



## Application of Hydrogeochemical and Isotopic Techniques for Better Understanding of Water Resources Characteristics in Paveh and Javanrud Study Areas, Kermanshah

Hossein Mohammadzadeh<sup>\*1</sup>, Effat Eskandari<sup>2</sup>

### Abstract

Effective management of water resources includes the recognition and evaluation of influential parameters on quality and quantity of water. The current work aim to evaluate the hydrochemical and isotopic features of the most important water resources located in Paveh and Javanrud, which are parts of Kermanshah province and are near the vicinity of Iran-Iraq border. The study was conducted by sampling from water resources through two distinct periods including wet season (December 2014) and dry season (October 2015) and totally 34 water samples including groundwater (spring, well, and cave) and surface water (i.e., rivers) were taken. By applying various techniques (Piper, Gibbs model, ionic ratios, complex curves, and Principal Component Analysis-PCA) and isotopic content evaluation, it was found that Bisotun limestones and Ilam-Sarvak formations affected the water resources' chemical contents and the water hydrochemical type was dominantly Bicarbonate-Calcic. The quality of the studied areas' water resources was affected by the geology (water and rock interaction). Investigation of water resources' isotopic ratios and its comparison with Paveh meteoric water line (PMWL) indicated three categories of water resources: the first group, due to isotopic depletion of water was recharged from elevated areas (mountains) during the cold seasons and karstic water had low residence time because of rapid movement of water (through conduit system). The second group was characterized by more isotopic enrichment and long residence time than the first group, and hence in addition to precipitation, the groundwater mixing affected them. The third group (rivers) is more enriched due to evaporation. The mean elevation of all karstic resources had a good agreement with the elevations of the karstic sinkholes in the region.

**Keywords:** Isotopic, Hydrogeochemical, Water Resources, Paveh, Javanrud.

Received: 2016/10/09  
Accepted: 2017/11/26

## استفاده از تکنیک‌های هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی به منظور فهم بهتر ویژگی‌های منابع آبی مهم محدوده‌های مطالعاتی پاوه و جوانرود، استان کرمانشاه

حسین محمدزاده<sup>۱\*</sup>، عفت اسکندری<sup>۲</sup>

### چکیده

مدیریت صحیح منابع آبی وابسته به شناخت و بررسی عوامل تأثیرگذار بر کیفیت و کمیت آب منابع می‌باشد. در این پژوهش ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی برخی منابع آبی مهم در محدوده‌های مطالعاتی پاوه و جوانرود واقع در منتهی‌الیه شمال غربی استان کرمانشاه در مجاورت مرز ایران و عراق ارزیابی شده است. نمونه‌برداری از منابع مورد مطالعه، طی دو دوره فصل‌های تر (دی‌ماه ۱۳۹۳) و خشک (مهرماه ۱۳۹۴) صورت گرفت و مجموعاً ۳۴ نمونه آب، متشکل از آب‌های زیرزمینی (چشمه، چاه و غار آبی) و آب‌های سطحی (رودخانه) جمع‌آوری شد. به‌کارگیری تکنیک‌های مختلف هیدروژئوشیمیایی (پایپر، مدل گیبس، نسبت‌های یونی، نمودارهای ترکیبی و تحلیل عامل اصلی) و بررسی محتوای ایزوتوپی، نشان می‌دهد که آهک‌های بیستون و سازند های ایلام-سروک در ترکیب شیمیایی منابع آبی تأثیرگذارند و تیپ هیدروژئوشیمیایی آب در اغلب منابع بیکربناته-کلسیک می‌باشد. زمین‌شناسی (تعامل آب و سنگ) بر کیفیت منابع آبی منطقه اثرگذار می‌باشند. بررسی محتوای ایزوتوپی منابع آبی و مقایسه آن با خط ایزوتوپی آب جوی پاوه، نشان دهنده سه گروه منبع آبی است: گروه اول به علت تهی شدگی ایزوتوپی، از ارتفاعات و در فصول سرد سال تغذیه می‌شوند و به دلیل حرکت سریع (سیستم مجرای)، آب‌های کارستی زمان ماندگاری کمی دارند. منابع آبی گروه دوم غنی‌شدگی داشته و بنابراین علاوه بر بارش، اختلاط آب‌های زیرزمینی نیز بر آن‌ها تأثیر داشته و زمان ماندگاری بیشتری نسبت به اولین گروه دارند. گروه سوم (رودخانه‌ها) به دلیل تیخیر، غنی‌شدگی بیشتری نسبت به سایر منابع دارند. ارتفاع متوسط تغذیه‌ی تمام منابع آبی کارستی تطابق قابل توجهی با ارتفاع سینک‌هول‌های کارستی در منطقه دارد.

واژه‌های کلیدی: ایزوتوپی، منابع کارستی، پاوه، جوانرود، هیدروژئوشیمیایی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۱۸  
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۰۵

1- Associate Professor and head Chair of Groundwater and Geothermal Research Center (GRC)/Ferdowsi University of Mashhad

2- Hydrogeology MSc Student and GRC member, Ferdowsi University of Mashhad

\*- Corresponding Author Email: mohammadzadeh@um.ac.ir

۱- دانشیار و سرپرست مرکز تحقیقات آبهای زیرزمینی و ژئوترمال (متاب)، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی دانشگاه فردوسی مشهد

## مقدمه

آلودگی‌های احتمالی و درنهایت تعیین کیفیت آب برای مصارف گوناگون، پی برد.

محدوده‌های پاوه و جوانرود به دلیل وسعت قابل توجه سازندهای آهکی و عملکرد گسل زاگرس، با برخورداری بودن از ساختار کوهستانی و بارش‌های فراوان، منابع آبی غنی را در خود جای داده‌اند.

وجود چشمه‌ها با دبی قابل توجه در محدوده پاوه و دو غار آبی در محدوده جوانرود، بیانگر پتانسیل قابل توجه آبخوان کارستی می‌باشد. استفاده همزمان از تکنیک‌های هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی در محدوده‌های کارستی، در ایران به ندرت انجام شده است.

در این پژوهش برای اولین بار، ویژگی‌های کیفی و ایزوتوپی منابع آبی پاوه و جوانرود، به منظور فهم بهتر آبخوان کارستی منطقه، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

محدوده‌های مطالعاتی پاوه و جوانرود بخش‌هایی از زیر حوضه رودخانه‌های مرزی غرب کشور محسوب می‌شوند و به ترتیب دارای مساحت‌های ۴۹۹/۵ و ۱۲۵۱ کیلومترمربع می‌باشند. محدوده پاوه در طول ۰۷' ۴۶° تا ۲۷' ۴۶° عرض جغرافیایی ۷۵' ۳۴° تا ۱۸' ۳۵° و جوانرود در طول ۳۳' ۴۵° تا ۵۵' ۴۶° و عرض جغرافیایی ۵۱' ۳۴° تا ۰۴' ۳۵° در استان کرمانشاه قرار دارند. بخش عمده‌ای از مساحت محدوده پاوه در زون زاگرس مرتفع و قسمت شمال شرق آن در زون ساختمانی پیچیده قرار دارد.

محدوده مطالعاتی جوانرود نیز عمدتاً در زون زاگرس چین‌خورده واقع شده و بخش اندکی از آن در زاگرس مرتفع قرار می‌گیرد (آقناباتی، ۱۳۸۳). قدیمی‌ترین واحد در محدوده پاوه، رادیولاریت‌های ژوراسیک-کرتاسه و جوان‌ترین واحد نیز آبرفت‌های جوان کواترنری هستند (شکل ۱- الف). در محدوده مطالعاتی جوانرود، سازند سورمه قدیمی‌ترین واحد و متعلق به ژوراسیک و جوان‌ترین واحدها نیز آبرفت‌های جوان کواترنری هستند.

آبخوان‌های کارستی آب شرب مورد نیاز بیست و پنج درصد از جمعیت دنیا را تأمین می‌کنند (فورد، ۱۹۸۹) و از دیرباز این منابع، به دلیل کیفیت بالا، برای آشامیدن، کشاورزی و آبیاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

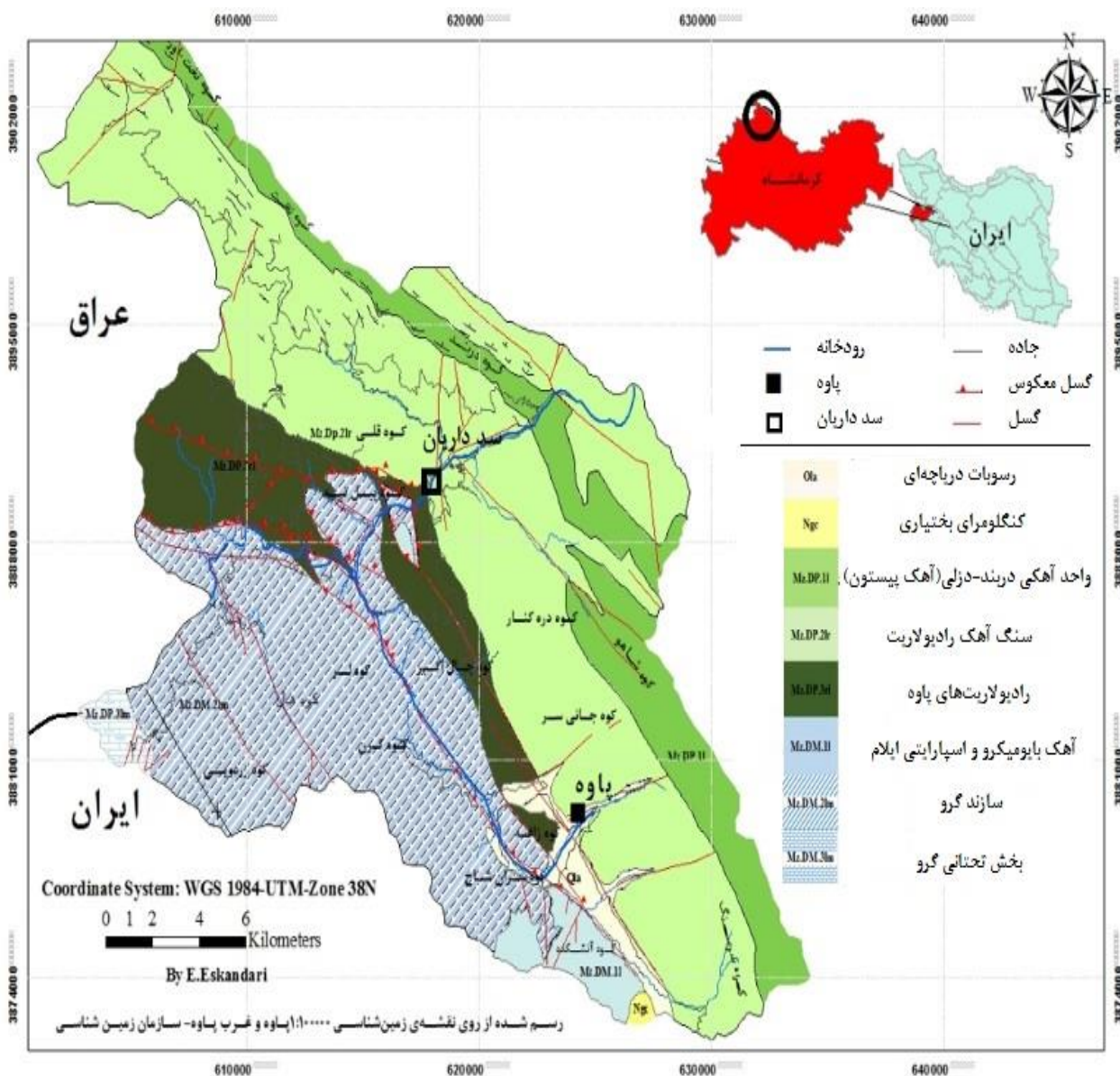
در ایران ۱۱ درصد از مساحت کشور توسط سازندهای آهکی پوشیده شده است و ۵۵/۲ درصد از این مساحت نیز در نواحی زاگرس متمرکز شده است (ناصری، ۱۳۷۰). یکی از گام‌های مهم مدیریت منابع آب، به‌ویژه مدیریت آبخوان‌های کارستی، تشخیص محل تغذیه منابع و حفاظت از این مناطق است. عدم بررسی‌های علمی و اصولی در مناطق کارستی منجر به ایجاد مشکلات آلودگی شده و درنهایت صدمات غیرقابل جبرانی را به منابع با ارزش کارستی وارد می‌کند (طاهری و رئیس، ۱۳۸۹).

انجام مطالعات هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی منابع آبی، در کنار بررسی توپوگرافی، سازندهای موجود در منطقه و خصوصیات هیدرودینامیکی، شناختی چندجانبه و قابل قبول از منابع آبی در اختیار ما می‌گذارد (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹). خصوصیات هیدروشیمی منابع آب کارستی، تحت تأثیر فاکتورهای زیادی از جمله نوع حرکت آب، مسافت طی شده بین محل تغذیه و تخلیه آب، هوازگی شیمیایی و فیزیکی، اقلیم، کیفیت آب ورودی و میزان تعامل آب و سنگ تغییر می‌کند (آقازاده و مقدم، ۲۰۱۱). بررسی ویژگی‌های هیدروشیمیایی و ایزوتوپی منابع آب کارستی، توسط محققین زیادی برای توصیف عملکرد آبخوان‌های کارستی به کار گرفته شده است (مازور، ۲۰۰۴؛ شوستر و وایت، ۱۹۷۱؛ مارکوس و همکاران، ۲۰۱۰؛ پالوسکی و شل، ۲۰۱۴؛ سانچز و همکاران، ۲۰۱۵؛ هان و همکاران، ۲۰۱۴؛ کیله، ۲۰۰۷؛ مصطفی و همکاران، ۲۰۱۵؛ کرمی و همکاران، ۱۳۹۰؛ باقری ششده و همکاران، ۱۳۸۶؛ غزنوی و همکاران، ۱۳۹۰؛ سلیم و همکاران، ۱۳۹۰؛ شجاعی و همکاران، ۱۳۹۱).

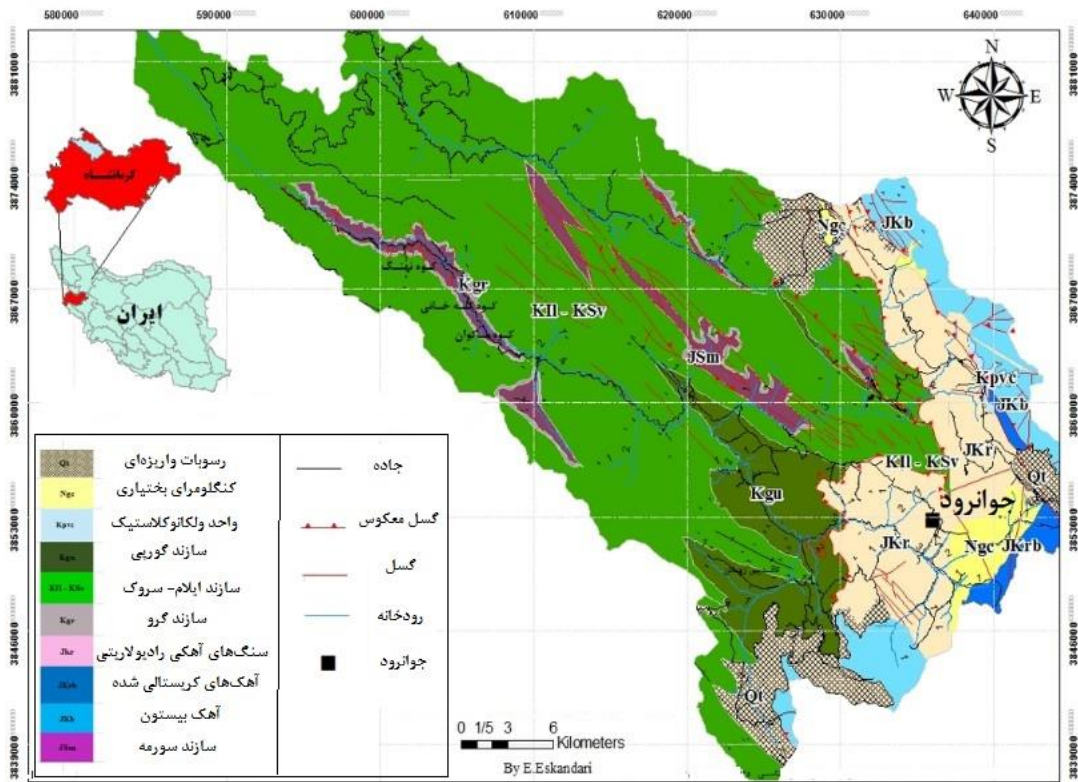
به کمک مطالعات هیدروژئوشیمی می‌توان به اطلاعاتی از جمله محل تغذیه، نوع مخزن آبخوان (ولی نیا و همکاران، ۱۳۹۰)، مسیر حرکت و اختلاط منابع (لانگمویر، ۱۹۹۷)، زمان ماندگاری نسبی آب در سیستم (گلدشیدر و دریو، ۲۰۰۷)،

حرارت سالیانه برای پاوه و جانرود برابر با ۱۴/۵ و ۱۵/۲ درجه سانتی گراد است. بر اساس طبقه‌بندی دمارتن محدوده مطالعاتی پاوه، اقلیم مرطوب و محدوده مطالعاتی جانرود، اقلیم مدیترانه‌ای دارد. آهک‌های ستبر ژوراسیک-کرتاسه، ارتفاعات منطقه و طبقات رادیولاریت دار توپوگرافی پست را تشکیل دادند. به دلیل تفاوت مقاومت در برابر فرسایش، تغییرات ارتفاع در منطقه از حدود ۴۰۰ تا بیش از ۳۰۰۰ متر می‌باشد (شکل ۱-د).

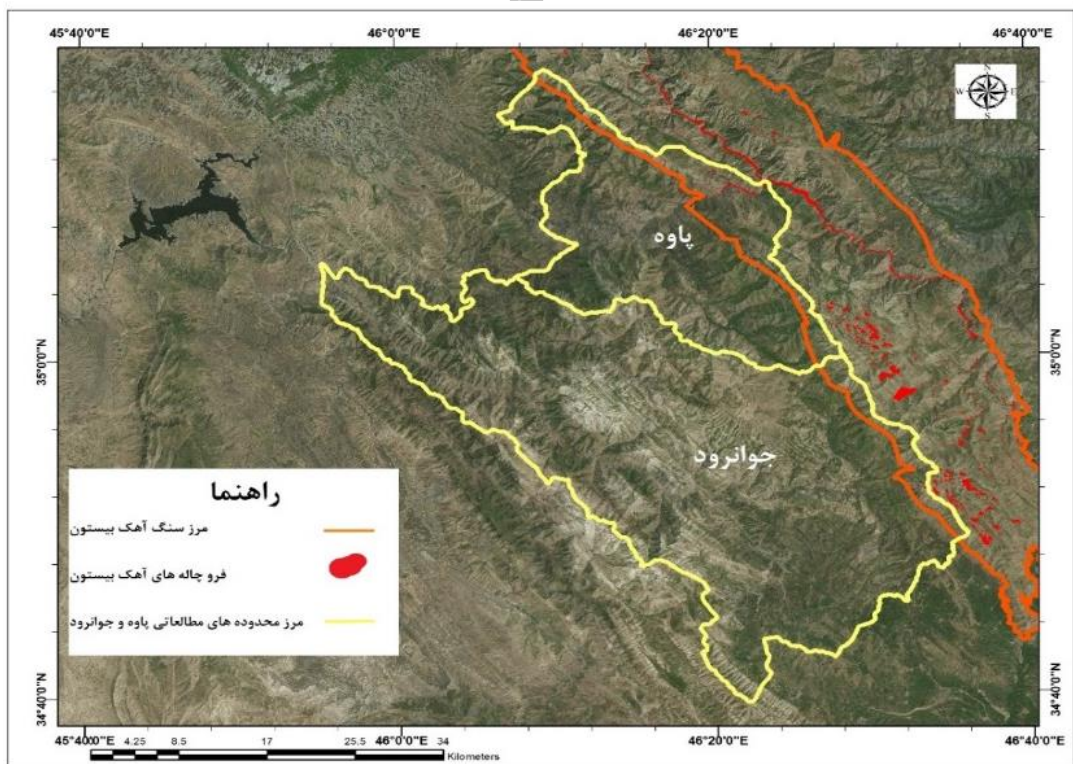
سنگ آهک‌های ژوراسیک-کرتاسه (سازند بیستون)، مهم‌ترین سازند از دیدگاه هیدروژئولوژی محسوب می‌شود (شکل ۱-ب). وجود تعداد زیادی سینک هول در ارتفاعات سازند بیستون و در محدوده‌های احتمالی حوضه آبرگیر مهم کارستی، بیانگر شدت توسعه‌ی کارست در منطقه است (شکل ۱-ج). میانگین بارش سالیانه ایستگاه‌های هواشناسی پاوه و جانرود برابر با ۷۶۰/۹ و ۵۴۶/۶ میلی‌متر و میانگین درجه



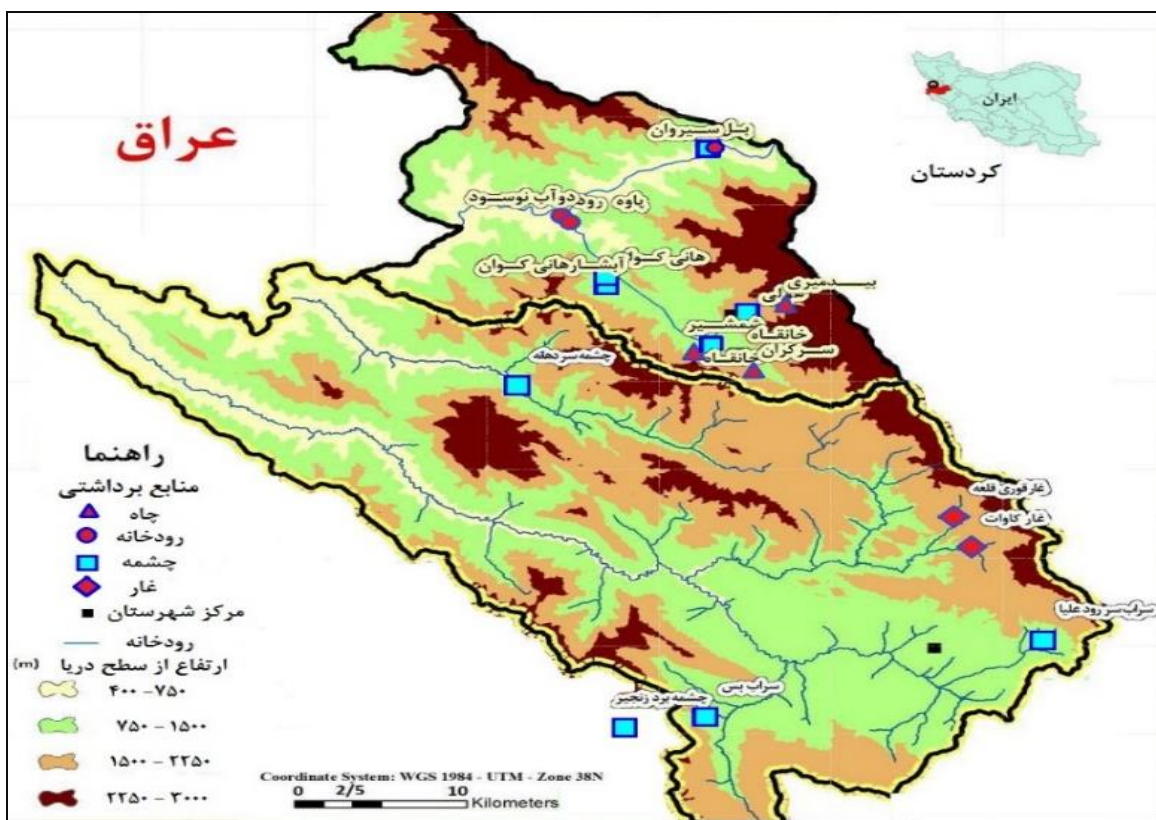
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۱ - نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی پناه (الف) و جانرود (ب)، تصویر ماهواره‌ای منطقه و سینک‌هول‌های زاگرس در سازند بیستون (ج)، منابع انتخابی نمونه‌برداری شده در محدوده‌های مطالعاتی پناه و جانرود (د).

غلظت اسیدی شدند ( $\text{pH} \leq 2$ ). پارامترهای صحرایی از جمله هدایت الکتریکی (EC)<sup>۱</sup>، مواد جامد محلول (TDS)<sup>۲</sup>، دما (T) و pH با استفاده از دستگاه مولتی پارامتر سیار (VMR)<sup>۳</sup> هم‌زمان با نمونه‌برداری در محل اندازه‌گیری و ثبت شد. برای جلوگیری از تغییر خواص هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی نهایت دقت به کار گرفته شد و قبل از برداشت نمونه‌های آب، تمامی ظروف به همراه سرنگ و فیلتر با آب فیلتر شده‌ی منبع انتخابی شستشو داده شدند.

تمام نمونه‌ها در دمای کمتر از ۴ درجه نگهداری شده و در اسرع وقت نمونه‌های کیفی به آزمایشگاه هیدروژئوشیمی دانشگاه اتاوا<sup>۴</sup> کانادا و نمونه‌های ایزوتوپی به آزمایشگاه ایزوتوپ‌های محیطی دانشگاه واترلو کانادا ارسال شد.

<sup>1</sup> Electrical Conductivity

<sup>2</sup> Total Dissolved Solid

<sup>3</sup> Handel Multi parameter Reserch Meters

<sup>4</sup> Ottawa

## روش کار

نمونه‌برداری از منابع آبی منطقه بر اساس دستورالعمل آزمایشگاه و استانداردهای معمول جهانی صورت پذیرفت. در این مقاله مجموعاً ۳۴ نمونه آب متشکل از شش چشمه کارستی، سه چاه آهکی و سه رودخانه در محدوده پناه و چهار چشمه کارستی و دو غار آبی در محدوده جانرود، طی دو دوره نمونه‌برداری در فصل‌های تر (دی‌ماه ۱۳۹۳) و خشک (مهرماه ۱۳۹۴)، صورت گرفته است (شکل ۱-د).

در چشمه‌های کارستی از مظهر چشمه‌ها و از چاه‌های آب زیرزمینی نیز، پس از حدود ۱۰ دقیقه پمپاژ و تخلیه آب چاه، نمونه‌برداری صورت گرفته است. نمونه‌های آب پس از فیلتر شدن (با استفاده از فیلترهای ۰/۴۵ میکرون) در ظروف ۲۵ میلی‌لیتری از جنس پلی‌اتیلن با چگالی بالا جمع‌آوری و نمونه‌های مربوط به کاتیون‌ها، به‌منظور جلوگیری از جذب و رسوب، در محل نمونه‌برداری با افزودن ۵ cc اسید نیتریک

در ادامه کیفیت منابع آبی در محدوده‌های مورد مطالعه با به‌کارگیری روش‌های هیدروشیمیایی و ایزوتوپی مورد بررسی قرار گرفته است.

### تعیین تواتر یون‌ها، تیپ و رخساره‌های هیدروشیمیایی منابع آبی

نمودار پایپر منابع آبی نشان می‌دهد که به دلیل تعامل آب با سازندهای آهکی، تمام منابع تیپ بی‌کربناته کلسیک دارند. در فصل خشک جابجایی اندک موقعیت آبشار هانی‌کوان بر روی محور سولفات و کلر احتمالاً ناشی از آلودگی آب این منبع است (شکل ۲). نتایج محاسبات تواتر یونی، نشان می‌دهد که در تمام منابع آبی به‌جز دو منبع، به ترتیب شامل  $Ca > Mg > Na + K$  و  $HCO_3 > SO_4 > Cl$  می‌باشد. در چاه خانقاه (فصل‌های تر و خشک) و رودخانه سیروان (فصل خشک) تواتر آنیونی  $HCO_3 > Cl > SO_4$  است.

بر اساس مقادیر  $TDS$  بر روی نمودار دورو در فصل تر (شکل ۳-الف) منابع آبی منطقه در دو گروه اصلی قرار می‌گیرند. گروه اول: منابعی از جمله چشمه‌های سردخانه، شمشیر، سراب هولی، غارهای کاوات، قوری قلعه و چاه بیدمیری، با مقدار  $TDS$  کم (۱۰۰ تا ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) که احتمال می‌رود از سنگ آهک بیستون سرچشمه گرفته باشند. گروه دوم: منابعی با  $TDS$  متوسط (۱۴۰ تا ۱۶۵ میلی‌گرم بر لیتر) که از واحدهای آهکی با میان لایه رادیولاریتی و آهک‌های سازند ایلام و سروک تغذیه می‌شوند (سراب‌های سر رود علیا، برد زنجیر، بس، چشمه و آبشار هانی‌کوان و چاه‌های خانقاه و سرکران).

چشمه بل به دلیل شدت کارستی شدن و خالص بودن سنگ منشأ،  $TDS$  بسیار کمی (۸۰ میلی‌گرم بر لیتر) دارد و بر روی نمودار دورو با فاصله نسبت به سایر چشمه‌ها قرار گرفته است. اما چشمه خانقاه در فصل تر دارای بیشترین مقدار  $TDS$  ( $237 \text{ mg/l}$ ) می‌باشد، که ناشی از تأثیر رودخانه شمشیر مجاور آن است. در فصل خشک  $TDS$  در منابع کارستی با جریان پایه قابل توجه، تغییر چندانی ندارد (شکل ۳ - ب).

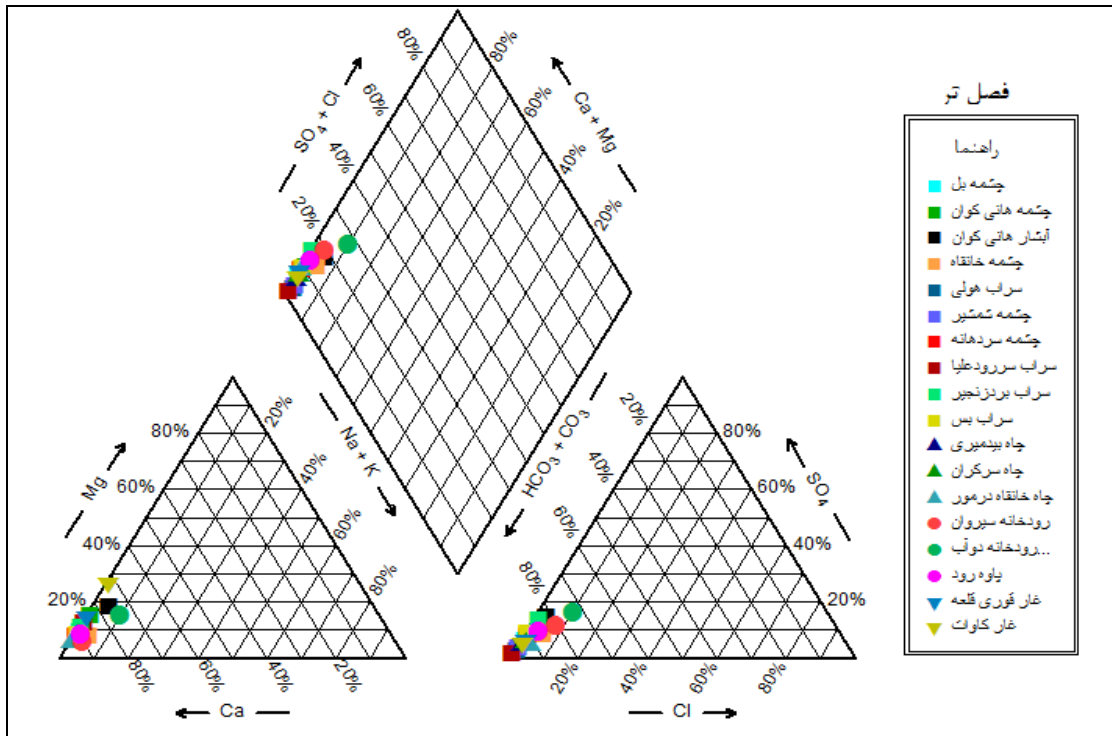
برای سنجش کاتیون‌های اصلی و فرعی از دستگاه ICP-AES و برای بررسی غلظت آنیون‌ها (به جز غلظت بی‌کربنات) از دستگاه IC استفاده شده است. غلظت بی‌کربنات با استفاده از رابطه بین ایزوتوپ‌های کربن و pH محاسبه شده است (کلارک، ۲۰۱۵). اندازه‌گیری میزان ایزوتوپ‌های پایدار نیز با استفاده از دستگاه LGR صورت گرفته است.

مقدار خطای آنالیز برای  $\delta^{18}O$  و  $\delta^2H$ ، به ترتیب برابر با  $\pm 0.2$  و  $\pm 0.8$  VSMOW% می‌باشد. برای رسم نمودارهای هیدروشیمیایی و ایزوتوپی از نرم‌افزارهای RockWare Aq.QA Chemistry (2006)، Microsoft Office Excel، برای تحلیل عامل اصلی - PCA (پیرسون، ۱۹۹۰) نیز از نرم‌افزارهای SPSS استفاده شده است.

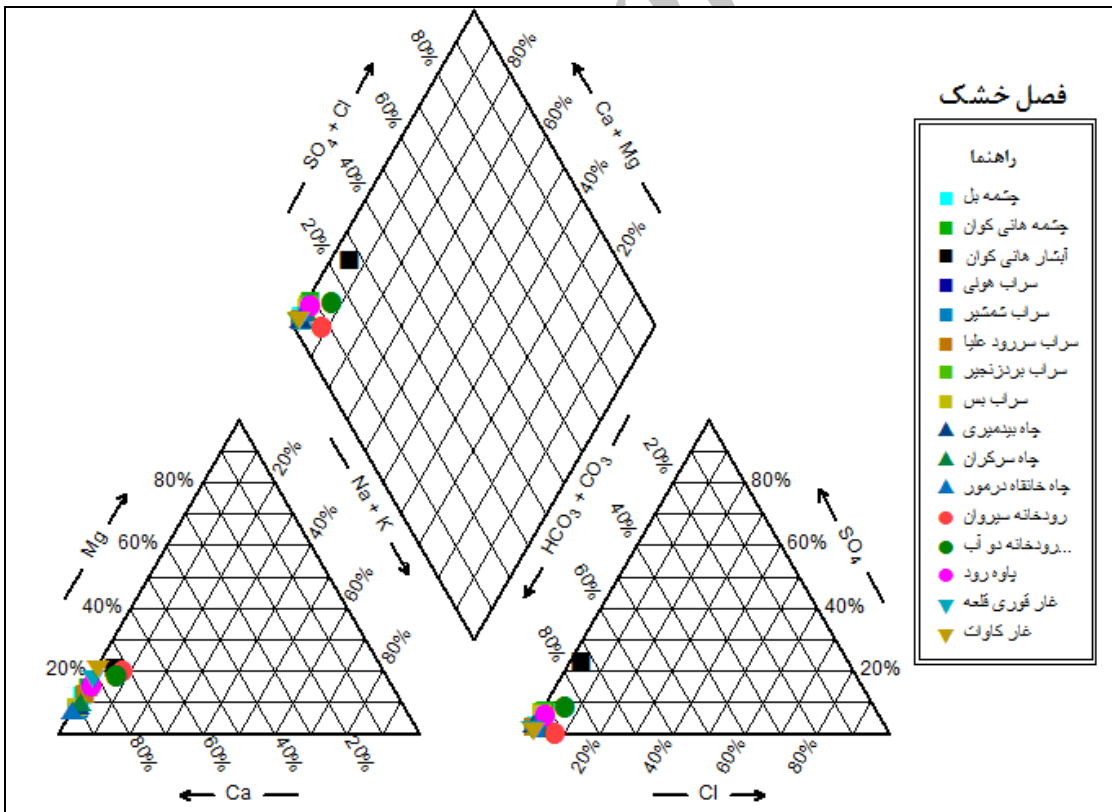
### نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی و آنالیز کیفی نمونه‌های آب منابع مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. بررسی ویژگی‌های کلی هیدروشیمیایی پارامترهای صحرایی (EC، دما و pH) و غلظت یون‌ها در محدوده‌های مورد مطالعه، نشان می‌دهد که کیفیت آب منابع در فصل تر و خشک تغییرات زیادی نداشته است.

مقدار pH در منطقه بین ۷ تا ۸/۲ و مقدار EC بین ۱۶۳ تا ۴۸۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر تغییر می‌کند. در فصل خشک، به دلیل نبود نزولات جوی، EC در بیشتر منابع افزایش یافته است، اما در بعضی منابع از جمله چشمه بل و چاه بیدمیری (در محدوده پناه) و سراب‌های بس و سررود علیا (در محدوده جوانرود)، به دلیل سهم بالای دبی پایه در تأمین آب خروجی از این منابع، مقدار هدایت الکتریکی تقریباً ثابت مانده است. افزایش اندک هدایت الکتریکی در چشمه بردزنجیر در فصل تر (حدود ۳۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) احتمالاً به دلیل انحلال رسوبات و مارن‌های رخنمون یافته توسط رواناب‌های سطحی در فصل تر و تأثیر آن بر مقدار هدایت الکتریکی آب چشمه می‌باشد.



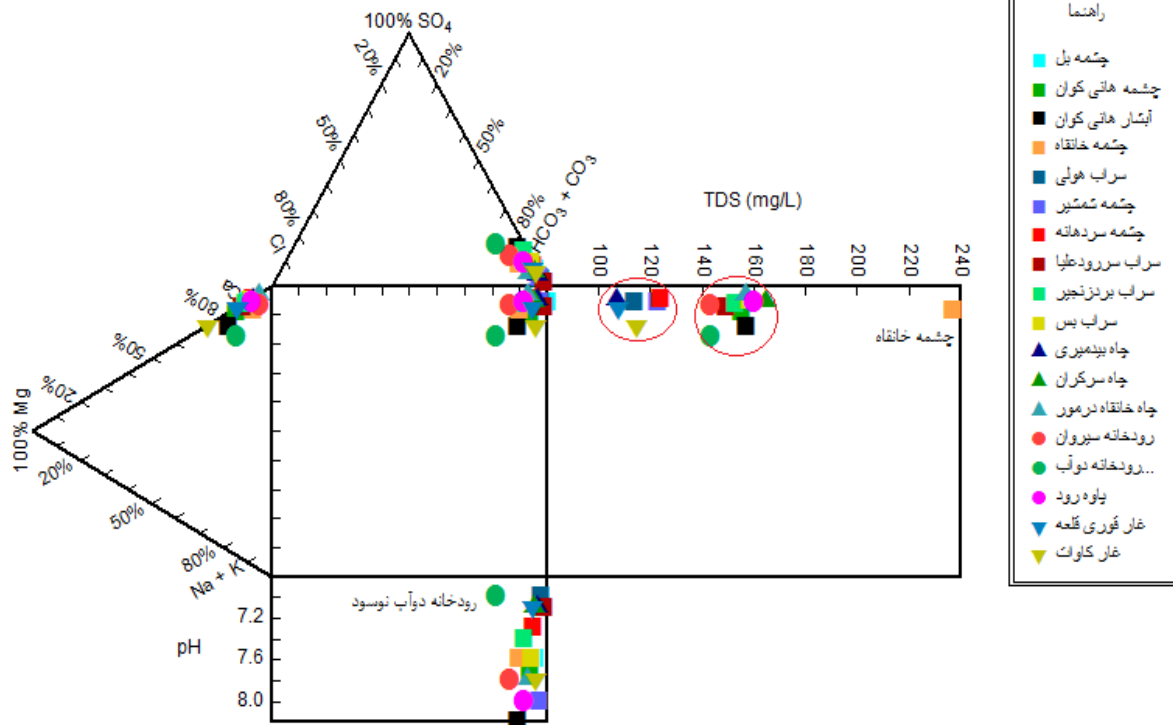
(الف)



(ب)

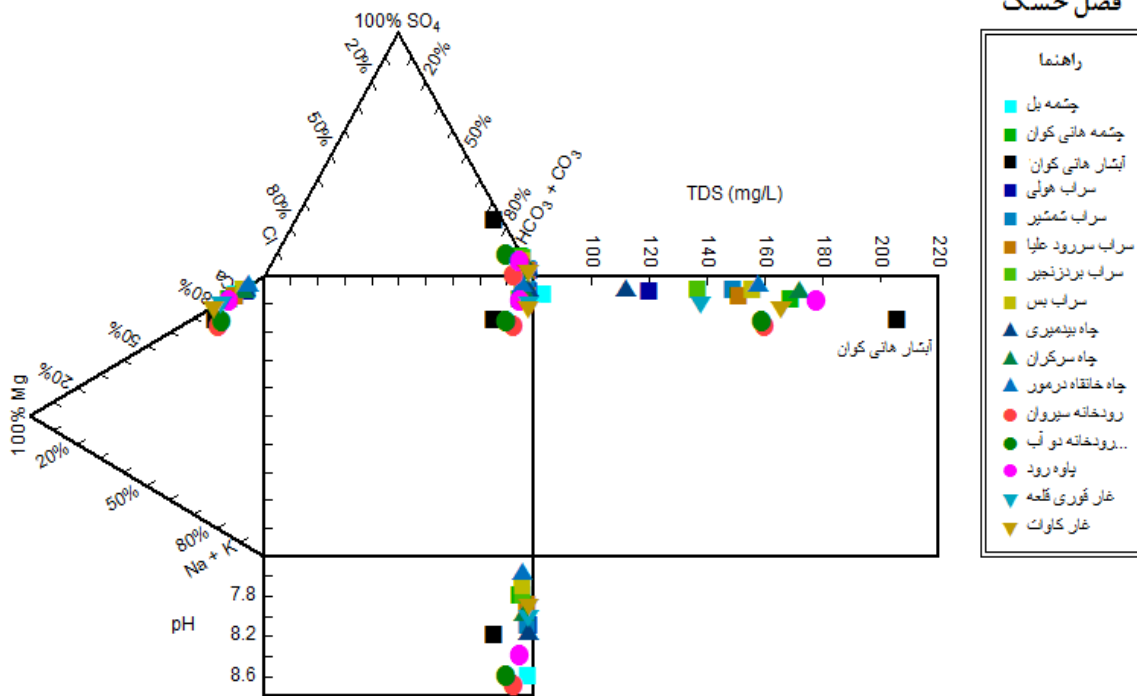
شکل ۲ - موقعیت منابع آبی مورد مطالعه بر روی نمودار پایپر در فصل‌های تر (الف) و خشک (ب).

فصل تر



(الف)

فصل خشک



(ب)

شکل ۳ - موقعیت منابع آبی مورد مطالعه بر روی نمودار دورو در فصل های تر (الف) و خشک (ب).



جدول ۱ - پارامترهای صحرایی و نتایج آنالیز کیفی منابع آبی مورد مطالعه (مقادیر بر حسب ppm).

T (°C)	pH	TDS	E.C(μS/cm)	S	Si <sup>2+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	مکان نمونه برداری	ردیف
۹/۷	۸/۲	۱۵۷	۳۱۹	۸/۲	۳/۶	۰/۲	۱/۲	۵/۲	۱۰/۰	۷۱/۳	*	۲۳۳	۵/۶	۱/۵	۳۱/۸	آبشار هانی کوان	۴
۱۳/۶	۶/۷	۲۳۷	۴۸۴	۶/۹	۴/۷	۰/۲	۰/۸	۷/۰	۵/۷	۱۱۱/۵	۰/۷۲	۳۸۱	۱۳/۹	۲/۹	۲۷/۱	چشمه خانقاه	۵
۱۱/۴	۸/۰	۱۲۳	۲۵۱	۱/۰	۳/۴	۰/۱	۰/۳	۱/۷	۳/۱	۶۴/۰	*	۲۳۱	۱/۷	۱/۰	۶/۰	سراب شمشیر	۶
۹/۲	۸/۷	۱۴۳	۲۹۱	۱/۳	۰/۷	۰/۱	۲/۰	۱/۸	۱/۹	۵۳/۶	*	۱۲۱	۶/۴	۱/۱	۱۲/۹	رودخانه سیروان	۷
۱۰/۳	۷/۰	۱۴۳	۲۹۱	۳/۹	۲/۵	۰/۲	۲/۷	۵/۶	۵/۶	۴۶/۲	*	۱۵۸	۱۰/۶	۱/۹	۲۱/۳	دو آب نوسود	۸
۱۳/۲	۸/۰	۱۶۰	۳۲۶	۱/۹	۱/۲	۰/۱	۰/۷	۰/۸	۲/۶	۴۶/۵	*	۱۳۶	۳/۷	۱/۵	۱۰/۹	رودخانه پاورود	۹
۱۱/۳	۷/۱	۱۰۷	۲۱۸	۰/۹	۲/۹	۰/۱	۰/۲	۱/۱	۲/۹	۵۵/۹	*	۱۶۷	۱/۴	۰/۸	۴/۴	چاه بید میری	۱۰
۱۲/۸	۷/۱	۱۶۵	۳۳۵	۱/۸	۴/۳	۰/۳	۰/۳	۱/۸	۴/۴	۸۱/۷	*	۲۴۱	۲/۸	۱/۱	۸/۶	چاه سرکران	۱۱
۹/۱	۷/۸	۱۵۷	۳۲۰	۱/۹	۳/۳	۰/۳	۰/۵	۱/۰	۲/۷	۸۸/۹	*	۲۸۰	۷/۶	۲/۰	۹/۴	چاه خانقاه	۱۲
۱۳/۸	۷/۳	۱۲۴	۲۵۳	۲/۳	۲/۹	۰/۳	۰/۲	۰/۸	۳/۱	۶۲/۵	*	۱۸۸	۱/۶	۱/۸	۱۰/۸	چشمه سردهانه	۱۳
۱۶/۲	۷/۱	۱۴۹	۳۰۴	۱/۳	۳/۶	۰/۱	۰/۲	۱/۱	۵/۶	۶۶/۲	۰/۶۸	۲۲۸	۰/۵	۰/۵	۱/۷	سراب سر رود علیا	۱۴
۱۳/۲	۷/۴	۱۵۳	۳۱۲	۳/۰	۲/۱	۰/۲	۰/۴	۰/۵	۴/۵	۵۹/۷	*	۲۲۳	۲/۵	۱/۶	۲۵/۵	سراب برد زنجیر	۱۵
۱۲/۶	۷/۶	۱۵۸	۳۲۲	۴/۲	۳/۶	۰/۴	۰/۳	۱/۰	۱۰/۱	۸۰/۶	*	۲۷۰	۱/۸	۱/۳	۱۹/۳	سراب بس	۱۶
۱۱/۲	۷/۱	۱۰۸	۲۲۰	۱/۵	۱/۵	۰/۱	۰/۲	۰/۵	۵/۶	۵۴/۰	۰/۵۹	۱۶۸	۱/۶	۱/۲	۷/۴	غار قوری قلعه	۱۷
۱۰/۱	۷/۸	۱۱۵	۲۳۴	۱/۱	۰/۸	۰/۰	۰/۲	۰/۷	۸/۹	۰/۴۰	۰/۵۷	۲۰۵	۱/۹	۱/۴	۸/۵	غار کلاوات	۱۸
۱۸/۴	۸/۲	۲۰۶	۴۱۹	۱۹/۰۷	۵/۰	۰/۲۸	*	۶/۸	۱۲/۹	۷۶/۵	*	۲۸۱	۷/۶	۰/۶	۶۶/۶	آبشار هانی کوان	۴
۱۴/۰	۸/۱	۱۴۹	۳۰۴	۳/۲۸	۳/۵	۰/۱۰	*	۲/۰	۳/۳	۷۲/۶	*	۳۱۰	۲/۴	۳/۶	۵/۱	سراب شمشیر	۵
۱۷/۰	۸/۷	۱۶۰	۳۲۷	۵/۹۴	۳/۳	۰/۲۸	*	۶/۹	۸/۳	۵۰/۷	*	۲۲۰	۱۰/۶	۱۰/۱/۴	۱/۳	رودخانه سیروان	۶
۱۹/۰	۸/۶	۱۵۹	۳۲۴	۶/۱۹	۳/۵	۰/۲۸	*	۶/۲	۸/۱	۵۴/۸	*	۲۱۸	۹/۶	۳/۳	۱۶/۲	دو آب نوسود	۷
۲۰/۱	۸/۴	۱۷۸	۳۶۳	۶/۰۱	۳/۴	۰/۲۳	*	۱/۹	۷/۶	۷۱/۰	*	۲۹۱	۳/۷	۵/۵	۱۴/۰	رودخانه پاورود	۸
۱۷/۵	۸/۲	۱۱۲	۲۳۰	۰/۷۸	۲/۸	۰/۱۰	*	۱/۲	۲/۸	۵۳/۵	*	۲۰۸	۱/۲	۲/۲	۲/۷	چاه بید میری	۹
۲۲/۱	۸/۰	۱۷۲	۳۵۱	۴/۰۱	۳/۴	۰/۱۵	*	۱/۷	۳/۶	۶۳/۱	*	۲۵۷	۲/۶	۴/۳	۷/۸	چاه سرکران	۱۰
۱۷/۵	۷/۶	۱۵۸	۳۷۷	۳/۷۹	۳/۳	۰/۲۴	*	۱/۰	۲/۷	۶۷/۷	*	۲۷۷	۵/۹	۲۳/۱/۱	۰/۷	چاه خانقاه	۱۱
۱۶/۸	۷/۹	۱۵۱	۳۰۹	۳/۱۰	۳/۴	۰/۱۰	*	۱/۲	۵/۶	۶۵/۴	*	۲۷۲	۱/۸	۸/۲	۳/۵	سراب سر رود علیا	۱۲
۱۴/۷	۷/۸	۱۳۷	۲۸۱	۶/۴۴	۳/۳	۰/۳۹	*	۱/۴	۴/۴	۷۹/۵	*	۲۹۶	۱/۵	۵/۱	۱۶/۱	سراب برد زنجیر	۱۳
۱۳/۷	۷/۷	۱۵۶	۳۱۸	۵/۷۵	۳/۳	۰/۴۰	*	۱/۳	۴/۴	۸۰/۱	*	۲۹۸	۱/۸	۴/۰	۱۳/۹	سراب بس	۱۴
۱۲/۳	۸/۰	۱۳۸	۲۸۱/۵	۲/۸	۱/۹	۰/۰۷	*	۰/۷	۸/۴	۶۲/۵	*	۲۹۲	۱/۳	۴/۰	۳/۸	غار قوری قلعه	۱۵
۱۶/۹	۷/۹	۱۶۶	۳۴۱	۲/۸	۱/۸	۰/۰۷	*	۰/۷	۱۰/۶	۶۴/۵	*	۳۳۲	۲/۲	۴/۱	۴/۱	غار کلاوات	۱۶

فصل ۳ (دی ماه ۱۳۹۳)

فصل ۳ (مهر ماه ۱۳۹۴)

تأثیرگذار آب‌های زیرزمینی در محدوده‌های پاره و جوانرود برخی نسبت‌های یونی در فصل تر مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۲). بر اساس نسبت کلسیم به منیزیم در منابع آبی چشمه‌های هانی کوان، خانقاه، سراب سر رود علیا، سراب برد زنجیر، آبشار هانی کوان، غار قوری قلعه و غار کلاوات (بین ۳ تا ۸ - جدول ۲)، سنگ مخزن آهکی (سازندهای ایلام - سروک) می‌باشد. اما در سراب‌های هولی، شمشیر، چشمه‌های خانقاه، سردهانه، بل و چاه‌های بیدمیری، سرکران و خانقاه، این نسبت

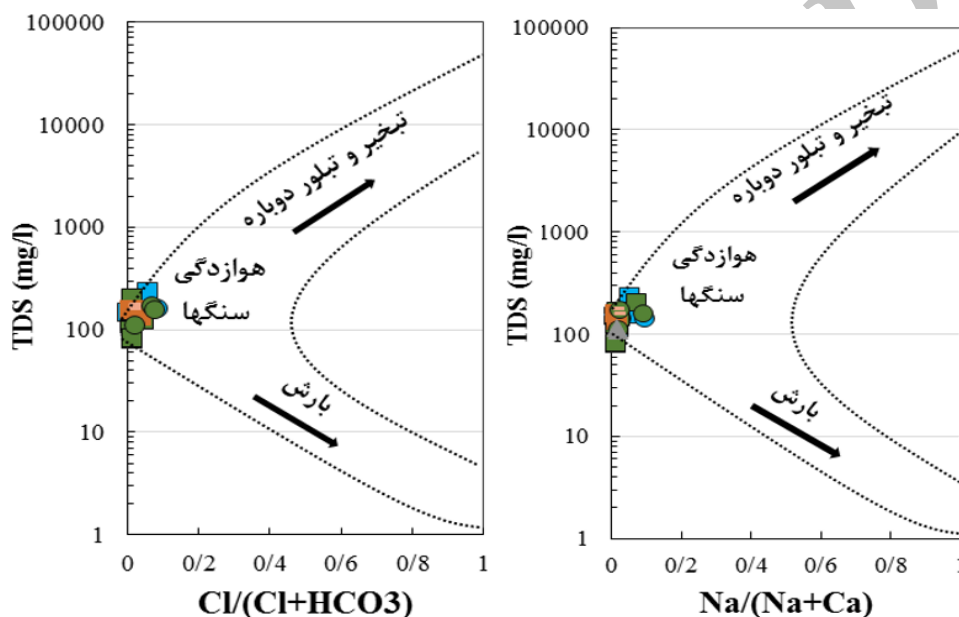
تعیین منشاء یون‌ها با استفاده مدل گیبس<sup>۵</sup>، نسبت‌های یونی، نمودارهای ترکیبی و تحلیل عامل اصلی (PCA)

موقعیت نمونه‌های آب محدوده‌های مورد مطالعه بر روی نمودار گیبس نشان می‌دهد که منابع آبی تحت تأثیر هوازدگی سنگ‌ها قرار دارند (شکل ۴). به منظور تعیین سنگ مخزن، منشاء سدیم، نوع تبادل یونی و تعیین مهم‌ترین سازند

<sup>۵</sup>Gibbs

سرآب‌های هولی، شمشیر، سررود علیا، آبشار هانی‌کوان و چاه‌های سرکران و خانقاه احتمالاً منشأ مصنوعی دارد (هانسلو، ۱۹۹۵). نزدیک به واحد بودن نسبت یون  $Ca/(Ca+SO_4)$  در منابع آبی، نشان دهنده غالب بودن یون کلسیم و تأثیر عمده سازندهای آهکی و عدم آلودگی عمده آب است. مقادیر ناچیز نسبت یونی  $Mg/(Mg+Ca)$  در تمام منابع آبی حاکی از انحلال سنگ‌آهک خالص در منطقه و یا زمان ماندگاری کم آب در آبخوان می‌باشد. نسبت بی‌کربنات به مجموع آنیون‌ها (کمتر از ۰/۸) نیز تأییدی بر انحلال کربنات‌ها در منطقه است (جدول ۲)، (هانسلو، ۱۹۹۵).

بیش از ۸ و سنگ مخزن آهک خالص (آهک‌های بیستون) می‌باشد (شوارتز و وایت، ۱۹۷۱). از آنجا که هر چه خلوص سنگ آهک بیشتر باشد، پتانسیل کارستی شدن بیشتر می‌شود و وجود سینک‌هول‌های متعدد در تصویر ماهواره‌ای سازند بیستون نیز تأیید کننده توسعه کارست در آن است (شکل ۱ - ج). در منابعی از جمله، چشمه‌های بل، هانی‌کوان، خانقاه، سردهانه، چاه بیدمیری، سرآب‌های بردزنجیر، بس و غارهای قوری قلعه و کاوات، مقدار نسبت سدیم به مجموع سدیم و کلر (کمتر از ۰/۵)، نشان دهنده پیوستن سدیم از طریق تبادل یونی عادی به آب است. افزایش بسیار جزئی این نسبت در



شکل ۴ - موقعیت نمونه‌های آب محدوده‌های مورد مطالعه بر روی نمودار گیبس (Gibbs, 1970).

بیستون تغذیه شده‌اند. گروه دوم (شامل چشمه و آبشار هانی‌کوان، سرآب‌های بس، سررود علیا، چشمه خانقاه و چاه‌های خانقاه و سرکران) با  $TDS$  بین ۱۰۰ تا ۱۷۰ میلی‌گرم بر لیتر و احتمالاً افزایش اندک مقدار  $TDS$  از واحدهای آهکی با میان لایه‌ی رادیولاریتی و برهم‌کنش طولانی بین آب و سنگ مربوط دانست. سومین گروه منابع آب سطحی هستند که افزایش  $TDS$  آن‌ها می‌تواند ناشی از آلودگی احتمالی باشد (شکل ۵ - الف).

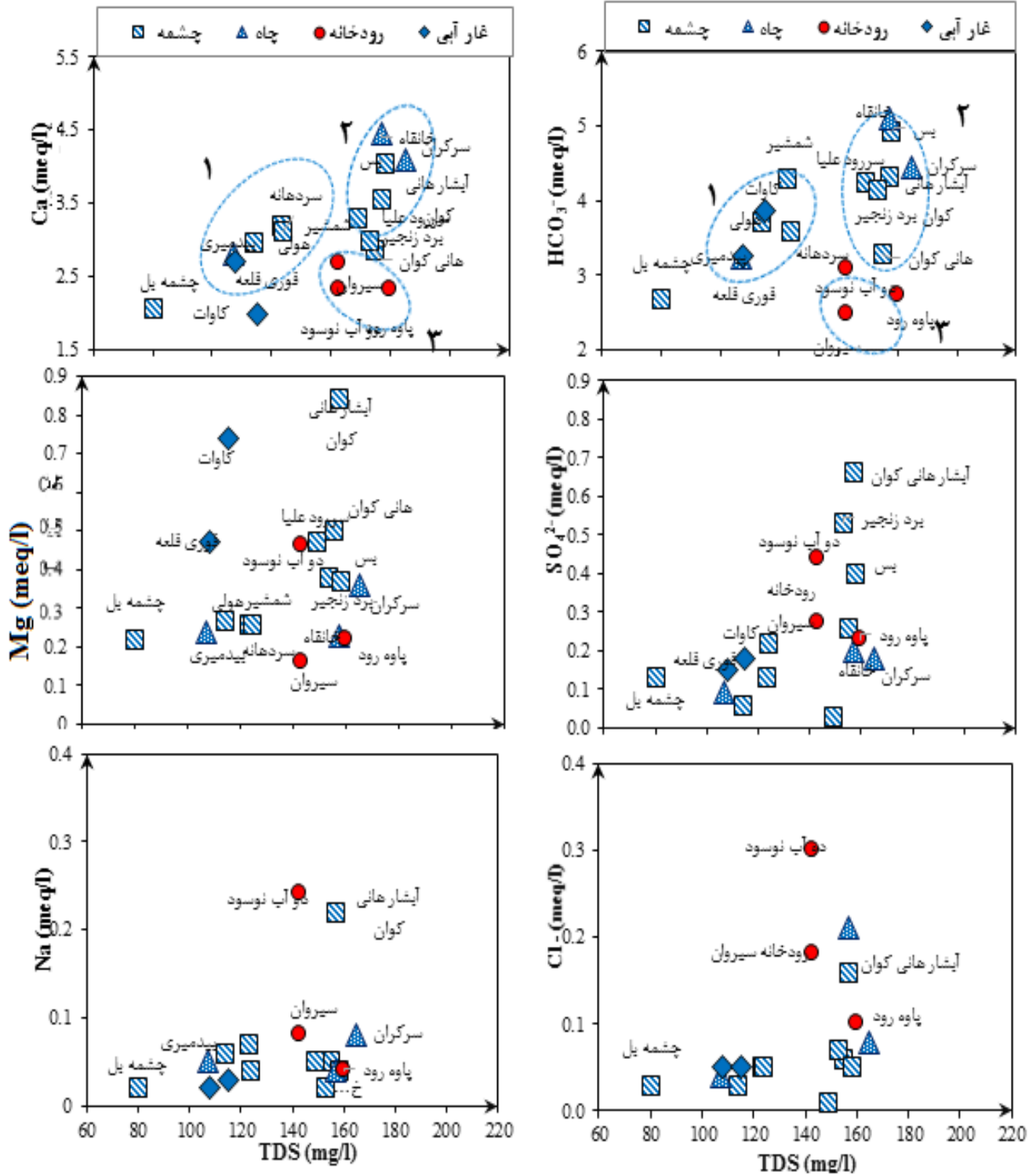
نمودار ترکیبی مجموع مواد جامد محلول و یون‌های غالب  $(Ca^{2+}, HCO_3^-, Mg, SO_4, Na, Cl)$  در فصل تر و خشک (شکل ۵)، نشان می‌دهد که روند افزایشی بین مقدار  $TDS$  و یون‌های کلسیم و بی‌کربنات وجود دارد و سایر یون‌ها تأثیر کمی بر روی  $TDS$  دارد. در فصل تر (شکل ۵ - الف)، موقعیت نمونه‌ها را می‌توان در سه گروه دسته‌بندی کرد. گروه اول (منابع آب زیرزمینی شامل چشمه‌های سردهانه، هولی، شمشیر، چاه بیدمیری و غارهای قوری قلعه و کاوات) با  $TDS$  بین ۱۰۰ تا ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر هستند و از سنگ‌آهک

جدول ۲- نسبت‌های یونی منابع آبی مورد مطالعه در محدوده‌های مطالعاتی پاوه و جوانرود.

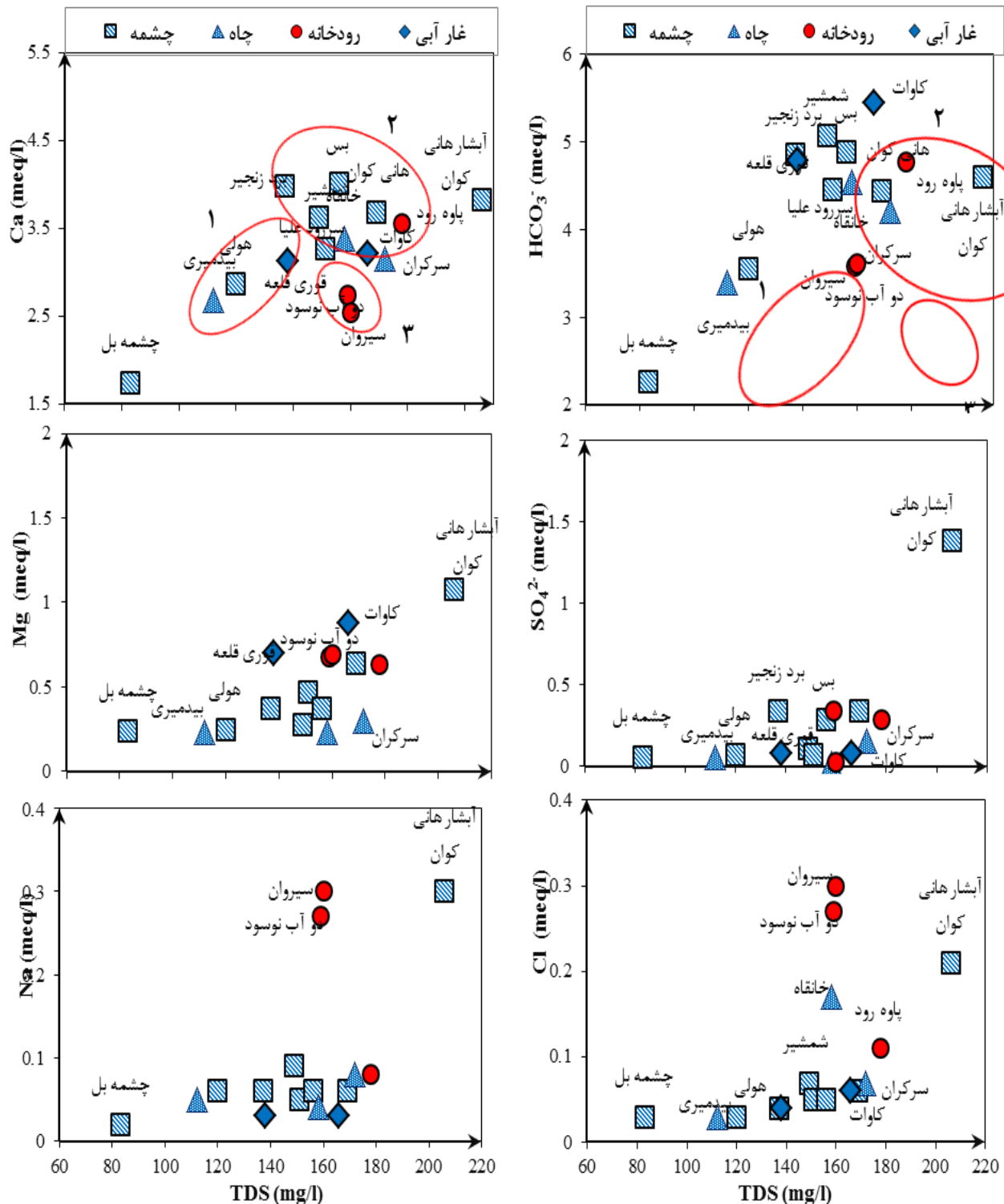
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / Sum Anions	Ca/Ca+ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mg/Mg+Ca	Na/Na+Cl	Na/Cl	Ca/Mg	مکان نمونه‌برداری
۰/۰۵	۰/۹۸	۰/۰۸	۰/۶۷	۲/۰۰	۱۰/۹۶	سراب هولی
۰/۰۳	۰/۹۴	۰/۱۰	۰/۴۰	۰/۶۷	۹/۳۶	چشمه بل
۰/۰۴	۰/۹۲	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۸۳	۵/۷۰	چشمه‌هانی‌کوان
۰/۰۶	۰/۸۴	۰/۱۹	۰/۵۸	۱/۳۸	۴/۲۴	آبشار هانی‌کوان
۰/۰۹	۰/۹۱	۰/۰۸	۰/۴۴	۰/۷۹	۱۱/۸۷	چشمه خانقاه
۰/۰۶	۰/۹۶	۰/۰۸	۰/۵۸	۱/۴۰	۱۲/۳۱	سراب شمشیر
۰/۰۷	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۱۹	۱۹/۳۵	چاه بیدمیری
۰/۰۶	۰/۹۶	۰/۰۸	۰/۵۰	۱/۰۰	۱۱/۳۶	چاه سرکران
۰/۰۴	۰/۹۷	۰/۰۸	۰/۵۶	۱/۲۵	۱۱/۶۷	چاه خانقاه
۰/۰۵	۰/۹۳	۰/۰۸	۰/۴۴	۰/۸۰	۱۲/۰۴	چشمه سردهانه
۰/۰۶	۰/۹۹	۰/۱۲	۰/۸۳	۵/۰۰	۷/۰۴	سراب سر رود علیا
۰/۰۵	۰/۸۵	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۲۹	۷/۸۷	سراب برد زنجیر
۰/۰۷	۰/۹۱	۰/۰۸	۰/۴۴	۰/۸۰	۱۰/۸۹	سراب بس
۰/۰۴	۰/۹۵	۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۴۰	۵/۷۴	غار قوری قلعه
۰/۰۵	۰/۹۲	۰/۲۷	۰/۳۸	۰/۶۰	۲/۷۰	غار کوات

با توجه به موقعیت منابع آبی منطقه بر روی نمودار ترکیبی دو متغیره  $SO_4^{2-} / (SO_4^{2-} + HCO_3^-)$  در مقابل  $Mg / (Mg + Ca)$  در شکل ۶، تمام نمونه‌ها در قلمرو انحلالی کانی کلسیت قرار می‌گیرند. تمرکز موقعیت نمونه‌ها به دلیل خلوص بالای سنگ مخزن کارستی آبخوان (بیستون، ایلام و سروک) می‌باشد، که تأییدی بر یافته‌های قبلی است. الگوی خوشه‌ای موقعیت نمونه‌های آبی بر روی نمودارهای ترکیبی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در برابر یون محافظه کار کلر (مور، ۲۰۰۸؛ جمیسی، ۲۰۰۱) نیز نشان می‌دهد که غلظت یون‌ها تقریباً از یک منشاء (آهک‌ها) تأمین می‌شود.

در فصل خشک، موقعیت منابع آبی زیرزمینی با دبی پایه زیاد (همانند چشمه بل) تقریباً ثابت مانده است، اما سایر منابع آبی به دلیل کمبود آب نفوذی ناشی از نزولات جوی، تأمین آب آن‌ها از آبخوان کارستی و تأثیر بیشتر زمین‌شناسی بر غلظت یون‌ها، جابجایی جزئی نشان می‌دهد. به دلیل نریختن آب چشمه بل از مهر ۱۳۹۴ به رودخانه سیروان، کیفیت آب این رودخانه کاهش یافته، لذا با فاصله نسبت به سایر منابع کارستی قرار گرفته است (شکل ۵ - ب). آبشار هانی‌کوان به دلیل آلودگی به‌وسیله فاضلاب‌های سطحی موقعیتی متفاوت نسبت به آب‌های زیرزمینی دارد.

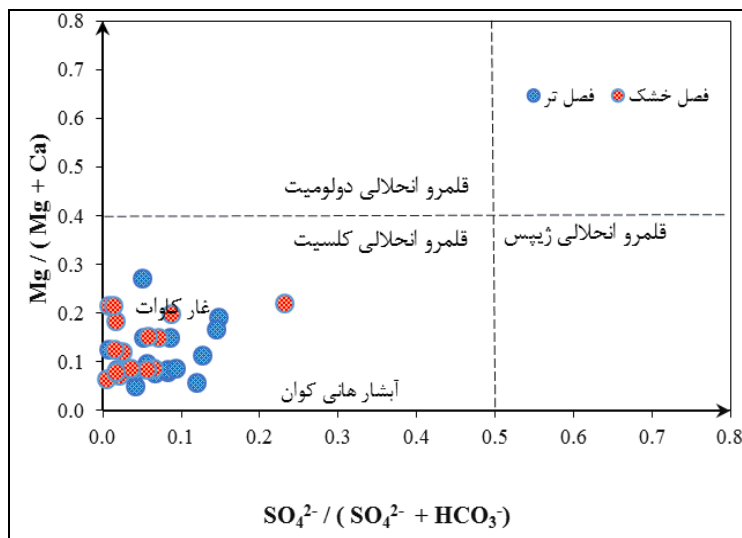


(الف)



(ب)

شکل ۵ - نمودار TDS در برابر کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی محدوده‌های پاره و جوانرود در فصل‌های تر (الف) و خشک (ب).



شکل ۶ - موقعیت نمونه‌های منابع آبی مورد مطالعه روی نمودار ترکیبی دو متغیره  $SO_4^{2-} / (SO_4^{2-} + HCO_3^-)$  در مقابل  $Mg / (Mg + Ca)$ .

نتایج بکارگیری ماتریس اطلاعات شامل متغیرهای EC، pH، T، غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی (شامل یون‌های Ca، Mg، Na،  $HCO_3^-$ ،  $SO_4^{2-}$  و Cl) و همچنین محتوای ایزوتوپی ( $^{18}O$  و  $^2H$ ) در تحلیل عامل اصلی (PCA) آب‌های زیرزمینی منطقه، مورد استفاده قرار گرفت و در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان دهنده وجود دو عامل اصلی اثرگذار بر ترکیب شیمیایی منابع آبی منطقه در فصل‌های تر و خشک است.

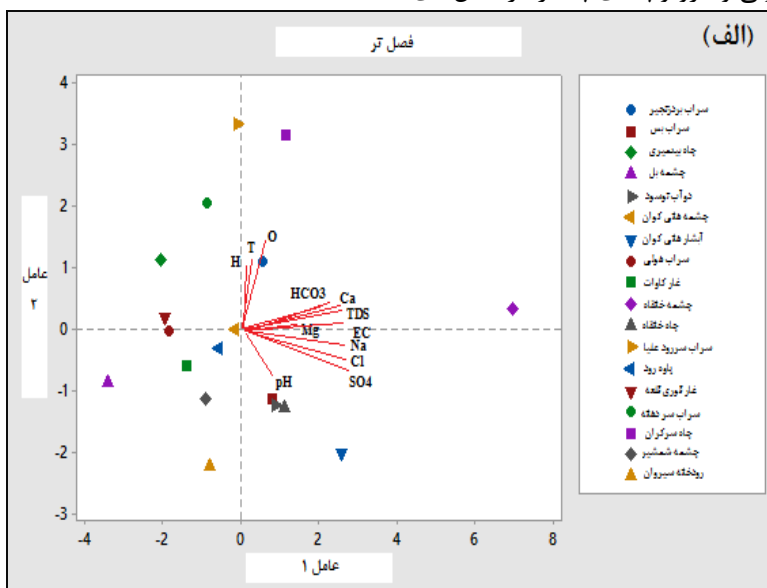
جدول ۴ - نتایج تحلیل عاملی داده‌های کیفی آب زیرزمینی در محدوده‌های مطالعاتی پاره و جوانرود

متغیرها	فصل تر (دی‌ماه ۱۳۹۳)		فصل خشک (مهرماه ۱۳۹۴)	
	عامل اول	عامل دوم	عامل اول	عامل دوم
EC	۰/۹۴	۰/۰۸	۰/۳۳	۰/۸۹
TDS	۰/۹۴	۰/۰۷	۰/۳۹	۰/۸۹
Ca	۰/۸۱	۰/۱۶	-۰/۲۴	۰/۸۸
$HCO_3^-$	۰/۸۰	۰/۱۵	-۰/۲۹	۰/۸۶
Na	۰/۷۸	-۰/۲۱	۰/۹۲	۰/۱۶
Cl	۰/۷۷	-۰/۳۴	۰/۸۴	۰/۱۶
$SO_4^{2-}$	۰/۷۲	-۰/۳۴	۰/۵۴	۰/۵۵
Mg	۰/۳۵	-۰/۰۶	۰/۵۶	۰/۵۲
$\delta^{18}O$	۰/۲۷	۰/۸۹	۰/۷۲	-۰/۰۹
T	۰/۱۷	۰/۷۶	۰/۴۲	۰/۳۵
$\delta^2H$	۰/۰۷	۰/۶۸	۰/۷۴	۰/۰۱
pH	۰/۲	-۰/۶۲	۰/۶۷	-۰/۵۴
درصد واریانس	۴۲/۳۶	۲۱/۷۳	۳۵/۳۴	۳۴/۷۹
درصد واریانس تجمعی	۴۲/۳۶	۶۴/۰۹	۳۵/۳۴	۷۰/۱۴

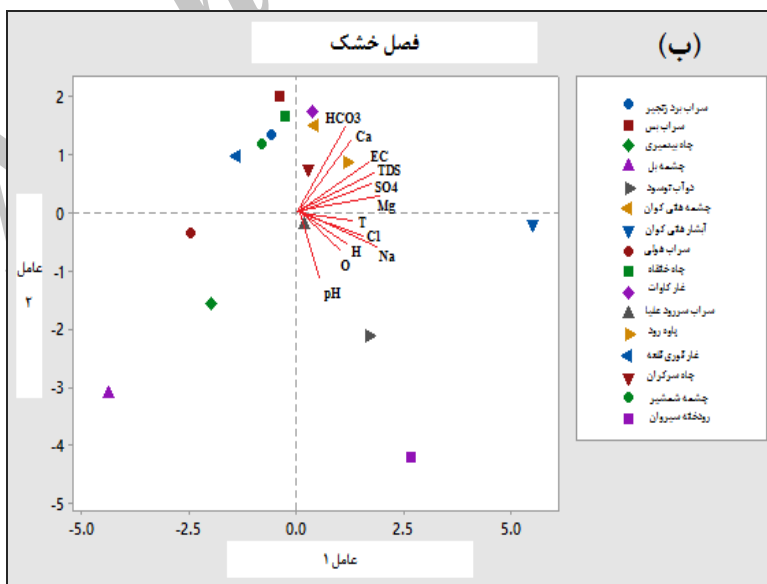
ارتباط قوی بین متغیرهای کلسیم و بی‌کربنات بیانگر تأثیر زیاد آهک‌های سازند بیستون بر ترکیب منابع آبی و همچنین ارتباط بین یون‌های سدیم، کلر و سولفات نشان دهنده وجود ناخالصی در آبخوان کارستی است. عامل اصلی اول در فصل تر، زمین‌شناسی منطقه می‌باشد و نزدیک به ۴۲/۳ درصد از واریانس کل داده‌ها را شامل می‌شود. عامل دوم که ۲۱/۷ درصد

تر و خشک به یکدیگر می‌باشد (کاماچو و سوارز، 2015). در فصل تر، زمین‌شناسی بر ترکیب آب چشمه‌های بس، شمشیر، غار کاوات، چاه خانقاه، آبشار هانی‌کوان، دوآب نوسود، رودخانه‌های پاورود و سیروان تأثیرگذار است. افزایش زمان ماندگاری آب در آبخوان و بر همکنش آب با سازندهای آهکی نیز در تعیین ترکیب شیمیایی منابعی از جمله چشمه بل، سراب هولی، سراب سردهانه، سراب بردزنجیر، غارهای قوری قلعه و کاوات و چاه‌های سرکران و بیدمیری مؤثر می‌باشد.

از واریانس کل داده‌ها را تشکیل می‌دهد، با توجه به ارتباط قوی بین  $^{18}\text{O}$  و  $^2\text{H}$ ، دما و pH می‌تواند ناشی از تعامل آب و سنگ (افزایش زمان ماندگاری) باشد. در فصل خشک، نیز تعامل آب و سنگ و زمین‌شناسی به‌عنوان عامل‌های اول و دوم (با درصد واریانس حدود 35٪) تأثیر یکسانی بر کیفیت آب دارند (جدول 4). تفکیک منابع آبی بر اساس عوامل اصلی بر روی نمودار بای پلات تحلیل عامل‌های اصلی (شکل 7) (کلانتری و همکاران، 1386)، بیانگر وابسته نبودن فاکتورهای از جمله pH، غلظت‌های یونی و ایزوتوپ‌های پایدار در فصل‌های



(الف)



(ب)

شکل ۷- طبقه‌بندی منابع محدوده‌های مطالعاتی پاورود و جوانرود بر اساس عامل اصلی.

از بین منابع کارستی، فقط چاه خانقاه ترکیب ایزوتوپی غنی شده‌تری نسبت به سایر منابع دارد که احتمالاً از بارش های غنی‌شده‌تر در فصول گرم سال و از آب‌های تبخیر شده، تغذیه شده است (رئیسی، ۱۳۸۱).

در سومین گروه، منابع آب سطحی که با شیب نسبت به خط ایزوتوپی آب‌های جوی منطقه قرار گرفتند، تبخیر غنی‌شدگی را به دنبال داشته است (شکل ۸). در فصل خشک میزان دبی رودخانه‌ها کاهش پیدا کرده و به دلیل تبخیر ثانویه از سطح، محتوی ایزوتوپی رودخانه‌ها نسبت به فصل تر غنی شده‌تر است (شکل ۸ - ب).

در دوره‌ی خشک، احتمالاً به دلیل تغذیه منابع آب زیرزمینی از آب‌های کارستی با سیستم‌های مختلف (اعم از افشان و مجرای) و زمان ماندگاری بیشتر آب در سیستم و در نتیجه تعامل بیشتر آب و سنگ، محتوی ایزوتوپی اکسیژن ۱۸ در منابع آب کارستی (گروه دوم) غنی‌تر و در نتیجه کمی به طرف راست جابجا شده‌اند (کله و همکاران، ۲۰۱۱).

در فصل تر، نمونه آب‌های مربوط به غار قوری قلعه و چشمه بردزنجیر با مقادیر ایزوتوپی  $\delta^{18}O$  % -۷/۲ و  $\delta^{2}H$  % -۳۷ (به ترتیب برای  $\delta^{18}O$  و  $\delta^{2}H$ )، و همچنین چشمه هانی‌کوان و چشمه سررود علیا با مقادیر ایزوتوپی  $\delta^{18}O$  % -۷/۲ و  $\delta^{2}H$  % -۳۷/۷، دارای محتوی ایزوتوپی یکسانی بوده و کاملاً بر روی هم قرار گرفته‌اند. در فصل خشک نیز ترکیب برخی از منابع آبی محتوی ایزوتوپی شبیه به یکدیگر دارند.

یکسان بودن غلظت ایزوتوپ‌های پایدار می‌تواند به دلیل یکسان بودن ارتفاع محل تغذیه (کلارک، ۱۹۹۷)، این منابع آبی باشد. مقایسه مقادیر محتوی ایزوتوپی آب چشمه‌ها با محتوی ایزوتوپی نزولات جوی، نشان‌دهنده تهی بودن اکثر منابع کارستی و تغذیه‌ی این منابع در فصل‌های سرد سال است.

تغییرات محتوی ایزوتوپی ( $\delta^{18}O$  و  $\delta^{2}H$ ) - تعیین منشأ، زمان ماندگاری و ارتفاع تغذیه

به‌منظور بررسی تغییرات ترکیب ایزوتوپی منابع آبی محدوده‌های مطالعاتی پاه و جوانرود، از خط ایزوتوپی آب‌های جوی پاه  $(PMWL - \delta^{2}H = 6.9 \delta^{18}O + 11.9)$ <sup>۶</sup> (محمدزاده و همکاران، ۱۳۹۵)، به‌عنوان خط مبنا استفاده شد.

خط ایزوتوپی منطقه شیب و عرض از مبدأ متفاوتی نسبت به خط آب جوی جهانی  $(GMWL - \delta^{2}H = 8 \delta^{18}O + 10)$ <sup>۷</sup> (کرایگ، ۱۹۶۱) نشان می‌دهد.

با توجه نتایج آنالیز ترکیب ایزوتوپی منابع آبی محدوده‌های مطالعاتی پاه و جوانرود (محمدزاده، ۱۳۹۵)، مقادیر میانگین  $\delta^{18}O$  در فصل تر به ترتیب برابر با % -۷/۲ و % -۷ و در فصل خشک % -۶/۷ و % -۶/۶- و میانگین مقدار  $\delta^{2}H$  در فصل تر به ترتیب، % -۳۷/۵ و % -۳۶/۸- و در فصل خشک نیز برای هر دو محدوده % -۳۷/۸- می‌باشد.

با قرار دادن مقدار محتوی ایزوتوپی منابع آبی در فصل تر و خشک بر روی نمودار پراکنش  $\delta^{18}O$  نسبت به  $\delta^{2}H$  (شکل ۷)، منابع در سه گروه کلی قرار گرفتند، با این تفاوت که در فصل خشک، به علت عملکرد بیشتر تبخیر منابع پراکندگی بیشتری دارند. اولین گروه، منابعی هستند که در سمت چپ خط ایزوتوپی آب‌های جوی پاه ( $PMWL$ ) و همچنین اطراف و روی خط ایزوتوپی آب‌های جوی حوضه الوند ( $AMWL$ <sup>۸</sup>) (کریمی و همکاران، ۲۰۰۵)، قرار گرفته‌اند.

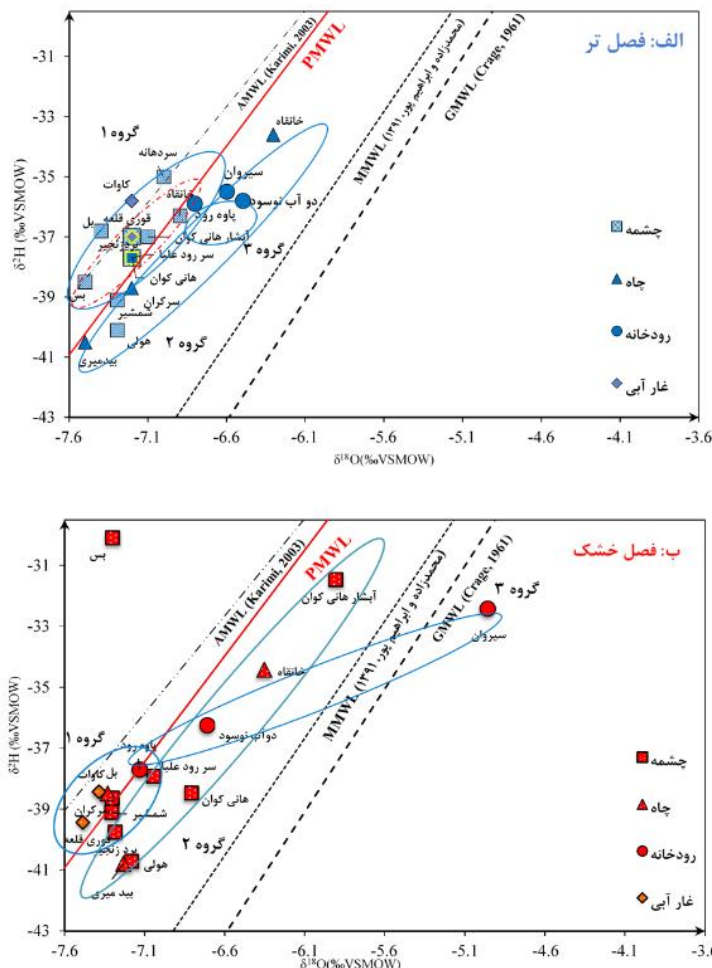
این منابع تهی‌شده هستند و از ارتفاعات و در فصول سرد سال تغذیه می‌شوند و به دلیل سیستم مجرای و حرکت سریع آب زمان ماندگاری کمی دارند و تبخیر بر ترکیب ایزوتوپی آن‌ها اثرگذار نبوده است. دومین گروه به دلیل عملکرد تبخیر، به‌صورت موازی روی خط و پایین‌تر از خط ایزوتوپی آب‌های جوی پاه ( $PMWL$ ) قرار دادند. علاوه بر بارش، اختلاط آب‌های زیرزمینی نیز در تأمین آب منابع نقش داشته است.

<sup>۶</sup> Paveh Meteoric Water Line

<sup>۷</sup> Global Meteoric Water Line

<sup>۸</sup> Alvand Meteoric Water Line





شکل ۸- ترکیب ایزوتوپی منابع آبی پاوه و جوانرود و موقعیت آن‌ها روی دیاگرام  $\delta^2\text{H}$  نسبت به  $\delta^{18}\text{O}$  در نمونه‌برداری فصل‌های تر (الف) و خشک (ب)، (محمدزاده، ۱۳۹۵).

### نتیجه‌گیری

نتیجه این تحقیقات و به‌کارگیری تکنیک‌های مختلف هیدروژئوشیمیایی و بررسی محتوای ایزوتوپی، نشان می‌دهد که در محدوده‌های مطالعاتی پاوه و جوانرود در درجه اول زمین‌شناسی (آهک‌های بیستون و سازندهای ایلام-سروک) و به‌طور جزئی فعالیت‌های انسانی بر کیفیت منابع آبی منطقه تأثیرگذار می‌باشند. به دلیل تعامل آب با سازندهای کربناته در اغلب منابع، تیپ آب بیکربناته-کلسیک می‌باشد. با توجه به محتوای ایزوتوپی منابع و مقایسه آن با خط ایزوتوپی آب جوی پاوه (PMWL)، منابع آبی در سه گروه قرار گرفتند: گروه اول از ارتفاعات و در فصول سرد سال تغذیه می‌شوند و با محتوای ایزوتوپی تهی‌شده، زمان ماندگاری اندکی دارند. منابعی که در گروه دوم قرار گرفته‌اند، اندکی غنی‌شدگی دارند و علاوه بر

بارش، اختلاط آب‌های زیرزمینی نیز در تأمین آب آن‌ها نقش داشته است. زمان ماندگاری در دومین گروه نسبت به گروه اول بیشتر شده و غنی‌شدگی جزئی طی تماس آب با آبخوان ایجاد شده است. سومین گروه، منابع آب‌های سطحی هستند و به علت تبخیر، غنی‌شدگی بیشتری نسبت به سایر منابع دارند. ارتفاع متوسط تغذیه‌ی تمام منابع آبی کارستی منطقه از ارتفاع خود منابع بالاتر بوده و تطابق قابل‌توجهی با ارتفاع سینک‌هول‌های کارستی در محدوده‌های مورد مطالعه دارد.

### تشکر و قدردانی

این تحقیق با استفاده از حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه در راستای اجرای پروژه صنعتی با کد -CN:KSHW- 92123 و کد ملی ۱۳۱۸۴۳-۷۵۹۷ انجام شده است، از این‌رو، از

کلانتری، ن.، رحیمی، م. ح.، چرچی، ع.، ۱۳۸۶. استفاده از دیاگرام های ترکیبی، تحلیل عاملی و نمایه های اشباع در ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت های زویرچری و خران. نشریه زمین شناسی مهندسی، جلد دوم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۸۶، ص ۳۳۹-۳۵۸.

محمدزاده، ح.، ۱۳۹۵. تهیه نقشه های پهنه بندی و خط ایزوتوپی ( $^{18}\text{O}$  VS.  $^2\text{H}$ ) نزولات جوی استان کرمانشاه و بررسی منشاء آب های سطحی و زیرزمینی و تعیین سن نسبی و زمان ماندگاری آب های کارستی با استفاده از ردیاب های هیدروشیمیایی و ایزوتوپی. مشهد، دانشکده علوم، مرکز تحقیقات آب های زیرزمینی.

محمدزاده، ح.، اسکندری، ع.، نجفی، م.، ۱۳۹۵. بررسی ترکیب ایزوتوپی نزولات جوی در محدوده مطالعاتی پاره. ص. ۵. دومین همایش ملی کاربرد ایزوتوپ های پایدار مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.

ناصری، ح. ر.، ۱۳۷۰. مطالعه هیدروژئولوژیکی چشمه های کارستی حوضه آبریز سد درودزن. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آب شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز.

ولی نیا، ح.، ناصری، ح.، نخعی، م.، و فتوت م.، ۱۳۹۰. تعیین سنگ منشأ آب های زیرزمینی با استفاده از نسبت های یونی مطالعه موردی: دشت حسن آباد، کرمانشاه. سی امین گردهمایی علوم زمین، تهران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Aghazadeh, N., Asghari-Mogaddam, A. A., 2011. Investigation of hydrochemical characteristics of groundwater in the Harzandat aquifer, Northwest of Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 176(1-4), 183-195.

Camacho Suarez, V. V., Saraiva Okello, A. M. L., Wenninger, J. W., and Uhlenbrook, S., 2015. Understanding runoff processes in a semi-arid environment through isotope and hydrochemical hydrograph separations. Hydrology and Earth System Sciences, 19(10), 4183-4199.

Clark, I. D., 2015. Groundwater Geochemistry and Isotopes: CRC Press.

Clark, I.D., Fritz P., 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology. CRC Press.

Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric waters. Science, 133(3465), 1702-1703.

Ford, D., Williams, P. D., 2013. Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley and Sons.

Gemici, U., Filiz, S., 2001. Hydrochemistry of the Cesme geothermal area in western Turkey. J.Volcanol. Geotherm. Res.110, 171-187.

Gibbs, R.J., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. Science, 170, 1088- 1090.

Goldscheider, N., Drew, D., 2007. Methods in Karst Hydrogeology: IAH: International Contributions to Hydrogeology, 26.

کمیتة تحقیقات شرکت آب منطقه ای کرمانشاه کمال تشکر و قدردانی را داریم.

## منابع

آقاناتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران. تهران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدن ایران.

باقری ششده، ر.، رئیس، ع.، محمدی، ض.، بهادری، ف.، ۱۳۸۶. تعیین منشأ آب چشمه های کارستی بخش شرقی تقادیس راوندی با استفاده از ایزوتوپ های  $^{18}\text{O}$  و  $^2\text{H}$ ، هیدرو شیمی و بیان: یازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.

رئیس، ع.، ۱۳۸۱. پروژه مطالعات نیمه تفصیلی منابع آب کارست حوضه الوند کرمانشاه جلد سوم گزارش آب های زیرزمینی و زون های کارستی حوضه الوند. شیراز، بخش علوم زمین دانشگاه شیراز.

سلیم، ق.، کرمی، غ.، غزنوی، ک.، ۱۳۹۰. بررسی هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژی آبخوان های محدوده دشت ذهاب. هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران ص. ۷. شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.

شجاعی، م.، محمدزاده، ح.، فتوحی نجفی، ع.، ۱۳۹۱. بررسی و مقایسه خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و هیدرودینامیکی چشمه های کارستی مزار، اندرخ و چشمه گیلان. اولین همایش زمین شناسی فلات ایران کرمان. ص. ۸. دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.

طاهری، ک.، رئیس، ع.، ۱۳۸۹. منابع کارست ایران مقدمه ای بر یک مفهوم. نخستین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی منابع آب ایران. ص. ۱۴. کرمانشاه، شرکت آب منطقه ای کرمانشاه.

غزنوی، ک.، کرمی، غ.، سلیم، ق.، ۱۳۹۰. بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی آب دشت های آبرفتی مجاور سراب نیلوفر در استان کرمانشاه. هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.

کرمی، غ.، خسروی سوادجانی، ر.، طاهری، ع.، ۱۳۹۰. بررسی وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان کارستی چشمه امام قیس با چاه های آب مجاور، هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.

کریمی وردجانی، ح.، ۱۳۸۹. هیدروژئولوژی کارست. شیراز، انتشارات ارم شیراز.

- Langmuir, D., 1997. *Aqueous Environmental Geochemistry*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Mustafa, O., Merkel, B., Weise, S. M., 2015. Assessment of Hydrogeochemistry and Environmental Isotopes in Karst Springs of Makook Anticline, Kurdistan Region, Iraq. *Hydrology*, 2(2), 48-68.
- Kyle W.B., Jeannie R.B., 2007. Distinguishing Sources of Ground Water Recharge by Using  $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ . *Ground water*. Mazor, E., 2004. *Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*. MerceL Dekker. Inc., New York. Pavlovskiy, I., Selle, B., 2015. Integrating hydrogeochemical, hydrogeological, and environmental tracer data to understand groundwater flow for a karstified aquifer system. *Groundwater*, 53(S1), 156-165.
- Pearson, K., 1901. Principal components analysis. *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 2(11), 559-572
- Sánchez, D., Andreo, B., López, M., González, M. J., Mudarra, M., 2015. Characterization of Carbonate Aquifers (Sierra de Grazalema, S Spain) by Means of Hydrodynamic and Hydrochemical Tools. In *Hydrogeological and Environmental Investigations in Karst Systems* (pp. 171-180).
- Shuster, E. T., White, W. B., 1971. Seasonal fluctuations in the chemistry of lime-stone springs: A possible means for characterizing carbonate aquifers. *Journal of Hydrology*, 14(2), 93-128.
- Srivastava, S. K., Ramanathan, A. L., 2008. Geochemical assessment of groundwater quality in vicinity of Bhalswa landfill, Delhi, India, using graphical and multivariate statistical methods. *Environmental Geology*, 53(7), 1509-1528.
- Han, Z., Tang, C., Wu, P., Zhang, R., Zhang, C., 2014. Using stable isotopes and major ions to identify hydrological processes and geochemical characteristics in a typical karstic basin, Guizhou, southwest China. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 50(1), 62-73.
- Hounslow, A., 1995. *Water quality data: analysis and interpretation*. CRC press.
- Karimi, H., Moore, F., 2008. The source and heating mechanism for the Ahram, Mirahmad and Garu thermal spring, Zagros Mountains, Iran. *Geothermics* 37, 84 – 100.
- Karimi, H., Raeisi, E., Bakalowicz, M., 2005. Characterising the main karst aquifers of the Alvand basin, northwest of Zagros, Iran, by a hydrogeochemical approach. *Hydrogeology Journal*, 13(5-6), 787-799.
- Kele, S., Özkul, M., Fórizs, I., Gökgöz, A., Baykara, M. O., Alçiçek, M. C., Németh, T., 2011. Stable isotope geochemical study of Pamukkale travertines: new evidences of low-temperature non-equilibrium calcite-water fractionation. *Sedimentary Geology*, 238(1), 191-212.
- Marques, J. M., Eggenkamp, H. G., Graça, H., Carreira, P. M., José Matias, M., Mayer, B., Nunes, D., 2010. Assessment of recharge and flowpaths in a limestone thermomineral aquifer system using environmental isotope tracers (Central Portugal). *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 46(2), 156-165.

Archive