه آن، ارزیابی شکل هیدروگراف از اقدامات ضروریست که در قالب پاسخ سیستم به بارش مطالعه می‌شود (Atkinson 1977, Gunn 1986, Bonacci 1988, 1993).

شاستر و وایت (Shuster and White 1971) پاسخ شیمیایی آبخوان‌های کارستی را به دو دسته تقسیم‌بندی کردند و گروهی را که نوسانات زیاد سختی را نشان می‌دهند، سیستم مجرای (Conduit) و دسته دیگر با تغییرات کمتر را افشان (Diffuse) نامیدند. بندریتز و همکاران (Benderitter et al. 1993) با مطالعه نوسانات دمایی آبخوان کم‌عمق کارستی نتیجه گرفتند نوسانات سریع معرف جریان سریع در مجاری و شکستگی‌های بزرگ‌تر و تغییرات فصلی نتیجه تغییرات دمایی آبخوان هستند و استفاده از این اطلاعات در محاسبه عمق آبخوان مفید است.

عوامل متعددی در پدیده کارستی شدن سازندهای کربناته نقش دارند که از مهم‌ترین آنها عبارتند از: سنگ‌شناسی، مقدار بارش، ویژگی‌های چینه‌شناسی عوامل ساختاری و توپوگرافی منطقه؛ در میان عوامل یادشده، ویژگی‌های سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی سازندهای کربناته اهمیت ویژه‌ای دارند. سنگ‌های آهکی ضخیم‌لایه و توده‌ای درجه توسعه کارست بیشتر و عوارض کارستی مشهودتری دارند. کارست‌هایی با میان‌لایه‌های شیلی و مارنی می‌توانند مانع جریان آب زیرزمینی در کارست شوند یا حرکت آب را کاهش دهند؛ در این شرایط، پدیده انحلال کمتر از زمانی است که کارست به طور خالص باشد و در نتیجه، توسعه کارست شدت کمتری دارد. بر اساس آمار شرکت مدیریت منابع آب و مشاهده‌های صحرائی، بیش از ۲۰۰ چشمه با آب‌دهی مختلف در استان کرمانشاه وجود دارد که عمده آنها، چشمه‌های کارستی‌اند. در مناطق غربی ایران، اصطلاح سراب برای انواع ویژه‌ای از

منطقه مطالعه‌شده از چندین سازند مختلف تشکیل شده است. در مطالعه حاضر سعی شده است از مناطق مختلف استان، چشمه کارستی انتخاب و ویژگی‌های آن در ارتباط با چینه‌شناسی حوضه آبرگیر چشمه بررسی شود. هدف مطالعه حاضر، بررسی نقش چینه‌شناسی سازندهای مختلف روی نوسانات آبدهی چشمه‌های یادشده است.

چشمه‌های کارستی به کار می‌رود که از سازندهای سخت منشأ می‌گیرند و آبدهی نسبتاً خوب و دائمی دارند و از سوی دیگر، دارای فضای کافی در مظهر چشمه‌اند؛ به‌گونه‌ای که حوضچه‌ای در مقابل آن ایجاد می‌شود. طی دهه اخیر، نوسانات شدیدی در آبدهی بسیاری از چشمه‌ها رخ داده است؛ به‌گونه‌ای که تعدادی از چشمه‌های کارستی استان به‌طور کامل یا فصلی خشک شده‌اند. تشکیلات کربناته در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی چشمه‌های مطالعه‌شده

### روش پژوهش

منطقه مطالعه‌شده بین طول جغرافیایی  $46^{\circ} 46'$  تا  $48^{\circ} 14'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $34^{\circ} 64'$  تا  $35^{\circ} 15'$  شمالی غرب ایران و در استان کرمانشاه واقع شده است (شکل ۱). آمار بارش سی‌ساله دریافت‌شده از سازمان هواشناسی استان کرمانشاه (شامل ایستگاه‌های کرمانشاه، روانسر، اسلام‌آباد

غرب، هرسین، سنقر، ماهی‌دشت، صحنه و کنگاور) نشان می‌دهد مقدار بارش سالانه منطقه مطالعه‌شده حدود ۴۶۷ میلی‌متر است. ارتفاعات منطقه عمدتاً آهکی‌اند و ارتفاع آنها از ۱۳۰۰ تا ۳۴۰۰ متر بالاتر از سطح دریا متغیر است. کشاورزی، کاربری اصلی زمین‌های آبرفتی منطقه است و ذرت، گندم، جو، نخود، چغندرقد و سبزیجات از مهم‌ترین

کربناته متفاوت قرار دارد یا وضعیت سنگ‌چینه‌نگاری مختلفی دارند (جدول ۱)؛

- بررسی‌های صحرایی درباره چینه‌شناسی منطقه و ارزیابی هیدروژئولوژیکی در حوضه آبریز چشمه‌ها؛
- نمونه‌برداری ماهانه از آب چشمه‌ها طی یک سال آبی (۹۶-۱۳۹۵)؛

- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و دمای چشمه در محل؛
  - اندازه‌گیری غلظت یون‌های اصلی آب (شامل یون‌های اشاره‌شده در جدول ۴) در آزمایشگاه آب‌شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود به روش تیتراسیون.
- نتایج به‌طور تصادفی در دانشگاه FUB کشور آلمان به روش کروماتوگرافی یونی دوباره اندازه‌گیری شدند و نزدیکی درخور توجهی را نشان دادند.

محصولات کشاورزی‌اند. شش عامل آب‌وهوایی مختلف، آب‌وهوای منطقه را تعیین می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که ۹۱ درصد از رفتارهای آب‌وهوایی منطقه با عوامل دما، بارش، رطوبت، ابر، تندر، گردوغبار و باد توجیه می‌شود (Mirmousavi et al. 2014). موقعیت جغرافیایی منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است.

چهار چشمه کارستی که حوضه آبریز آنها سنگ‌شناسی‌های متفاوتی دارد، با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه (شکل ۱) انتخاب شدند. با توجه به تنوع زیاد واحدهای سنگی به‌ویژه در زون سنندج سیرجان، در شکل ۱ تنها به واحدهای سنگ‌شناسی مهم منطقه اشاره شده است. مراحل انجام کار به‌طور خلاصه عبارتند از:

- ارزیابی اولیه نقشه‌های زمین‌شناسی در منطقه مدنظر و انتخاب چشمه‌هایی که حوضه آبریز آنها در سازندهای

جدول ۱- سنگ‌شناسی غالب حوضه‌های آبریز چشمه‌های انتخابی

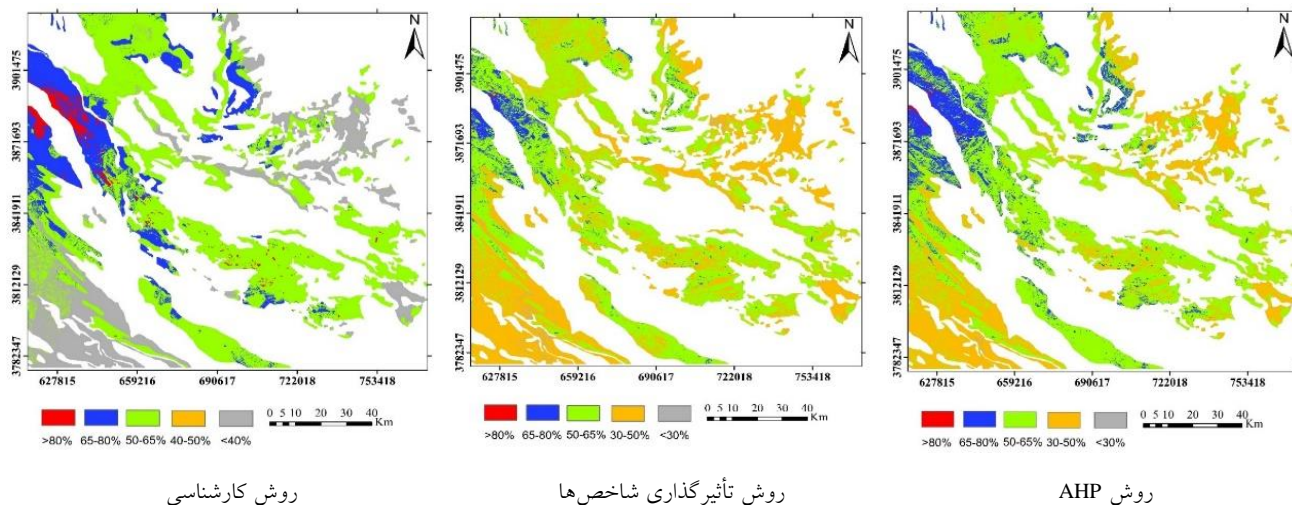
سنگ‌شناسی غالب	ارتفاع مظهر چشمه	موقعیت جغرافیایی		
		utm x	utm y	
آهک بیستون، ضخیم‌لایه و توده‌ای	۱۳۶۰	۶۵۲۲۴۸	۳۴۴۲۹۲۰	روانسر
آهک کرتاسه، واحدهای آهکی مختلف، واحدهای غیرآهکی	۱۶۰۰	۷۶۱۸۶۵	۳۸۲۴۸۸۴	کبوترلانه
آهک کرتاسه، آهک ماری با میان‌لایه‌های شیل	۱۵۱۵	۷۴۸۴۱۳	۳۸۲۰۱۲۹	دریند صحنه
آهک تله‌زنگ، سازندهای آواری امیران و کشکان	۱۵۷۰	۶۵۰۰۹۹	۳۷۹۳۳۹۰	کاشنبه

خاک منطقه و لایه عوارض کارستی تهیه شدند. پس‌از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، سه روش مختلف شامل قضاوت کارشناسی، تأثیرگذاری شاخص‌ها و روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای انجام مراحل ارزش‌دهی و وزن‌دهی به شاخص‌های مختلف و تصمیم‌گیری نهایی استفاده شدند (شکل ۲)؛ سرانجام با تلفیق و هم‌پوشانی لایه‌های به‌دست آمده، مکان‌های با مقدار تغذیه مختلف حاصل شدند. از مجموع محاسبه‌های بسیاری که برای به‌دست آوردن نتیجه تغذیه انجام شدند، تنها به شکل و جدول محاسبه‌های نهایی اشاره می‌شود (شکل‌های ۲ و ۳ و جدول ۲).

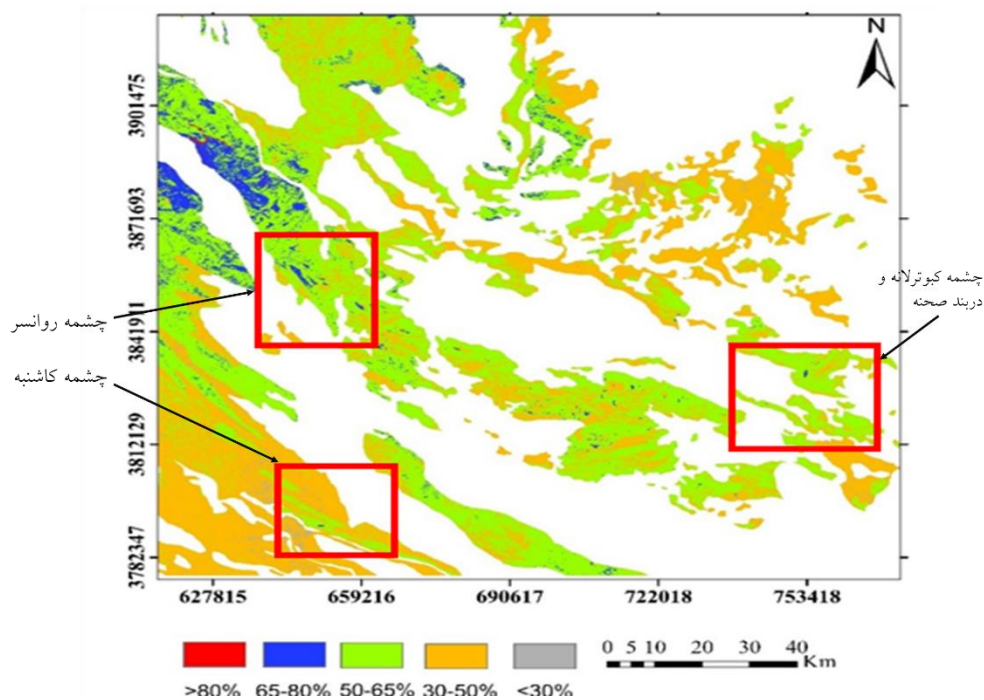
علاوه بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ارزیابی و تحلیل هیدروگراف چشمه (تغییرات زمانی دبی چشمه) روشی است که با آن، بستر تغذیه و میزان کارستی بودن حوضه آبریز به‌خوبی نشان داده می‌شود (Maghsoudi et al. 2010).

**برآورد میزان تغذیه در حوضه آبریز چشمه‌های موجود**  
در مطالعه حاضر از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ارزیابی میزان تغذیه استفاده شد؛ به این منظور، ۹ لایه اطلاعاتی شامل شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، تراکم خطواره، تراکم آبراهه، بارش، تراکم پوشش گیاهی، پوشش





شکل ۲- نقشه نهایی برآورد تغذیه بر اساس قضاوت کارشناسی، تأثیرگذاری شاخص‌ها و روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)



شکل ۳- نقشه نهایی برآورد تغذیه در منطقه مطالعه شده

شد.

$$I = \frac{\sum_{1}^n A_1 \cdot I_1 + A_2 \cdot I_2 + \dots + A_n \cdot I_n}{A_t}$$

رابطه ۱

$$W = P \cdot I \cdot A$$

رابطه ۲

در این رابطه، I نرخ نفوذ سالانه، W حجم آب نفوذیافته،

A مساحت و P بارندگی است.

بر اساس نقشه نهایی به دست آمده از توان تغذیه در منطقه

مطالعه شده و پراکندگی مقدار بارش میانگین در منطقه، مقدار تغذیه به شکل زیر برآورد شد:

برای به دست آوردن میزان نفوذ سالانه، ابتدا ضریب نفوذ

از رابطه ۱ محاسبه و حجم تغذیه سالانه از رابطه ۲ برآورد

در این رابطه،  $P$  حجم بارش سالانه،  $I$  نرخ تغذیه مربوط به هر رده،  $A$  مساحت مربوط به هر رده،  $A_t$  مساحت کل منطقه و  $W$  حجم تغذیه سالانه در منطقه است.

رابطه ۳ مشابه رابطه ۱ است و برای برآورد تغذیه به کار رود و نتایج حاصل یکسانند.

$$W = P \cdot \sum I_n \frac{A_n}{A_t} \quad \text{رابطه ۳}$$

جدول ۲- درصد تغذیه کلی محاسبه شده و مساحت هر رده در شکل‌های ۲ و ۳

مساحت (کیلومترمربع)	میانگین درصد نفوذ	درصد نفوذ	روش استفاده شده
۶۹		$\geq 30\%$	
۴۷۳۲		۳۰-۵۰٪	
۴۳۹۰	۰/۴۸	۵۰-۶۵٪	روش کارشناسی
۱۹۸		۶۵-۸۰٪	
۰/۲۵		$< 80\%$	
۸		$\geq 30\%$	
۲۷۹۰		۳۰-۵۰٪	
۵۴۴۴	۰/۵۴	۵۰-۶۵٪	روش تأثیرگذاری شاخص‌ها
۱۱۲۴		۶۵-۸۰٪	
۲۱		$< 80\%$	
۲۳۹۳		$\geq 40\%$	
۵۰۲۷		۴۰-۵۰٪	
۱۷۶۰	۰/۴۶	۵۰-۶۵٪	روش مقایسه زوجی
۲۰۱		۶۵-۸۰٪	
۱۰		$< 80\%$	
۵۰/۵		$\leq 30\%$	
۸۱/۲۵		۳۰-۵۰٪	
۶۶/۶۵	۰/۵۰	۵۰-۶۵٪	جمع‌بندی
۲۲/۲۵		۶۵-۸۰٪	
۱۲/۸		$< 80\%$	

سالانه تخلیه شده به واسطه چشمه، محاسبه‌ها در چندین بازه زمانی انجام شدند و در نهایت، میانگین بارش و تغذیه در منطقه و مساحت حوضه آبرگیر چشمه‌ها با استفاده از حجم آب تخلیه شده چشمه ترسیم شد. از آنجاکه جهت حرکت آب زیرزمینی متأثر از ویژگی‌های توپوگرافی منطقه است، ترسیم حوضه آبرگیر با توجه به این مطلب انجام شد.

• بررسی تأثیر چینه‌شناسی حوضه‌های آبرگیر ترسیم شده روی آبدهی چشمه  
پس از بازدید صحرایی و نمونه برداری ماهانه از چشمه‌ها،

• ترسیم حوضه‌های آبرگیر چشمه‌های مدنظر

مقادیر تغذیه محاسبه شده به طور میانگین برای کل مناطق (نه فقط مناطق مشخص شده در شکل ۳) محاسبه و برآورد میانگین تغذیه در ارتفاعات اطراف چشمه‌ها با روابط ۱، ۲ و ۳ صرفاً برای ارتفاعات اطراف هر چشمه ارزیابی شد؛ بر اساس این، میانگین تغذیه در اطراف چشمه‌های روانسر، کبوترلانه و صحنه حدود ۵۸ درصد و برای چشمه کاشنبه ۴۷ درصد محاسبه شد. پس از انجام این محاسبه‌ها، مقدار بارش میانگین از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مستقر در منطقه دریافت شد. به منظور دستیابی به برآورد درستی از حجم آب



ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها ارزیابی شدند. شاخص‌های هدایت الکتریکی، اسیدیته، درجه حرارت آب، غلظت دی‌اکسیدکربن محلول و غلظت یون‌های اصلی آب چشمه شامل یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، بیکربنات، کلر، سولفات و نیتрат به‌طور ماهانه در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. پس از برآورد مقدار تغذیه در منطقه (با استفاده از چند روش وزن‌دهی در GIS)، حوضه‌های آبرگیر هر چشمه ترسیم و چینه‌شناسی هر کدام ارزیابی شد.

• **بررسی جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی**  
به‌طور کلی جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی به دو دسته کلی تقسیم می‌شود: نوع اول، جریانانی است که از مجاری، درزه شکاف‌های با بازشدگی معمولاً بیشتر از ۱

سانتی متر عبور می‌کند و آن را جریان مجرای می‌گویند؛ نوع دوم، جریان از درون درزه و شکاف‌های کوچک با بازشدگی نسبتاً کم (معمولاً کمتر از ۱ سانتی‌متر) است که به آن، جریان افشان گفته می‌شود (Karami 2002). درجه ناهمگنی و اتصالات مجاری انتقال‌دهنده آب در این دو سیستم متفاوت است؛ به این ترتیب که جریان مجرای درجه ناهمگنی زیاد و درجه اتصالات اندک دارد و این امر در جریان افشان برعکس است. معیارهای مختلفی برای ارزیابی سیستم غالب جریان در آبخوان‌های کارستی وجود دارند که بررسی تغییرات زمانی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب چشمه‌های کارستی از مهم‌ترین آنهاست. ضریب تغییرات تقریبی شاخص‌های فیزیکی-شیمیایی هر دو نوع سیستم جریان در آبخوان کارستی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- ضریب تغییرات تقریبی برای شاخص‌های فیزیکی-شیمیایی هر دو نوع سیستم جریان در آبخوان کارستی (Karami 2009)

شاخص	سیستم جریان افشان	سیستم جریان مجرای
دبی	کمتر از ۳۰ درصد	بیشتر از ۳۰ درصد
دما	کمتر از ۱۰ درصد	بیشتر از ۱۰ درصد
هدایت الکتریکی	کمتر از ۱۰ درصد	بیشتر از ۱۰ درصد
اسیدیته	کمتر از ۵ درصد	بیشتر از ۵ درصد
سختی	کمتر از ۱۰ درصد	بیشتر از ۱۰ درصد
کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی	کمتر از ۱۰ درصد	بیشتر از ۱۰ درصد

مطالعه شده بخشی از زون زاگرس مرتفع و چین‌خورده است و رخنمونی از سنگ‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک در آن مشاهده می‌شود که از نظر ساختاری از ویژگی‌های این زون تبعیت می‌کند. گسل‌های بسیاری در این منطقه وجود دارند که راستای غالب شمال‌غرب-جنوب‌شرق را دارند و سازوکار غالب آنها معکوس است. گسل‌ها نقش مهمی در ایجاد شکستگی در سازندهای آهکی منطقه و توسعه کارست در آنها دارند. در ادامه، ویژگی‌های چینه‌شناسی و هیدروژئولوژیکی حوضه آبرگیر هر چشمه بررسی می‌شود.

آهک‌های ضخیم‌لایه و توده‌ای با درجه خلوص بیشتر، مستعد انحلال بیشتر و ایجاد مجاری بازتر و داشتن جریان مجرای اندک‌تر است. سیستم‌های کارستی با جریان مجرای عمدتاً در سنگ‌های آهکی ضخیم‌لایه توده‌ای ایجاد می‌شوند؛ در حالی که جریان افشان عمدتاً در آهک‌های با خلوص کمتر (مانند آهک‌های مارنی) به وجود می‌آیند (Karami 2009).

#### بحث

بر اساس مطالعه‌های جان بروود (J. Broud) که نتیجه آن در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی کرمانشاه مشهود است، منطقه

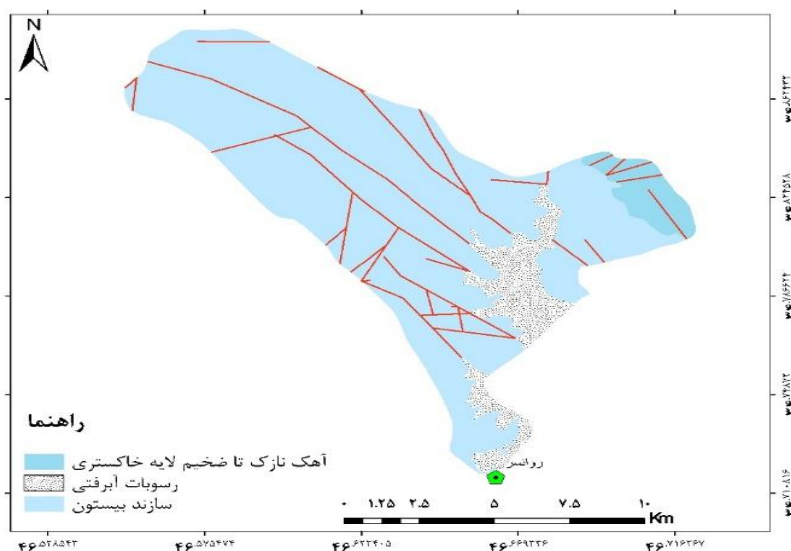
### حوضه آبخیز سراب روانسر

حوضه آبخیز این چشمه در واحد سنگی سازند بیستون قرار دارد و همانند مقطع تیپ، متشکل از آهک‌هایی به سن تریاس بالایی است؛ واحدهای دولومیتی روی این آهک‌ها پدیدار و با لایه‌های آهکی پوشیده می‌شوند. برود (Braud 1978) برش و مقطع تیپ این واحد را در ناحیه بیستون مطالعه کرد. این آهک‌ها در آغاز لایه‌لایه‌اند و سپس به طبقه‌های توده‌ای تبدیل می‌شوند. تمام این واحدها با عنوان سازند بیستون شناخته می‌شوند.

افق‌های کرتاسه بالایی آهک‌های بیستون در برش تیپ آن وجود ندارند، بلکه در شمال روانسر و در بخشی از حوضه آبخیز چشمه روانسر شناسایی و مطالعه شده‌اند. این افق شامل مجموعه‌ای آهکی به ضخامت ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر و دارای میکروفسیل‌های گلوبوترونکانا به سن کرتاسه بالایی است که با یک واحد آهکی نازک تا ضخیم‌لایه به سن میوسن پوشیده می‌شود (شرح نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمانشاه، ۱:۱۰۰۰۰۰ کامیاران، Motiei 2003). رسوبات جوان مخروط‌افکنه‌ای در

بخشی از حوضه آبخیز این چشمه وجود دارند (شکل ۴).

مساحت حوضه آبخیز سراب روانسر با استفاده از روش یادشده در بخش ترسیم حوضه آبخیز چشمه‌ها حدود ۱۰۰ کیلومترمربع است که بخش عمده آن در سازند بیستون قرار دارد. این آهک‌ها از نظر هیدروژئولوژیکی پتانسیل زیادی برای کارستی شدن دارند؛ به‌همین علت، فروچاله‌ها و دیگر عوارض کارستی به‌طور درخور توجهی در این سازند گسترش یافته‌اند. آهک‌های ضخیم‌لایه تا توده‌ای این سازندها بخش اساسی آبخوان کارستی منطقه را شامل می‌شوند و پدیده کارستی شدن به‌طور گسترده در این مجموعه رخ داده است. وجود عوارض کارستی پیشرفته از جمله فروچاله‌ها و فضا‌های انحلالی از بارزترین شاخص‌های توسعه کارست است (شکل‌های ۹ و ۱۰). ارزیابی‌های انجام‌شده روی دبی، هدایت الکتریکی و غلظت یون‌های محلول در آب خروجی چشمه از دیگر دلایل توسعه‌یافتن یا توسعه‌نیافتن کارست است که در ادامه شرح داده می‌شوند.



شکل ۴- سنگ‌شناسی در محدوده سراب روانسر

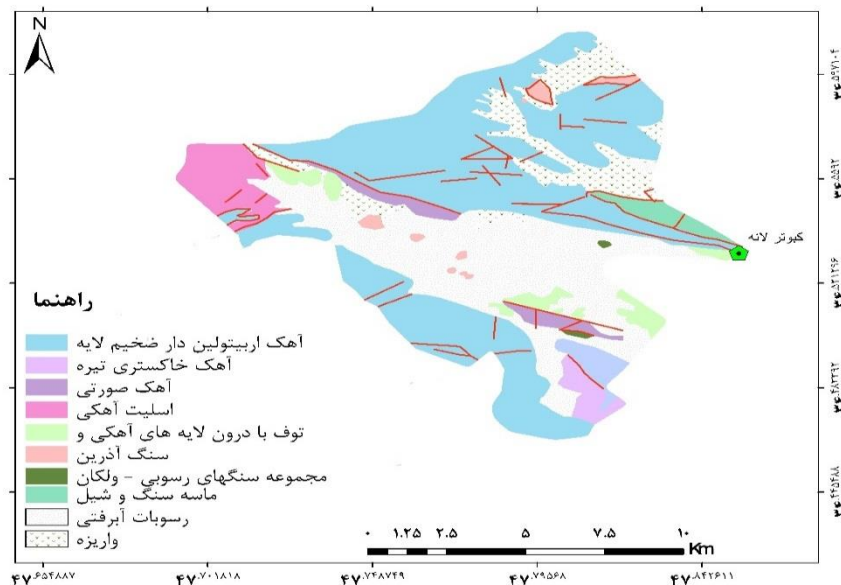
### حوضه آبخیز سراب کبوترلانه

عمده حوضه آبخیز این چشمه در واحد آهک‌های اربیتولین‌دار روشن تا خاکستری‌رنگ نازک تا ضخیم‌لایه به سن کرتاسه

قرار گرفته است. این واحد آهکی با کتاکت گسلی در مجاورت ماسه‌سنگ، شیل و رسوبات مخروط‌افکنه‌ای از یک سو و از سوی دیگر با سطح تماس گسله تراستی در مجاورت

کیلومترمربع است. باوجود رخنمون سنگ‌های آذرین، بخش عمده حوضه آبخیز چشمه در واحد آهکی اربیتولین دار روشن تا خاکستری‌رنگ قرار گرفته است (شکل ۵). آهک‌هایی که حوضه آبخیز چشمه در آنها قرار دارد، پتانسیل زیادی از نظر هیدروژئولوژیکی برای کارستی‌شدن دارند؛ به‌همین علت، برخی عوارض کارستی به‌طور درخور توجهی در این واحد آهکی گسترش یافته‌اند.

آهک‌های صورتی، شبه‌فلیش، توف با درون‌لایه‌های آهکی و واریزه و رسوبات آبرفتی قرار گرفته است. رخنمون مشخصی از سنگ‌های آذرین (آندزیت و تراکی‌آندزیت) در کنار سنگ‌های رسوبی نکته درخور توجهی در چینه‌شناسی این حوضه آبخیز است و این موضوع را می‌توان با مجاورت این بخش از زاگرس با زون سنندج-سیرجان مرتبط دانست. مساحت حوضه آبخیز سراب کبوترلانه حدود ۱۱۲

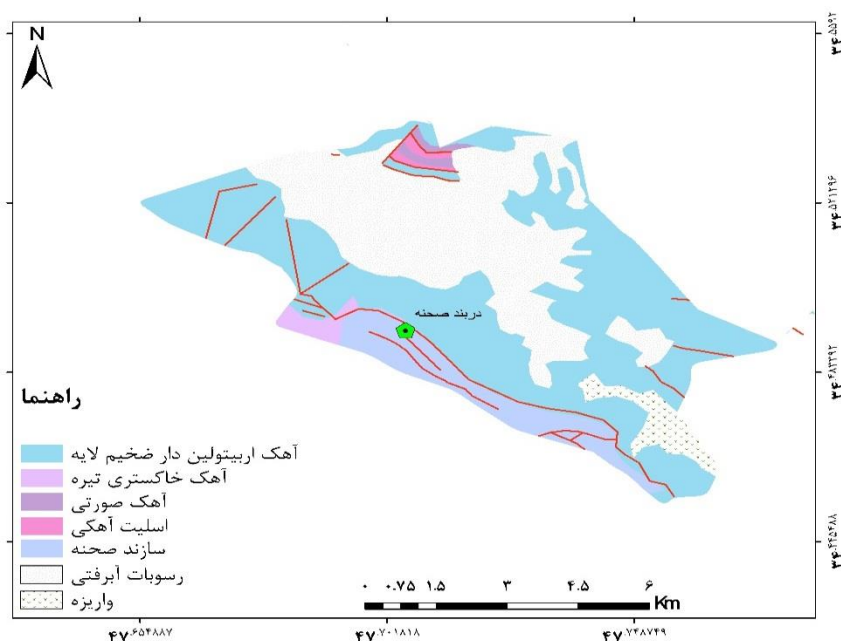


شکل ۵- سنگ‌شناسی در محدوده سراب کبوترلانه

و جریان خروجی چشمه را کنترل می‌کند. در بخشی از حوضه آبخیز، تناوبی از آهک صورتی و اسلیت آهکی مشاهده می‌شود که در محل چند گسل کوچک رخنمون دارند، چشمه در دره گسله‌ای ایجاد شده است، تخلیه در دو سمت دیواره گسله به شکل چشمه‌های کوچک انجام می‌شود و در مجموع، چشمه در بند را تشکیل می‌دهد. عوارض مهم کارستی در بازدید صحرایی از حوضه آبخیز این چشمه مشاهده نشدند. مساحت حوضه آبخیز این چشمه کارستی حدود ۴۸ کیلومترمربع است.

#### حوضه آبخیز چشمه دربند صحنه

چند واحد آهکی مختلف که در مجاورت یکدیگر قرار گرفته‌اند، حوضه آبخیز دربند صحنه را تشکیل می‌دهند (شکل ۶). از آنجاکه حوضه آبخیز سراب کبوترلانه و چشمه دربند در مجاورت هم قرار دارند، سنگ‌شناسی حوضه آبخیز آنها دارای رخنمونی از واحدهای مشترک است؛ آهک‌های اربیتولین دار روشن تا خاکستری‌رنگ نازک تا ضخیم‌لایه به سن کرتاسه در سطح تماس گسله با آهک نازک‌لایه و آهک‌های مارنی خاکستری تا سبز که در بخش‌هایی دارای میان‌لایه‌های نازکی از شیل است. این واحد در محل ظهور چشمه واقع شده است

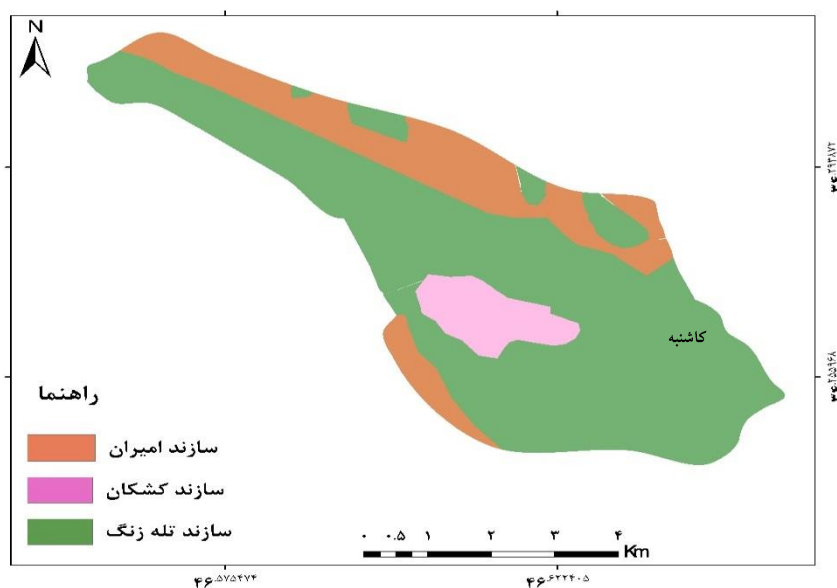


شکل ۶- سنگ‌شناسی در محدوده چشمه دربند صحنه

کوچک و حفرة انحلالی در این منطقه وجود دارند، سایر عوارض کارستی به‌فراوانی دیگر مناطق نیستند. مساحت حوضه آبگیر سراب کاشنبه حدود ۲۸ کیلومترمربع است که تقریباً همه حوضه آبگیر در واحدهای سنگی یادشده قرار دارد.

#### حوضه آبگیر سراب کاشنبه

حوضه آبگیر سراب کاشنبه متشکل از سازند آواری- کریناته امیران به سن پالئوژن و آهک‌های تله‌زنگ و کشکان به سن اتوسن است (شکل ۷). در حوضه آبگیر این چشمه برخلاف سایر حوضه‌های آبگیری که در پژوهش حاضر بحث شدند، پوشش گیاهی به‌خوبی مشاهده می‌شود. اگرچه چندین غار

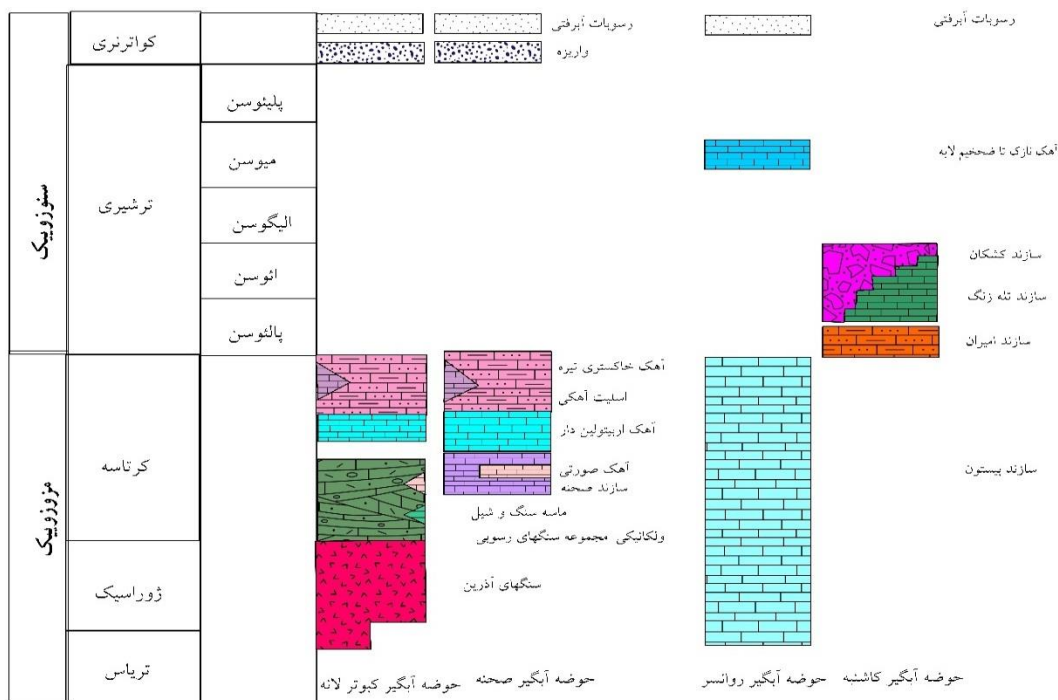


شکل ۷- سنگ‌شناسی در محدوده چشمه کاشنبه

**ستون چینه‌شناسی در محدوده چشمه‌های مطالعه‌شده**

شکل ۸، ستون چینه‌شناسی در محدوده چشمه‌های مطالعه‌شده را مقایسه می‌کند. همان‌طور که از ستون چینه‌شناسی منطقه مشخص است، حوضه آبخیز چشمه روانسر سنگ‌شناسی کاملاً آهکی دارد، این سازندها انحلال‌پذیری زیادی دارند و سن نسبتاً قدیمی این تشکیلات آهکی برهنه (تریاس بالایی تا ژوراسیک) از یک سو و بارندگی مناسب در این منطقه از سوی دیگر، شرایط را برای انحلال‌های وسیع در این آهک‌ها

فراهم کرده است؛ عوارض کارستی گسترده مشاهده‌شده در این مناطق گویای مطلب یادشده است (شکل‌های ۹ و ۱۰). سراسر حوضه آبخیز دارای فروچاله و دشت‌های گسترده در ارتفاعات است. تکتونیک فعال حوضه زاگرس شرایط را برای نفوذ بیشتر آب و در نتیجه، انحلال آهک فراهم کرده است. این چشمه نوسانات آبدهی بسیار شدیدی دارد؛ به‌گونه‌ای که آبدهی آن از چندین مترمکعب در ثانیه در بهار تا چند صد لیتر در ثانیه در پاییز و زمستان متغیر است.



شکل ۸- مقایسه ستون چینه‌شناسی حوضه‌های آبخیز



شکل ۹- فروچاله‌ها و پلیه موجود در یکی از ارتفاعات منطقه





شکل ۱۰- آثار انحلالی بر سطح سنگ‌های موجود در منطقه

بخش عمده حوضه آبخیز بالادست چشمه دربند صحنه با آبرفت‌های عهد حاضر و بخشی نیز در نزدیکی مظهر چشمه با اسلیت‌های آهکی و آهک مارنی با میان‌لایه‌های شیل پوشیده شده است که هر دوی این لیتولوژی‌ها نقش کنترل‌کننده آب خروجی از چشمه را ایفا می‌کنند. چشمه کاشنبه با حوضه آبخیزی متشکل از سازند تله‌زنگ، امیران و کشکان کمترین نوسانات آبدهی (شکل ۹، الف) و بیشترین پوشش گیاهی را بین حوضه آبخیز چشمه‌های انتخابی دارد (شکل ۱۱).

بخشی از سنگ‌شناسی دو حوضه آبخیز چشمه‌های کبوترلانه و صحنه یکسان است و هر دو آهک‌های کرتاسه، اسلیت‌های آهکی و آهک صورتی‌رنگ دارند. تفاوت اصلی سنگ‌شناسی حوضه آبخیز کبوترلانه به مجموعه سنگ‌های رسوبی-ولکانیکی و سنگ‌های آذرینی برمی‌گردد که در حوضه آبخیز کبوترلانه رخمون دارند؛ از سوی دیگر، این واحدهای سنگی بخش نسبتاً کمی از حوضه آبخیز سراب کبوترلانه را تشکیل می‌دهند و از آنجاکه واحدهای آهکی کرتاسه وسعت زیاد و تأثیرگذاری بیشتری روی آبدهی دارند، نوسانات بیشتری نسبت به چشمه دربند دارد (شکل ۱۳، الف و جدول ۴).



شکل ۱۱- پوشش گیاهی در حوضه آبخیز چشمه کاشنبه (سمت راست) و چشمه کبوترلانه (سمت چپ)

بیشتری نسبت به حوضه آبخیز کاشنبه وجود دارد؛ به گونه‌ای که این فضای انحلالی به خوبی در دهانه اصلی

در سراب روانسر به علت خلوص آهک‌ها و توده‌ای بودن لایه‌ها، درجه کارستی شدن زیاد و مجاری و فضاهای انحلالی



بیشتری از حوضه آبرگیر را به خود اختصاص می‌دهد، نقش بیشتری در آبدهی و نوسانات دبی آن چشمه دارد.

چشمه دیده می‌شود (شکل ۱۲). چشمه‌هایی که چند واحد سنگ‌شناسی مختلف را در حوضه آبرگیر خود دارند، واحدی سنگی که از نظر کارستی توسعه‌یافته‌تر است و مساحت



شکل ۱۲- دهانه اصلی چشمه روانسر در بهمن‌ماه ۹۵ (سمت راست) و اردیبهشت‌ماه ۹۶ (سمت چپ)

بیان‌کننده تخلیه ناگهانی و زیاد آب زیرزمینی از مجاری انحلالی باز است که به ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی سراب روانسر و نقش کارست‌های توسعه‌یافته در آهک‌های ضخیم‌لایه و توده‌ای سازند بیستون در تخلیه ناگهانی آب از این آبخوان کارستی مربوط می‌شود. این شرایط پس از سراب روانسر با شدت کمتری برای سراب کبوترلانه وجود دارد که نشان‌دهنده توسعه کارست در منطقه، اما اندکی کمتر از سفره آبدار سراب روانسر است. وجود واحدهای سنگی ماسه‌سنگی و آذرین نیز در این رخداد تأثیر دارد و از سوی دیگر به علت کوچک‌تر بودن حوضه آبرگیر این چشمه، آبدهی کمتری دارد.

#### بررسی تغییرات زمانی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب چشمه

تغییرات آبدهی، تغییر دمای چشمه و تغییرات ویژگی‌های کیفی چشمه‌ها در مناطق کارستی بیان‌کننده ویژگی‌های توسعه کارست در آن منطقه است؛ با توجه به تغییرات سیستم جریان چشمه‌ها، روند تغییرات شاخص‌های اندازه‌گیری شده در هر کدام از چشمه‌ها تحلیل می‌شود.

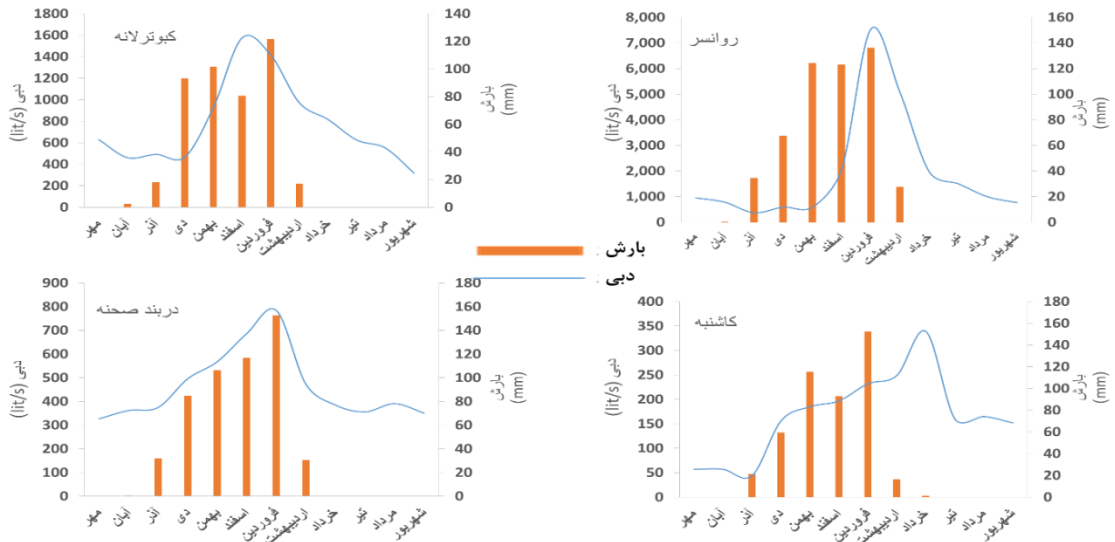
همان‌طور که از شکل ۱۴ و جدول ۴ مشخص است، آبدهی سراب روانسر با تغییرات زیادی همراه است و دبی آن از اواخر زمستان و در طول بهار به شدت افزایش می‌یابد و اوج کاملاً مشخصی را نشان می‌دهد؛ چنین هیدروگرافی‌ای

جدول ۴- ضریب تغییرات شاخص‌های اندازه‌گیری شده در چشمه‌ها

شاخص	سرآب روانسر		سرآب کبوترلانه		سرآب کاشنبه		چشمه دربند	
	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)
دبی (L/s)	۱۹۳۲	۱۰۷	۷۷۱	۴۶	۱۶۶	۴۹	۴۶۲	۳۰
اسیدیته	۷/۴۴	۳	۷/۵۴	۳	۷/۳۷	۲	۷/۷۳	۲
دما (C°)	۱۵	۷	۱۳	۲	۱۴	۳	۱۶	۲
هدایت الکتریکی (µs/cm)	۳۱۵	۹	۲۵۰	۱۰	۳۵۹	۴	۲۴۵	۱۱
کلسیم (meq/L)	۲/۶۱	۹	۲/۲۷	۱۴	۲/۴۵	۷	۲/۲۶	۶
منیزیم (meq/L)	۱/۲۰	۱۵	۱/۰۵	۴۹	۱/۸۶	۱۷	۱/۱۱	۲۱
سدیم (meq/L)	۰/۰۶	۱۱	۰/۰۷	۳۹	۰/۱۱	۱۳	۰/۰۹	۲۸
پتاسیم (meq/L)	۰/۰۱	۴۳	۰/۰۰۸	۰/۱	۰/۰۱	۱۰	۰/۰۱	۰/۱
بی‌کربنات (meq/L)	۳/۰۹	۷	۲/۷۱	۶	۳/۶	۴	۲/۷۶	۳
کلر (meq/L)	۰/۳۶	۴۵	۰/۱۲	۱۶	۰/۰۱	۱۹	۰/۰۹	۱۰
سولفات (meq/L)	۰/۵۷	۳۱	۰/۳۸	۱۹	۰/۳۱	۸	۰/۲۰	۱۳

همان‌طور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، اثر آب‌های ورودی روی مقدار آب خروجی چشمه با اختلاف حدود دو ماه در چشمه‌های روانسر و کبوترلانه نمایان می‌شود. دربند صحنه با شیب ملایمی هم‌زمان با افزایش بارش‌ها، افزایش دبی را نشان می‌دهد. در هیدروگراف چشمه صحنه دیده می‌شود (شکل ۱۴، الف) دبی چشمه در زمستان تا اواسط بهار مقداری افزایش می‌یابد و اوج نسبتاً مسطح را نشان می‌دهد؛ درحقیقت، تغییرات دبی ناچیز است که بیان‌کننده تخلیه تدریجی آب زیرزمینی است و این موضوع نقش واحد آهک مارنی با میان‌لایه‌های شیل و همچنین اسلیت‌های آهکی را در تخلیه تدریجی آب از این منطقه کارستی نشان می‌دهد.

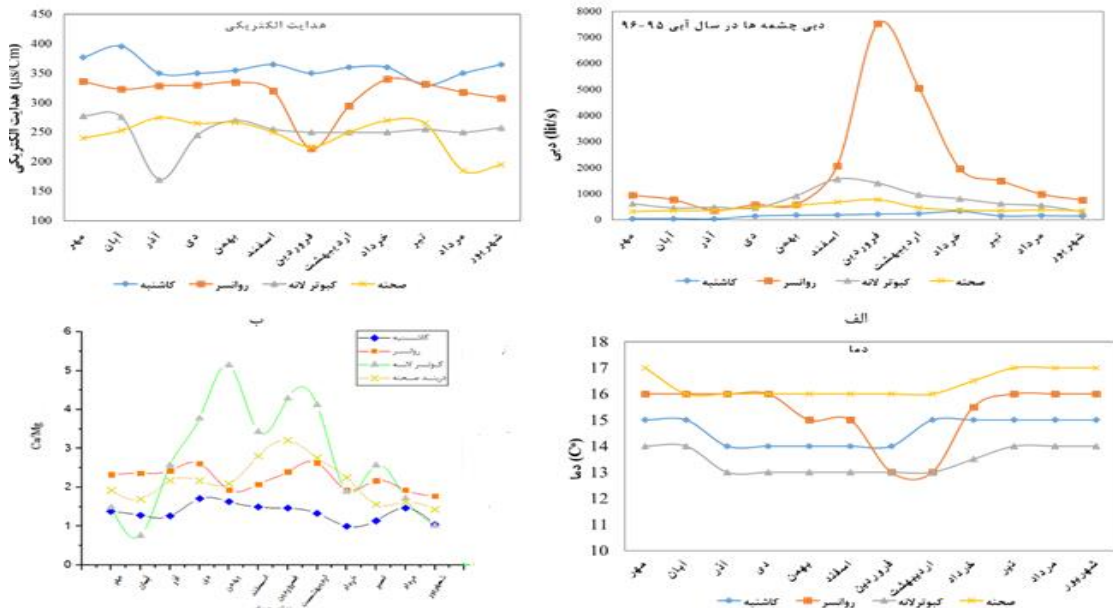
هیدروگراف سرآب کاشنبه تغییرات بسیار کمتری را نشان می‌دهد و اوج هیدروگراف این چشمه با تأخیر زمانی نسبت به دیگر هیدروگراف‌های مطرح‌شده در پژوهش حاضر، در اربیهشت و خرداد اتفاق می‌افتد (شکل ۱۳) که بیان‌کننده حضورنداشتن مجاری انحلالی بزرگ در آبخوان کارستی این چشمه است که آب تغذیه‌شده در آن به‌طور تدریجی و با تأخیر زمانی نسبت به بارش‌های رخ داده در منطقه اتفاق افتاده است؛ چنین هیدروگرافی بیان‌کننده تخلیه تدریجی آب زیرزمینی است. با توجه به فاصله مکانی چشمه‌ها از یکدیگر، هیدروگراف هر چشمه با مقدار بارش ماهانه ثبت‌شده در ایستگاه نزدیک به همان چشمه ارزیابی شد.



شکل ۱۳- پاسخ چشمه‌ها به رخداد بارندگی در سال آبی ۹۶-۱۳۹۵

بی‌رنگ نشان‌دهنده نقطه‌ی اکوی والان است و در اینجاست که باید تیترا را متوقف کرد. به‌منظور اندازه‌گیری کربنات، چند قطره فنل فتالین به مقدار مشخصی از نمونه آب در محل نمونه‌برداری اضافه می‌شود؛ اگر کربنات در نمونه وجود داشته باشد، رنگ آن صورتی می‌شود. هیچ‌یک از نمونه‌ها در صحرا نشانه‌های وجود کربنات را نشان ندادند.

از میان شاخص‌های فیزیکوشیمیایی یادشده، دما، اسیدیته، هدایت الکتریکی، کربنات و بی‌کربنات در صحرا و در زمان نمونه‌برداری به روش تیتراسیون، اندازه‌گیری شدند. معرف فنل فتالین با یون کربنات ترکیب می‌شود و رنگ صورتی ایجاد می‌کند. رنگ صورتی ایجادشده پس از تیتراژ با اسید و کم‌شدن اسیدیته محیط تغییر می‌کند؛ درحقیقت، نخستین لحظه تغییر رنگ دائمی از صورتی به

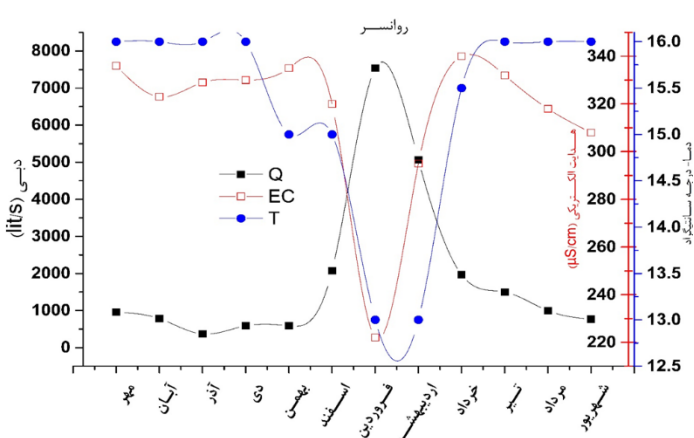
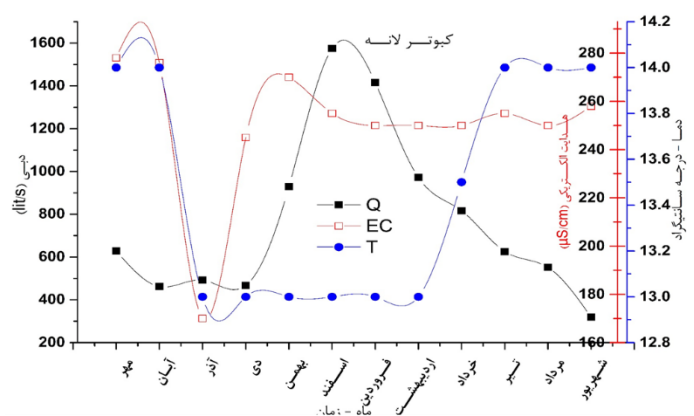
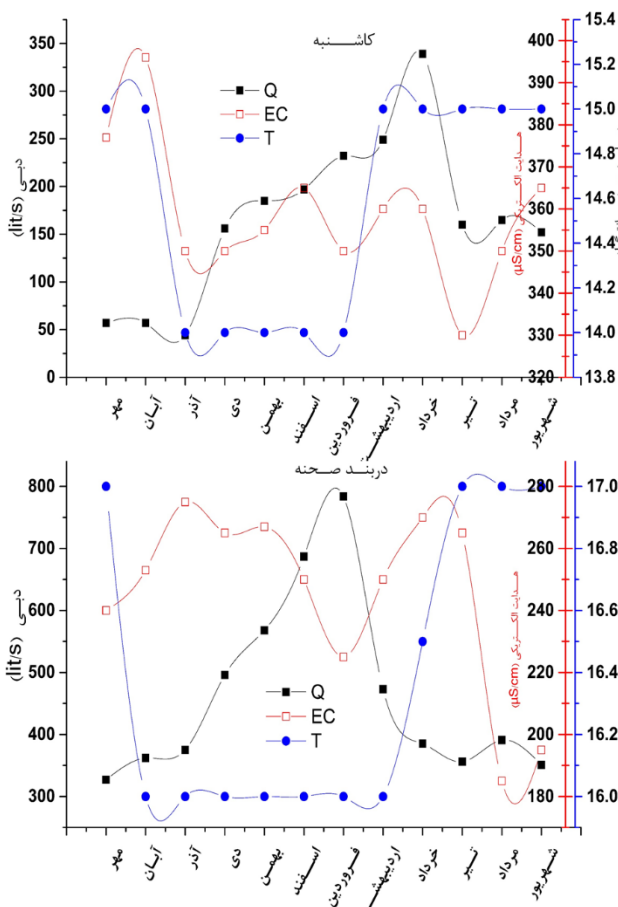


شکل ۱۴- مقایسه آبدهی (الف)، هدایت الکتریکی (ب)، دما (ج) و نسبت کلسیم به منیزیم (د) در چشمه‌های مطالعه‌شده طی سال آبی ۹۶-۹۵

اوج گرفتن دبی نشان می‌دهد و پس از افزایش مقدار دبی، مقدار هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد که به ماندگاری آب در مجاری انحلالی و درزه‌ها و شکاف‌ها مربوط است و با افزایش دبی، ابتدا آب باقیمانده خارج می‌شود و سپس میزان هدایت الکتریکی به مقدار تقریباً ثابتی می‌رسد.

از میان چشمه‌های بررسی شده، نسبت کلسیم به منیزیم در سراب کاشنبه از همه کمتر، نزدیک به یک و تقریباً بدون نوسان خاصی است که به دولومیت سازند تله‌زنگ در حوضه آبرگیر این چشمه مربوط می‌شود. در حوضه آبرگیر کبوترلانه، میزان آهک بیشتر از دولومیت است و نسبت مقدار کلسیم به منیزیم در چشمه دربند صحنه مانند سراب کبوترلانه اندکی نوسان و اوج گرفتن دارد؛ اما میزان آن نسبت به کبوترلانه کمتر است (شکل‌های ۱۴ و ۱۵).

اگرچه مقادیر هدایت الکتریکی در سراب کاشنبه تقریباً ثابت است، نوسانات اندکی در آن مشاهده می‌شود. بیشترین نوسان در مقدار شاخص هدایت الکتریکی به سراب روانسر مربوط است و چشمه دربند و سراب کبوترلانه بین این دو قرار دارند؛ این موضوع مؤید درجه توسعه کارست در حوضه‌های آبرگیر این چشمه‌هاست. از میان چشمه‌ها، دربند صحنه دمای نسبتاً بیشتری دارد و بیشترین نوسان به سراب روانسر مربوط است که تغییرات دما، دبی و هدایت الکتریکی ارتباط خوبی را نشان می‌دهند؛ به گونه‌ای که با افزایش دبی، دما و هدایت الکتریکی کاهش درخور توجهی را از خود نشان می‌دهند که به ورود آب تازه به مجاری بزرگ کارست و انتقال سریع آب به خروجی چشمه مربوط است. سراب کبوترلانه کمترین میزان هدایت الکتریکی را پیش از



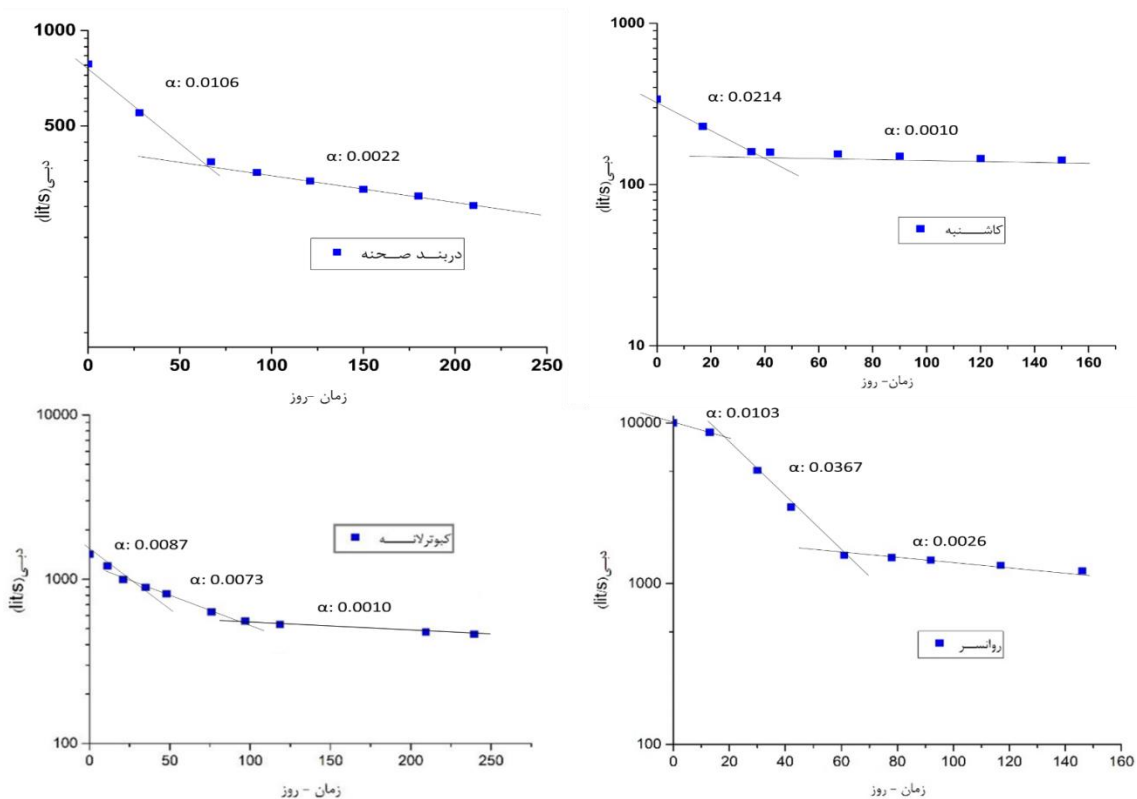
شکل ۱۵- ارتباط هدایت هیدرولیکی و دمای چشمه با آبدی چشمه‌ها از مهر ۱۳۹۵ تا شهریور ۱۳۹۶

در این رابطه،  $\alpha$  ضریب کاهش دبی و  $Q$  دبی چشمه بر حسب مترمکعب بر ثانیه در زمان‌های  $t_0$  و  $t$  است.

یک چشمه بر اساس میزان توسعه کارست حوضه آبرگیر آن چشمه از یک تا چند ضریب چشمه متفاوت دارد. در آبخوان‌های کارستی توسعه‌یافته مانند حوضه آبرگیر چشمه روانسر، منحنی فرود چشمه معمولاً از چند رژیم با ضرایب آبدهی متفاوت پیروی می‌کند (جدول ۵). در رژیم اول، تخلیه آب زیرزمینی از غارهای مجاری بزرگ انجام می‌شود و حجم زیادی از آب ذخیره‌شده در آبخوان از طریق این مجاری با سرعت زیاد تخلیه می‌شود و جریان متلاطم را تشکیل می‌دهد. در رژیم دوم، آب چشمه از طریق شکاف‌های مرتبط که به‌طور نسبتاً کمتری بازشدگی دارند، تأمین می‌شود در رژیم آخر، آب از خلل و فرج ریزتر و درزه شکاف‌هایی با بازشدگی اندک خارج می‌شود (Karami 2009).

برآورد ضریب فرود یا ضریب کاهش دبی چشمه از طریق ترسیم منحنی فرود چشمه انجام می‌شود (شکل ۱۶). منحنی فرود هر چشمه معرف روبه‌خشکی رفتن جریان سطحی هر چشمه است و از ترسیم نیمه‌نمایی دبی در برابر زمان، از زمان اوج دبی تا افزایش دوباره دبی در آغاز دوره تر بعدی، حاصل می‌شود. در سال آبی ۹۶-۹۵ تا دی‌ماه بارش درخور توجهی رخ نداد و این امر را می‌توان علت تأخیر در اوج هیدروگراف در این سال آبی دانست. پس از ترسیم منحنی فرود چشمه، شیب خط یا خطوط شکسته ایجادشده معرف ضریب یا ضرایب کاهش دبی ( $\alpha$ ) آن چشمه است که از رابطه ۴ محاسبه می‌شود (Milanovic 1981 & Bonacci 1993 in: Mailliet 1905). ضریب دبی، توانایی آبخوان کارستی را در ذخیره‌سازی آب بیان می‌کند و تابع تخلخل مؤثر و قابلیت انتقال آن آبخوان است.

$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{0.4343 t - t_0} \quad \text{رابطه ۴}$$



شکل ۱۶- منحنی فرود چشمه‌های مطالعه‌شده

$$V = 86400 \left( \frac{Q_{01}}{\alpha_1} + \frac{Q_{02}}{\alpha_2} + \dots + \frac{Q_{0n}}{\alpha_n} \right) \quad \text{رابطه ۶}$$

بر اساس این، ضرایب کاهش دبی چشمه‌های مدنظر به شرح زیر است:

حجم ذخیره دینامیک آبخوان تابعی از شرایط زمین‌شناسی و میزان کارستی شدن آن است و از رابطه ۵ به دست می‌آید (Bonacci 1993).

رابطه ۵  $V = Q_0/\alpha$   
در چشمه‌های با ضرایب دبی متفاوت، حجم ذخیره دینامیک از رابطه ۶ به دست می‌آید (Maghsoudi et al. 2010).

جدول ۵- ضرایب کاهش دبی در چشمه‌های انتخابی

نام چشمه	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	V(MCM)
روانسر	۰/۰۱۰۳۶	۰/۰۳۶۷۱	۰/۰۰۲۶۲	۱۵۳
کبوترلانه	۰/۰۰۸۷۳	۰/۰۰۷۳۳	۰/۰۰۱۰۸	۵۱
در بند صحنه	۰/۰۱۰۶۱	۰/۰۰۲۲۲	---	۲۱
کاشنبه	۰/۰۲۱۴۵	۰/۰۰۱۰۳	---	۱۴

مطالعه‌شده، چشمه کاشنبه با ضرایب دبی کمتر مؤید مشاهده‌های صحرایی مبنی بر توسعه‌یافتگی کمتر حوضه آبرگیر چشمه است؛ چینه‌شناسی نیز این مطلب را تأیید می‌کند. چشمه در بند صحنه به علت وجود لایه کنترل‌کننده آبدهی در مظهر چشمه دارای دو ضریب دبی است. در میان چشمه‌های بررسی شده، حجم ذخیره دینامیک چشمه روانسر بیشترین مقدار را دارد و چشمه کاشنبه با ۱۴ میلیون مترمکعب کمترین مقدار را نشان می‌دهد.

#### نتیجه

سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی و ساختارهای زمین‌شناسی منطقه، توزیع آبخوان‌ها در محیط‌های زمین‌شناسی را کنترل می‌کنند. سنگ‌شناسی، ترکیب یونی آب موجود در آبخوان و چینه‌شناسی، ارتباط میان حفره‌های انحلالی، طبقه‌ها و سازندها را سازمان‌دهی می‌کنند و ساختارهای زمین‌شناسی مانند گسل‌ها، درزه‌ها و چین‌ها تعیین‌کننده ویژگی‌های هندسی آبخوان پس از تغییر شکل هستند. درک این سه موضوع مهم‌ترین نقش را در فهم ویژگی‌های آبخوان دارد.

به‌طورکلی، آب خروجی از چشمه‌ها را می‌توان به سه بخش نسبت داد: بخش مجاری باز و فضاهای انحلالی، بخش مخلوطی از آب حاصل از ماتریکس سنگ و مجاری انحلالی و در نهایت، آبی که تنها ناشی از خروج از ماتریکس سنگ است (Xi and et al. 2018). مقدار ضرایب آلفا برای هر بخش بیشتر از بخش بعدی است؛ اما گاهی این روند اندکی متفاوت می‌شود. بر اساس ضرایب به‌دست‌آمده و مشاهده‌های صحرایی حوضه آبرگیر چشمه‌ها، چشمه روانسر با درجه توسعه کارست بالا دارای سه ضریب دبی مختلف است (شکل ۱۵)؛ باوجوداین، شیب ضریب آبدهی دوم این چشمه بیشتر از مقدار ضریب اول این چشمه است که این موضوع به علت کشیدگی و همچنین بارش برف زیاد در حوضه آبرگیر این چشمه است. بارش برف در حوضه آبرگیر چشمه سبب می‌شود خروج آب با شدت کمی انجام شود؛ اما مقدار ذوب برف با گرم‌تر شدن هوا افزایش می‌یابد و حجم زیادی از آب وارد سیستم کارست می‌شود که نتیجه آن، آبدهی درخور توجه چشمه روانسر است. این چشمه تأمین‌کننده آب سطحی (به‌شکل رودخانه) موجود در منطقه است. در میان چشمه‌های



پایدار و تقریباً بدون نوسان شدیدی دارد.

### سپاسگزاری

از دانشگاه صنعتی شاهرود برای دراختیار گذاشتن امکانات آزمایشگاهی و از پروفسور مایکل اشنايدر از دانشگاه FUB برای تجزیه و تحلیل نمونه‌ها سپاسگزاری می‌شود.

### References

- Atkinson T.C. 1977. Diffuse flow and conduit flow in limestone terrain in the Mendip Hills, Somerset (Great Britain), *Jour. Hydrology*, 35: 93-110.
- Benderitter Y. Roy B. and Tabbagh A. 1993. Flow characterization through heat transfer evidence in a carbonate fractured medium: First approach. *Water Resources Research*, 29(11): 3741-3747.
- Bonacci O. and Jelin J. 1988 Identification of a karst hydrological system in the Dinaric karst (Yugoslavia). *Hydrological Sciences Journal*, 33(5): 483-497.
- Bonacci O. 1993. Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers. *Hydrological Sciences Journal*.
- Bonacci O. 2001. Analysis of the maximum discharge of karst springs, *Hydrogeology Journal* 9:328-338.
- Braud, J. 1978. Geological map of Kermanshah quadrangle C6: Geological Survey of Iran, scale 1:250,000, 1 sheet.
- Ford D.C. and Williams P. 1989. *Karst Geomorphology and Hydrology*, Unwin Hyman, London, 601 p.
- Gunn J. 1986. A conceptual model for conduit flow dominated karst aquifers. In: *Karst Water Resources*, ed. G Gunnay & A. I. Johnson, Proc. Ankara Symp, July 1985, 587-596. IAHS Publ. no. 161.
- Hess W. Wiliam and White B. 1992. Groundwater geochemistry of the carbonate karst aquifer. South central Kentucky. U.S.A. *Applied Geochemistry*, 8:189.
- Jennings J. N. (1985). *Karst Geomorphology*, Oxford-New York, Basil Blackwell. 293 p.
- Karami G. H. 2009. The effect of stratigraphy on developing karst in catchment area of Cheshme-Ali, Damghan, *Journal of stratigraphy and sedimentology*, 25(1):39-52.
- Karami Gh. H. 2002. Assessment of heterogeneity and flow systems in karstic aquifers using pumping test data, PhD Thesis, Civil engineering and geosciences, University of Newcastle, 180 p.

نقش چینه‌شناسی در آبخوان‌های کارستی بسیار مهم است و اصلی‌ترین نقش را در توسعه‌یافتگی کارست و ایجاد مجاری و فضا‌های انحلالی مختلف آبخوان چشمه‌ها ایفا می‌کند؛ این موضوع به‌خوبی در ارزیابی چهار چشمه روانسر، کبوترلانه، دربند صحنه و کاشنبه مشاهده می‌شود. حوضه آبرگیر چشمه روانسر به‌علت وجود سازند بیستون دارای توسعه کارست زیاد و در نتیجه، تغییرپذیری زیاد آبدهی، هدایت الکتریکی و دماست. مطالعه‌های بسیاری در زمینه تعیین نوع جریان و حجم ذخیره دینامیک سفره آبدار کارستی انجام شده‌اند که عمدتاً ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب چشمه‌ها را ارزیابی کرده‌اند. سیستم ورودی حوضه آبرگیر چشمه‌ها نیز مهم است. تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب خروجی چشمه‌های مطالعه‌شده، متفاوت و متأثر از چینه‌شناسی و ویژگی‌های زمین‌شناسی حوضه آبرگیر این چشمه‌هاست. ضرایب دبی و تغییرات شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده و حجم ذخیره دینامیک چشمه روانسر بیان‌کننده غالب بودن کاملاً مشخص جریان مجرای در این چشمه است. با در نظر گرفتن ویژگی‌های چشمه کبوترلانه، سیستم غالب این چشمه نیز مجرای با درجه کمتر از روانسر است که به چینه‌شناسی متفاوت حوضه آبرگیر این چشمه مربوط می‌شود. چشمه دربند صحنه به‌علت مجاورت با چشمه کبوترلانه تا حدی ویژگی‌های مشابهی دارد، اما وجود لایه حاوی مارن در نزدیکی محل خروجی چشمه سبب شده است جریان آب زیرزمینی به‌طور تدریجی به چشمه برسد و ویژگی‌های چشمه، ویژگی‌های چشمه مجرای - افشان را از خود نشان دهد. در زمینه چشمه کاشنبه، ویژگی‌های سیستم ورودی در حوضه آبرگیر چشمه (نبود گودی‌های مسدود، فروچاله، فضا‌های انحلالی بزرگ، وجود پوشش خاک و به‌تبع آن پوشش گیاهی) غلبه بیشتر سیستم افشان را نشان می‌دهد؛ به عبارتی، سفره آبدار چشمه کاشنبه دارای سیستم افشان - مجرای است. این چشمه با وجود داشتن حوضه آبرگیر کوچک و حجم ذخیره دینامیک کمتر نسبت به سایر چشمه‌ها، آبدهی

- Maghsoudi M. Karimi H. Safari F. and Charrahi Z. 2010. Study of karst development using recession coefficient, spring death time and chemical and Isotope Analysis in Parav-Bistoun Massif (Kermanshah Province-West of Iran), *Physical Geography Research Quarterly*, 41(69):51-65.
- Milanovic P. T. 1981. *Karst hydrogeology*, Water Resources Publications, 434 p.
- Mirmousavi S. H. Khaefi N. and Gharoosi H. 2014. Study of climate characteristics in the provinces of kermanshah and kordestan based on factor and cluster analyses, *Journal of Geography and Planning*, 18(47):215-233.
- Moore P.J. Martin J.B. and Screaton E. J. 2009. Geochemical and statistical evidence of recharge, mixing, and controls on spring discharge in an eogenetic karst aquifer. *Journal of Hydrology*, 443-455.
- Motiei, H. 2003. *Stratigraphy of Zagros*. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Book, No. 84, 636 p.
- 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). *Journal of Hydrology*, 329(3-4): 368-376.
- Raeisi E. Stevanovic Z. 2010. Chapter 10.7: Case Study: Springs of the Zagros mountain range (Iran and Iraq), in: *groundwater hydrology of spring*, edited by Kresic, N. Stevanovic, Z. ELSEVIER. 570 p
- Shuster E.T. and White W.B. 1971. Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: A possible means for characterizing carbonate aquifers, *J. Hydrol.*, 14: 93-128.
- Shuster E.T. and White W.B. 1971. Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: A possible means for characterizing carbonate aquifers. *Journal of Hydrology*, 14(2): 93-128.
- Vahdati M. and Taheri K. 2007. Structural classification of karstic springs in the Southwest Alvand Basin, Kermanshah Province, *Water resources survey of the province conference*, Kermanshah regional water company. Kermanshah.
- White W. B. 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*, Oxford: Oxford University Press. Oxford. 480 p.
- Xu B. Ye M. Dong S. Dai Z. and Pei Y. 2018. A new model for simulating spring discharge recession and estimating effective porosity of karst aquifers. *Journal of Hydrology*, 562: 609-622.