

## مقدمه

مساحت سازندهای کریناته در ایران، ۱۸۵ هزار کیلومترمربع است که از این میزان، ۵۵/۲ درصد آن در زاگرس واقع شده است [۶، ۲۲]. به عبارت دیگر، ۱۱ درصد از سطح ایران و ۹۰ درصد از مساحت زاگرس، از سازندهای کارستی پوشیده شده است [۱]. منابع آب زیرزمینی کارستی از بزرگترین منابع آب شیرین جهان هستند به طوری که فورد و ویلیامز [۸] تخمین زده‌اند که آب شرب حدود ۲۵ درصد از جمعیت جهان از منابع آب موجود در سنگ‌های کارستی تأمین می‌شود. ایران نیز بعد از کشورهای آمریکا، چین و ترکیه، بالاترین درصد کارست را دارد و بیش از ۱۱ درصد سطح کشورمان را سازندهای کارستی می‌پوشاند [۵، ۱۱]. شهرهای بزرگی همچون شیراز، کرمانشاه و مناطق وسیعی از استان ایلام، لرستان، کردستان و کهگیلویه و بویراحمد از منابع آب کارست تغذیه می‌کنند [۵، ۲۴]. عوامل تراکم گسل، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، تراکم زهکشی، پوشش سطح، بارندگی، انحنای سطح، ارتفاع، سنگ‌شناسی بر وجود منابع آب تأثیرگذار است [۲۱، ۲۲]. تحول و توسعه کارست تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد که در این میان نقش ترکیب سنگی و ویژگی‌های آن و عوامل ساختاری همچون گسل‌ها و درزه‌ها اهمیت زیادی دارد [۱۵]. مطالعه جریان آب در سیستم‌های کارستی به لحاظ ویژگی‌های هیدرودینامیکی و هیدرو شیمیایی، به علت عدم دسترسی مستقیم به شبکه کارست درونی صورت می‌پذیرد، زیرا این عدم دسترسی مانعی در راه مطالعه و بررسی شبکه کارست درونی و میزان توسعه آن است. ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی و انجام مطالعات هیدرو شیمیایی آبخوان‌ها، می‌تواند اطلاعات مفیدی را در رابطه با تأثیر مواد متشکله آبخوان و منطقه، مسیر جریان آب، تأثیر سنگ کف، نواحی تغذیه و تخلیه، نواحی تبخیر از آب زیرزمینی و تأثیر آب‌های سطحی بر آب زیرزمینی و در نهایت کیفیت آب زیرزمینی از نظر مصرف شرب، کشاورزی و صنعت در اختیار قرار دهد [۱۷]. از جمله مطالعات انجام شده در زمینه بررسی ویژگی‌های شیمیایی چشمه‌های مناطق کارستی در کشور می‌توان به مطالعات بهرامی [۲] و قدیمی [۹] اشاره کرد. آب‌های زیرزمینی به دلیل استعداد آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیره زیاد نسبت به آب‌های سطحی، به عنوان یک منبع مهم آب مورد توجه می‌باشند [۱۵، ۲۱]. منابع آب کارستی مهم‌ترین منبع تأمین آب در استان کرمانشاه می‌باشند. شناخت ویژگی‌های هیدرو شیمیایی و میزان توسعه یافتگی سیستم کارستی آبخوان‌ها یک نیاز اساسی جهت مدیریت علمی منابع آب و

## ارزیابی توسعه سیستم کارست درونی با استفاده از روش‌های هیدرو شیمیایی

علی دسترنج<sup>۱</sup>، احمد نوحه‌گرا<sup>۲</sup>، آرش ملکیان<sup>۳</sup> و مریم جعفری اقدم<sup>۴</sup>  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۸

## چکیده

هدف از این مطالعه ارزیابی میزان توسعه یافتگی و شناخت رفتار هیدرو شیمیایی آبخوان‌های کارستی توده‌های آهکی بیستون و دالاهو با استفاده از روش‌های گرافیکی، خوشه‌بندی، تحلیل عاملی و اندیس‌های اشباع است. بررسی نتایج روش‌های هیدرو شیمیایی، حاکی از فعال بودن فرایند انحلال در آبخوان‌های کارستی توده‌های مورد مطالعه در زمان غلبه جریان پایه هست. این روش‌ها، کارایی قابل قبولی در زمینه تعیین منشأ آب‌های کارستی، عوامل مؤثر در ویژگی‌های کیفی، میزان ماندگاری آب در آبخوان و ارزیابی میزان توسعه شبکه درونی سیستم‌های کارستی توده‌های مورد بررسی دارند. در توده بیستون چشمه‌های شاه حسین، سرابله، ورمنجه و میراحمد و چشمه‌های ریجاب و ماراب در توده دالاهو، به عنوان چشمه‌های با توسعه کارست درونی مشخص شد. سازند آهکی توده بیستون از نظر محل رخنمون، وسعت و یکپارچگی، ضخامت و ترکیب کانی‌شناسی خالص‌تر نسبت به آهک دالاهو دارای توان کارست‌زایی بسیار بیشتری است و نقش اساسی در شکل‌گیری و توسعه ژئومورفولوژی کارست توده بیستون بر عهده دارد.

## کلیدواژه‌ها: انحلال، آبخوان کارستی، دالاهو، بیستون

- ۱- نویسنده مسئول و استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد.
- ۲- استادیار دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران.
- ۳- دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ۴- دانش‌آموخته دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان.

پست الکترونیک:  
Dastranj66@gmail.com

مهم‌ترین سازندهای زمین‌شناسی آن می‌توان به سازندهای بیستون، قم و سازندهای دوره کواترنری اشاره کرد. اقلیم استان کرمانشاه و بالطبع منطقه مورد بررسی، از نوع معتدل مدیترانه‌ای می‌باشد.

### روش تحقیق

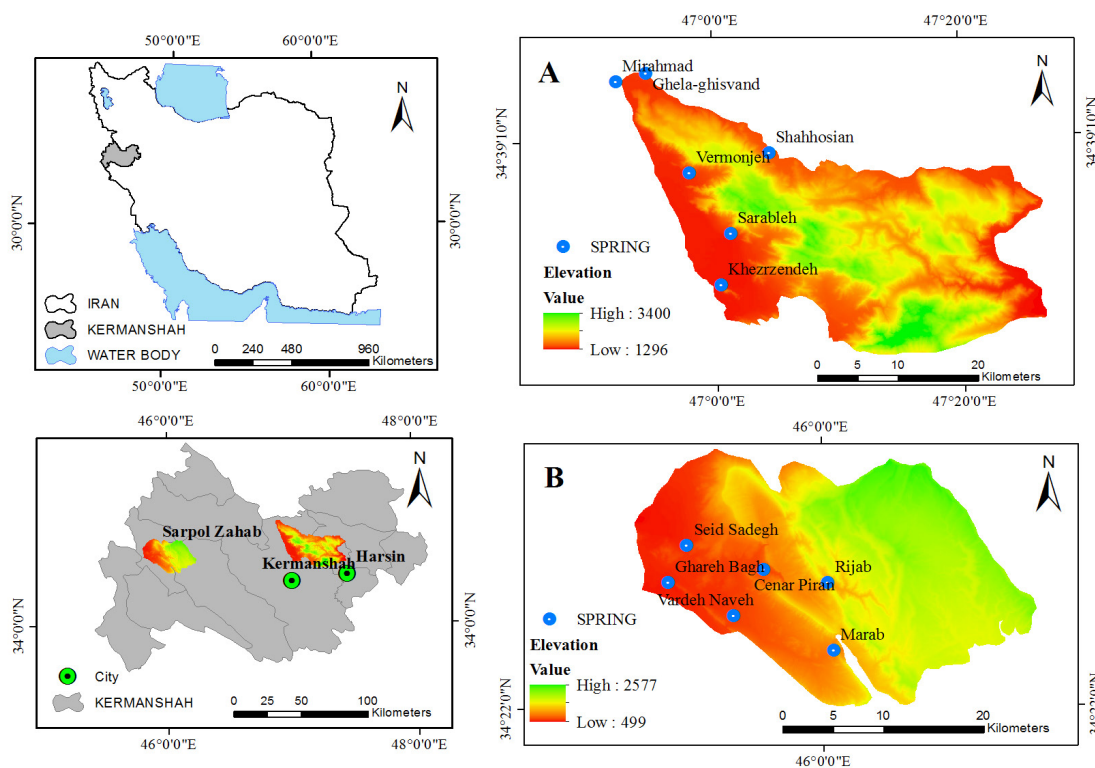
این پژوهش یک تحقیق توسعه‌ای- کاربردی مبتنی بر روش‌های کتابخانه‌ای، میدانی و ارزیابی توسعه شبکه کارست درونی دو توده آهکی بیستون و دالاهو است. در این دو توده، به علت تفاوت در سازندهای کربناته (ضخامت، خلوص)، زمین‌ساخت (گسل، درزه و شکاف)، شرایط اقلیمی (دما، بارش)، لند فرم‌های سطحی، توپوگرافی، توسعه کارست یکسان نیست. همین امر، سبب تفاوت در رفتار هیدرودینامیکی آبخوان‌های مورد بررسی گردیده است. به منظور انجام مطالعات هیدروشیمیایی از داده‌های شیمیایی (کیفی) چشمه‌های شاه حسین، ورمنجه، خضر زنده، قلاع قیسوند، میراحمد و سرابله در توده بیستون (شکل ۱(A)) و چشمه‌های ریجاب، ماراب، چنارپیران، سیدصادق، قره بلاغ و ورده ناوه در توده دالاهو (شکل ۱(B)) استفاده گردید. این‌گونه مطالعات نیازمند نمونه‌برداری مستمر و دقیق از آب چشمه‌ها و هم‌چنین ثبت داده‌های اقلیمی می‌باشند. از آنجائی که در بیشتر مناطق کشور، سازمان‌های آب منطقه‌ای تنها دو بار در طول سال اقدام به نمونه‌برداری کیفی از آب چشمه‌ها می‌نمایند، بنابراین امکان به‌کارگیری بسیاری از روش‌های متداول ارزیابی هیدروشیمیایی سیستم‌های کارستی در

بررسی شبکه کارست درونی و میزان توسعه آن است. هدف از این پژوهش، ارزیابی میزان توسعه‌یافتگی و شناخت رفتار هیدروشیمیایی آبخوان‌های کارستی توده‌های بیستون و دالاهو و عوامل مؤثر بر آن‌ها با استفاده از مقایسه و ارزیابی روش‌های گرافیکی، خوشه‌بندی و تحلیل عاملی است.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت مناطق مورد مطالعه

کوهستان دالاهو با روند شمال غرب- جنوب شرق، بین عرض‌های جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی، واقع شده است. چشمه‌های ریجاب، ماراب، چنارپیران، سیدصادق، قره بلاغ و ورده ناوه از این کوهستان، تغذیه می‌شوند (شکل ۱(B)). مهم‌ترین سازندهای زمین‌شناسی توده آهکی دالاهو شامل: سازندهای آسماری- شهبازان، پابده، تله زنگ، ایلام- سروک، آغاجاری و سازندهای کواترنری می‌باشد. آبخوان بیستون، منطبق بر کوهستان بیستون، در فاصله بسیار کوتاهی در شمال و شمال شرقی شهر کرمانشاه واقع شده است. این کوهستان، با روند شمال غرب- جنوب شرق، بین عرض‌های جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۶ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱(A)). از



شکل ۱- نقشه موقعیت و توده آهکی بیستون (A) و دالاهو (B)

Fig1. Geographical location of Bistoon (A) and Dalahoo (B) mass

زمین‌شناختی و فرایندهای هیدروشیمیایی صورت می‌گیرد [۱۹]. در واقع با تفسیر عامل‌ها، می‌توان تا حدودی شرایط حاکم بر سیستم کارستی را مشخص نمود. در این پژوهش، داده‌های هیدرو شیمیایی منابع آب توسط نرم‌افزار SPSS 19 مورد پردازش و تحلیل آماری قرار گرفته‌اند و فرآیند تحلیل عاملی برای داده‌های فوق با سطح معنای  $P < 0.01$  محاسبه شده است. تحلیل مؤلفه‌های اصلی، برای هر یک از خوشه‌های به‌دست‌آمده در توده‌های مورد مطالعه، با روش واریانس انجام گردید. ابتدا با استفاده از آماره KMO، مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی، مورد سنجش قرار گرفت.

#### - نسبت‌های یونی

نسبت‌هایی یونی، شاخص‌های مناسبی برای بررسی شیمی منابع آب زیرزمینی و تعیین منشأ املاح این آب‌ها می‌باشند. در پیدایش و ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، این نسبت‌ها متأثر از ترکیب شیمیایی کانی‌های محلول در آب بوده و مقدار کانی‌های انحلال یافته در درجه بعدی اهمیت قرار دارد. از نسبت‌های یونی می‌توان در تجزیه و تحلیل داده‌های هیدروشیمیایی سیستم‌های کارستی به منظور شناخت ویژگی‌های جریان، زمان ماندگاری آب در آبخوان، تعیین رابطه بین اجزای مختلف در یک سیستم هیدرولوژیکی، مکانیسم تغذیه و تخلیه و انتقال آلودگی در آبخوان‌ها استفاده نمود. دلیل استفاده از نسبت‌های یونی در این پژوهش، تعیین سنگ منشأ آبخوان‌های کارستی است. اطلاعات پایه‌ای که در این قسمت از پژوهش مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها (برحسب میلی‌گرم بر لیتر)، است. به منظور بررسی منشأ مواد محلول در آب‌های زیرزمینی و واکنش‌های موجود در آبخوان، از نسبت‌های یونی استفاده شده و این نسبت‌ها بر اساس روش هونسلو [۳] تفسیر شده‌اند.

#### نتایج

##### - روش‌های گرافیک

جدول ۱ و ۲ مقادیر خطای عکس‌العمل (RE) چشمه‌های توده آژوان- بیستون و دالاهو را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقدار RE در تمام چشمه‌های مورد مطالعه در هر دو توده کم‌تر از ۱۰ درصد است، بنابراین صحت داده‌ها قابل قبول است. شکل ۲ نمودار استیف چشمه‌های توده‌های بیستون و دالاهو نشان می‌دهد که کل مواد جامد محلول در آب در این چشمه‌ها، تحت تأثیر یون‌های بی‌کربنات، منیزیم و کلسیم است. به عبارت دیگر، رخساره هیدرو شیمیایی چشمه‌های توده‌های مورد بررسی  $Ca-Mg-HCO_3$  است.

##### تحلیل خوشه‌ای

نتایج تحلیل خوشه‌بندی ۱۲ چشمه معرف توده‌های بیستون و دالاهو در شکل ۳ نشان داده شده است. خوشه یک شامل چشمه‌های ریجاب، ماراب، شاه حسین، سرابله، میراحمد و ورمنجه می‌باشد. بررسی اجمالی ویژگی‌های ژئومورفولوژی کارست، توپوگرافی،

این پژوهش وجود ندارد. در ادامه، به منظور ارزیابی ویژگی‌های هیدروشیمیایی سیستم‌های کارستی، از پارامترهای کیفی چشمه‌های توده‌های مورد بررسی، استفاده می‌گردد. این پارامترها به دودسته کاتیون‌ها و آنیون‌ها تقسیم می‌گردند. روش‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل، الف. روش‌های گرافیکی، ب. خوشه‌بندی، ج. تحلیل عاملی می‌باشد.

##### - روش‌های گرافیکی

روش‌های گرافیکی دو هدف، تصویر نمودن داده‌ها جهت تجزیه و تحلیل و کشف رابطه و نظام موجود بین داده‌ها را دنبال می‌کنند [۱۳]. به منظور شناسایی کیفیت آب، از نمودارهای دوگانه و سه‌گانه در روش‌های گرافیکی استفاده می‌شود. این نمودارها به شرح ارتباط بین پارامترهای مختلف و تشخیص انواع آب می‌پردازند [۱۸]. در این پژوهش از داده‌های کیفی سازمان آب منطقه‌ای استفاده شده است. به منظور انجام محاسبات و ترسیم نمودارهای لازم، از نرم‌افزار Aq.QA 1.1 بهره گرفته شده است.

به منظور مشخص نمودن تیپ آب آبخوان‌های تشکیل شده در توده‌های مورد بررسی، از نمودارهای پایپر<sup>۱</sup> و استیف<sup>۲</sup> استفاده شد.

##### - تحلیل خوشه‌ای<sup>۳</sup>

به منظور گروه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی و سنجش میزان تشابه آن‌ها، از روش تجزیه خوشه‌ای (روش آماری چندمتغیره) و روش فاصله اقلیدسی آن‌ها استفاده می‌شود. این روش می‌تواند ابزار قدرتمندی به منظور تحلیل داده‌های هیدروشیمیایی بوده و برای بررسی داده‌های کیفیت آب مورد استفاده قرار گیرد و تعیین کند که آیا می‌توان نمونه‌ها را به گروه‌های متمایزی که از لحاظ زمین‌شناسی و آماری معنی‌دار باشند، تقسیم نمود [۱۰، ۱۱]. نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش، با استفاده از روش HCA و روش وارد<sup>۴</sup> [۱۰] گروه‌بندی شدند. روش وارد، از روش تحلیل واریانس جهت ارزیابی فواصل بین خوشه‌ها استفاده می‌کند. به منظور تقسیم‌بندی گروه‌ها از یون‌های اصلی و مجموع املاح کاتیون‌ها (Na, Mg, Ca)، آنیون‌ها (HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl) و پارامترهای EC، PH و TDS برحسب میلی‌گرم بر لیتر استفاده گردید.

##### - تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۵</sup> (تحلیل عاملی)

به دلیل آنکه تشخیص مجموعه‌ای از شرایط هیدروژئولوژیکی و فرایندهای هیدروشیمیایی که کیفیت آب چشمه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند، دشوار است، محققین هیدروژئوشیمی به منظور شناخت مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب در هر منطقه همگن، از تحلیل‌های عاملی بر اساس روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، برای این منظور استفاده می‌کنند [۱۹]. تفسیر و تعیین منشأ هر یک از این عامل‌ها بر اساس بارهای عاملی، شرایط هیدروژئولوژیکی،

1. piper Diagram
2. Stiff Diagram
3. Cluster Analysis (CA)
4. Ward's Method
5. Principal Component Analysis (PCA)

جدول ۱- مقادیر خطای عکس‌العمل چشمه‌های توده بیستون

Table1. Reaction error values of Biston mass springs

چشمه Spring	شاه حسین Shah Hosein	سرابله Sarableh	ورمنجه Vermonjeh	خضر زنده KHezr ZendeH	میراحمد Ahmad Mir	قلاع قیسوند Ghela GHisvand
% RE	0.53	0.13	0.28	0.32	0.63	0.43

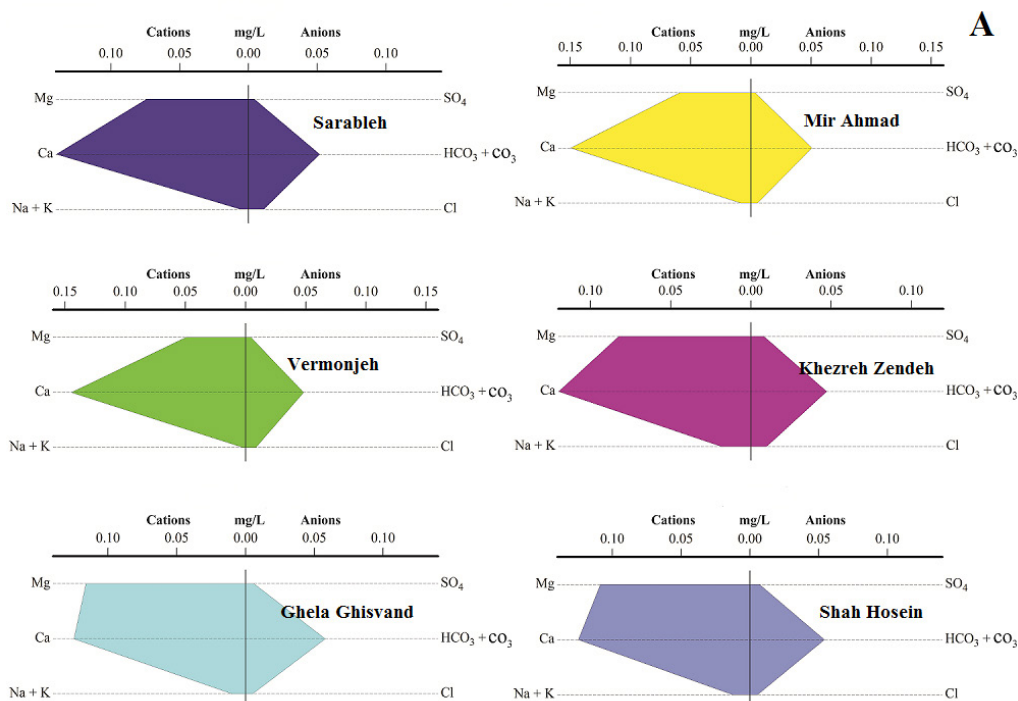
جدول ۲- مقادیر خطای عکس‌العمل چشمه‌های توده دالاهو

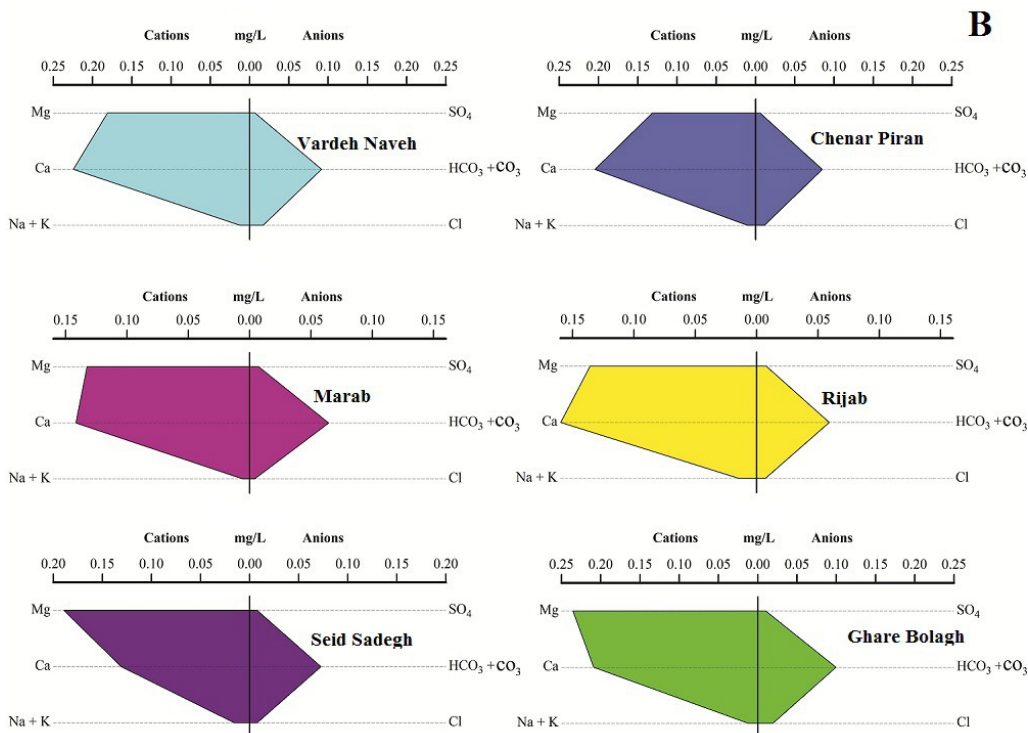
Table2. Reaction error values of Dalahoo mass springs

چشمه Spring	قره باغ Ghareh Bolagh	سید صادق Seid Sadegh	چنار پیران Chenar Piran	ریجاب Rijab	ماراب Marab	ورده ناوه Vadehnaveh
% RE	0.74	0.31	0.64	0.91	0.65	0.22

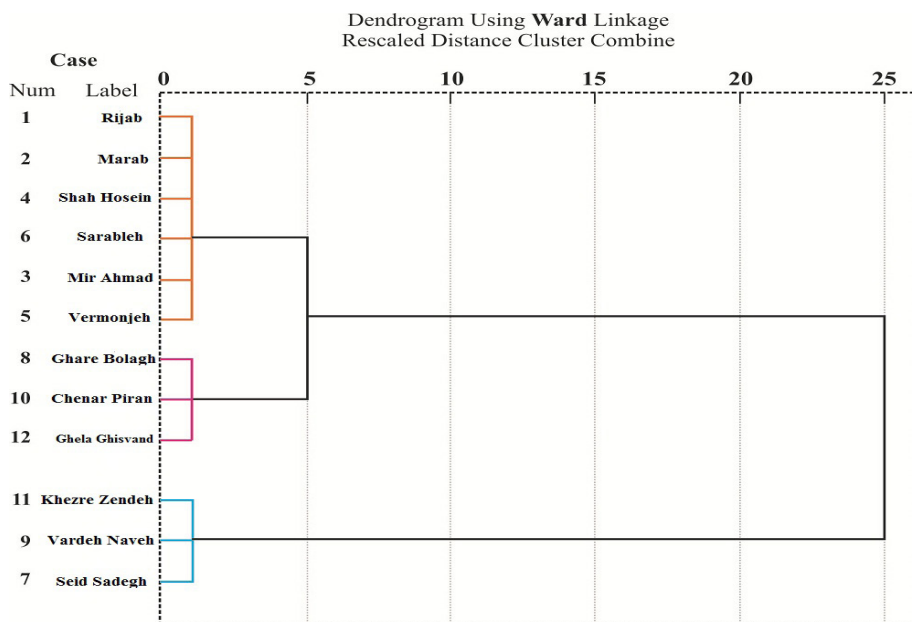
زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی کارست می‌باشند. لندفرم‌های کارستی توسعه‌یافته‌ای در محل تغذیه این چشمه‌ها، مشاهده نمی‌گردد. همچنین این چشمه‌ها دارای میزان بارش کم تا متوسط می‌باشند. چشمه‌های خوشه سه که شامل خضرزنده، ورده ناوه و سیدصادق می‌باشند، دارای خلوص کم آهک کربناته، توسعه محدود لندفرم‌های کارستی در حوضه تغذیه‌کننده این چشمه‌ها، درزه و شکاف‌های کمتر نسبت به دیگر قسمت‌های مناطق موردبررسی و قرارگیری در قسمت‌های کم ارتفاع توده‌های خود و در نتیجه، دریافت کم‌ترین

اقلیمی و زمین‌شناسی با نتایج خوشه‌بندی توده بیستون و دالاهو نشان می‌دهد که چشمه‌های این خوشه، دارای حوضه آبرگیر مرتفع، وجود گسل‌ها، درزه و شکاف‌های بسیار، رخنمون سازند بیستون در توده بیستون و آهک آسماری- شه‌بازان در توده دالاهو بوده و از بارش قابل قبول و بالایی برخوردار می‌باشند. همچنین حوضه تغذیه‌کننده این چشمه‌ها، در مناطق توسعه‌یافته کارستی واقع گردیده است. چشمه‌های قره‌باغ، چنار پیران و قلاع قیسوند واقع در خوشه دو، نیز دارای حوضه آبرگیر مشترک با شرایط یکسان اقلیمی،





شکل ۲- نمودار استیپ چشمه‌های توده بیستون (A) و دالاهو (B)  
 Fig2. Stepien diagram of Bišton (A) and Dalahoo (B) springs



شکل ۳- نمودار خوشه‌بندی چشمه‌های توده بیستون و دالاهو  
 Fig3. Clustering diagram of Bišton and Dalahu springs

می‌دهد. با رد این فرض نیز، درستی داده‌ها به منظور انجام تحلیل عاملی، مورد پذیرش واقع گردید (جدول ۳). نتایج تحلیل عاملی در خوشه همگن یک توده‌های بیستون و دالاهو نشان می‌دهد که سه عامل در نظر گرفته شده، حدوداً ۷۳ درصد از کل ترکیب آب چشمه‌ها را، تحت تأثیر قرار می‌دهند. به طوری که عامل یک (۳۲/۴۰)

میزان توسعه کارست در منطقه، می‌باشند.

#### تحلیل مؤلفه‌های اصلی

مقدار آماره KMO برای داده‌های هیدروشیمیایی چشمه‌ها، ۰/۸۲ است که حاکی از قابل قبول بودن داده‌ها است. آزمون بارتلت نیز فرض یکی بودن ماتریس ضرایب همبستگی را نشان

Table4. KMO and Bartlett's Test

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0.82
	Approx. Chi-Square	387.6
Bartlett's Test of Spheric	df	36
	Sig.	0.001

خضرزنده، ورده ناوه، سیدصادق می باشد و این چشمه ها در مناطق با توسعه محدود کارست سطحی واقع شده اند و تحت تأثیر فعالیت های انسانی نیز قرار دارند، تحلیل مؤلفه های اصلی تا حدی وضعیت سیستم کارستی و غلبه جریان پایه و ماندگاری بالای آب در این چشمه ها را، نشان می دهد.

جدول ۴- درصد واریانس کل و تجمعی و ماتریس عاملی دوران یافته خوشه یک

Table4. Percentage of total and cumulative variance and periodic factor matrix of the first cluster

Total Variance Explained			
Rotation Sums of Squared Loading			
Total	of Variance%	%Cumulative	
2.917	32.407	32.407	
2.394	26.602	59.010	
1.219	13.544	72.553	

Rotated Component Matrix			
	component		
	1	2	3
Na	-0.139	0.891	0.003
Mg	0.342	0.598	-0.147
Ca	0.888	0.097	0.247
Hco <sub>3</sub>	0.875	0.131	0.144
Cl	0.514	0.525	-0.159
So <sub>4</sub>	0.222	0.900	0.158
PH	0.520	0.156	-0.322
TDS	0.092	0.110	0.908
Ec	0.331	0.785	0.371

درصد)، عامل دو (۲۶/۲۶۰ درصد) و عامل سه (۱۳/۵۴ درصد) بر روی کیفیت آب چشمه های کارستی تأثیر گذاشته اند. عامل یک، به صورت قوی و مثبت با پارامترهای Ca و Hco<sub>3</sub> مرتبط است. در عامل دو، پارامترهای Na، So<sub>4</sub> و Ec، به عنوان مهم ترین عامل ها و توجیه کننده کیفیت آب چشمه ها، معرفی می شوند و عامل سه، به صورت قوی با پارامتر TDS مرتبط است. عامل یک را می توان به انحلال کربنات نسبت داد، زیرا یون های کلسیم و کربنات دارای بار عاملی بالایی هستند و دیگر عوامل نسبت به این عامل، تأثیر کمتری را دارا می باشند (۴). وجود چشمه های ریجاب، ماراب، سرابله، شاه حسین، میراحمد و ورمنج در این خوشه نیز، این امر را تأیید می نماید. در خوشه همگن دو، مجموع کل واریانس ۸۹ درصد است و چهار مؤلفه اصلی معنادار وجود دارد (۵). عامل اول، با توجیه ۳۳/۷۵ درصد از مجموع کل واریانس ها، پارامترهای Mg، Hco<sub>3</sub>، TDS و EC را به عنوان مهم ترین عامل ها و توجیه کننده کیفیت آب چشمه ها معرفی نموده عامل دوم با توجیه ۲۳/۳۴ درصد از مجموع کل واریانس، Na، Cl و Mg را به عنوان مهم ترین عامل ها و توجیه کننده کیفیت آب چشمه ها، معرفی نموده و به صورت قوی و مثبت با آن ها مرتبط است. عامل سوم با توجیه ۱۶/۷۵ درصد کل واریانس، به صورت قوی و مثبت با پارامتر So<sub>4</sub> مرتبط است. عامل چهارم نیز با ۱۵/۲۸ درصد کل واریانس، به صورت قوی و مثبت با پارامتر PH مرتبط است. با توجه به اینکه خوشه دو، شامل چشمه های قره بلاغ، چنارپیران و قلاع قیسوند می باشد و این چشمه ها در مناطق کم توسعه یافته کارستی قرار دارد. در خوشه همگن سه، مجموع کل واریانس ۷۹/۱۱ درصد است و سه مؤلفه اصلی معنادار وجود دارد (جدول ۶). عامل اول با توجیه ۲۷/۹۶ درصد از مجموع کل واریانس ها، پارامترهای TDS و EC را به عنوان مهم ترین عامل ها و توجیه کننده کیفیت آب چشمه ها معرفی نموده و به صورت قوی و مثبت با این پارامترها مرتبط است. عامل دوم با توجیه ۲۶/۴۸ درصد از مجموع کل واریانس، Hco<sub>3</sub> را به عنوان مهم ترین عامل و توجیه کننده کیفیت آب چشمه معرفی نموده و به صورت قوی و مثبت با آن مرتبط است. عامل سوم با توجیه ۲۴/۶۷ درصد کل واریانس، به صورت قوی و مثبت با پارامتر Mg و Cl مرتبط است. این عامل، به انحلال دولومیت مرتبط می باشد. با توجه به اینکه خوشه سه، شامل چشمه های

جدول ۶- درصد واریانس کل و تجمعی و ماتریس عاملی دوران یافته خوشه سه

Table6. Percentage of total and cumulative variance and periodic factor matrix of the third cluster

Total Variance Explained		
Rotation Sums of Squared Loading		
Total	of Variance%	%Cumulative
	27.965	
2.517		27.965
2.383	26.482	54.447
2.221	24.677	79.126

Rotated Component Matrix			
	component		
	1	2	3
Na	0.007	-0.897	0.151
Mg	0.020	-0.394	0.813
Ca	0.462	0.768	0.317
Hco <sub>3</sub>	0.236	0.826	0.444
Cl	-0.301	0.117	0.850
So <sub>4</sub>	0.421	-0.241	0.664
PH	-0.506	-0.016	0.233
TDS	0.928	0.200	0.104
Ec	0.928	0.199	0.103

Ca/Ca+So<sub>4</sub>: مقادیر این نسبت در تمامی چشمه‌های مورد بررسی، نشان می‌دهد که منبع تأمین کلسیم چشمه‌ها از سازندهای کربناته منطقه بوده که تحت تأثیر فرایندهای انحلال است، این امر نیز حاکی از ماندگاری بالای جریان پایه در آبخوان‌ها است.

Ca+Mg/So<sub>4</sub>: بر اساس این نسبت یونی، در گروه چهارم فرایند دولومیتی شدن رخ داده است. در صورت حاکم بودن این فرایند، باید کلسیت حالت اشباع، فوق اشباع و کانی‌های ژپس و دولومیت به حالت تحت اشباع باشند.

Cl/Sum anions: مقادیر این نسبت، نشان‌دهنده تأمین کلر از فرایند هوازدگی سنگ‌ها در سطح توده‌های مورد بررسی است.

Hco<sub>3</sub>/sum anions: مقادیر این نسبت نشان می‌دهد که در تمامی چشمه‌های دو توده مورد بررسی، منبع یون بی‌کربنات، هوازدگی کربناته‌ها می‌باشد.

جدول ۵- درصد واریانس کل و تجمعی و ماتریس عاملی دوران یافته خوشه دو

Table5. Percentage of total and cumulative variance and periodic factor matrix of the second cluster

Total Variance Explained		
Rotation Sums of Squared Loading		
Total	of Variance%	%Cumulative
	33.755	
3.038		33.755
2.101	23.248	57.103
1.508	16.757	73.86
1.375	15.281	89.141

Rotated Component Matrix				
	component			
	1	2	3	4
Na	0.179	0.788	0.433	0.032
Mg	0.959	0.743	0.062	-0.463
Ca	0.028	-0.007	-0.136	0.243
Hco <sub>3</sub>	0.913	0.043	-0.056	-0.296
Cl	0.126	0.835	-0.307	0.305
So <sub>4</sub>	0.036	0.009	0.946	0.058
PH	-0.165	0.038	0.055	0.865
TDS	0.794	0.337	0.390	-0.292
Ec	0.796	0.338	0.388	-0.289

### نسبت‌های یونی

جدول ۹ و ۱۰ نتایج مربوط به نسبت‌های یونی در دو توده بیستون و دالاهو را نشان می‌دهد.

Na/Na+Cl: در دو توده مورد بررسی، نسبت یونی Na/Na+Cl در چشمه‌های خضرزنده، میراحمد، سرابله، شاه حسین، ورمنج، قلاع قیسوند، ماراب، ریجاب، قره بلاغ و سیدصادق نشان دهنده منشأ دیگری افزون بر هالیت، برای یون سدیم است که تبادل یونی را می‌توان به‌عنوان منشأ مهمی برای یون سدیم در نظر گرفت. در چشمه‌های چنار پیران و ورده ناوه خطای آنالیز رخ داده مانع از تعیین منشأ می‌باشد.

Mg/Mg+Ca: مقادیر این نسبت در تمامی چشمه‌های توده‌های مورد بررسی، نشانگر انحلال دولومیت و کلسیت در آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه است. در نتیجه آب زیرزمینی نسبت به این کانی‌ها حالت اشباع دارد که این امر نیز نشانگر انحلال این کانی‌ها در آب زیرزمینی مناطق است.

جدول ۹- تعیین منشأ سنگ از نسبت‌های یونی در توده بیستون

Table9. Determining the source of rock in the Biston mass

Spring	Parameters	Value	Description
خضر زنده Khezre Zنده	Na/Na+Cl	0.4	خطای آنالیز - - Analysis error
		TDS=242	
	Mg/Mg+Ca	0.29	هو- ازدگی سنگ دولومیت-سنگ آهک - Weathering of dolomite-limestone
	Ca/Ca+So <sub>4</sub>	0.96	منبع کلسیم دیگری از ژپس-کربنات‌ها یا سیلیکات‌ها - - Another source of calcium from gypsum-carbonates or silicates
	Ca+Mg/So <sub>4</sub>	35.6	دولومیتی شدن - - Dolomitization
میراحمد Mira Ahmad	Cl/Sum anions	0.08	هوازدگی سنگ - - Weathering of stones
	Hco <sub>3</sub> /sum anions	0.89	هوازدگی سیلیکات یا کربنات - - Silicate or carbonate weathering
	Na/Na+Cl	0.39	منبع سدیم دیگری از هالیت-سدیم، تبادل یونی - - Another source of sodium is halite-sodium, ion exchange
	Mg/Mg+Ca	0.26	هوازدگی سنگ دولومیت-سنگ آهک - - Weathering of dolomite-limestone
	Ca/Ca+So <sub>4</sub>	0.91	منبع کلسیم دیگری از ژپس-کربنات‌ها یا سیلیکات‌ها - - Another source of calcium from gypsum-carbonates or silicates
	Ca+Mg/So <sub>4</sub>	14.44	دولومیتی شدن - - Dolomitization
سرابله Sarableh	Cl/Sum anions	0.06	هوازدگی سنگ - - Weathering of stones
	Hco <sub>3</sub> /sum anions	0.87	هوازدگی سیلیکات یا کربنات - - Silicate or carbonate weathering
	Na/Na+Cl	0.47	خطای آنالیز - - Analysis error
		TDS=181	
	Mg/Mg+Ca	0.3	هوازدگی سنگ دولومیت-سنگ آهک - - Weathering of dolomite-limestone
	Ca/Ca+So <sub>4</sub>	0.9	منبع کلسیم دیگری از ژپس-کربنات‌ها یا سیلیکات‌ها - - Another source of calcium from gypsum-carbonates or silicates
شاه حسین Shah Hosein	Ca+Mg/So <sub>4</sub>	13.2	دولومیتی شدن - - Dolomitization
	Cl/Sum anions	0.06	هوازدگی سنگ - - Weathering of stones
	Hco <sub>3</sub> /sum anions	0.86	هوازدگی سیلیکات یا کربنات - - Silicate or carbonate weathering
	Na/Na+Cl	0.53	منبع سدیم دیگری از هالیت-سدیم، تبادل یونی - - Another source of sodium is halite-sodium, ion exchange
	Mg/Mg+Ca	0.3	هوازدگی سنگ دولومیت-سنگ آهک - - Weathering of dolomite-limestone
	Ca/Ca+So <sub>4</sub>	0.93	منبع کلسیم دیگری از ژپس-کربنات‌ها یا سیلیکات‌ها - - Another source of calcium from gypsum-carbonates or silicates
	Ca+Mg/So <sub>4</sub>	17.7	دولومیتی شدن - - Dolomitization
	Cl/Sum anions	0.05	هوازدگی سنگ - - Weathering of stones
	Hco <sub>3</sub> /sum anions	0.9	هوازدگی سیلیکات یا کربنات - - Silicate or carbonate weathering



ورمنجه Vermonjeh	Na/Na+Cl	0.13	- منبع سدیم دیگری از هالیت-سدیم، تبادل یونی Another source of sodium is halite-sodium, ion exchange
	Mg/Mg+Ca	0.24	- هوازدگی سنگ دولومیت-سنگ آهک Weathering of dolomite-limestone
	Ca/Ca+So <sub>4</sub>	0.93	- منبع کلسیم دیگری از ژپس-کربنات‌ها یا سیلیکات‌ها Another source of calcium from gypsum-carbonates or silicates
	Ca+Mg/So <sub>4</sub>	16.8	- دولومیتی شدن Dolomitization
	Cl/Sum anions	0.11	- هوازدگی سنگ Weathering of stones
	Hco <sub>3</sub> /sum anions	0.83	- هوازدگی سیلیکات یا کربنات Silicate or carbonate weathering
قلاع قیسوند Ghela	Na/Na+Cl	0.33	- خطای آنالیز Analysis error
		TDS=176	
Ghisvand	Mg/Mg+Ca	0.21	- هوازدگی سنگ دولومیت-سنگ آهک Weathering of dolomite-limestone
	Ca/Ca+So <sub>4</sub>	0.93	- منبع کلسیم دیگری از ژپس-کربنات‌ها یا سیلیکات‌ها Another source of calcium from gypsum-carbonates or silicates
	Ca+Mg/So <sub>4</sub>	17.7	- دولومیتی شدن Dolomitization
	Cl/Sum anions	0.07	- هوازدگی سنگ Weathering of stones
	Hco <sub>3</sub> /sum anions	0.87	- هوازدگی سیلیکات یا کربنات Silicate or carbonate weathering

جدول ۱۰- تعیین منشأ سنگ از نسبت‌های یونی در توده دالاهو

Table 10. Determining the source of rock in the Dalahoo mass

Spring	Parameters	Value	Description
ورده ناوه Vardehnaveh	Na/Na+Cl	0.26	- خطای آنالیز Analysis error
		TDS=329	
	Mg/Mg+Ca	0.3	- هوازدگی سنگ دولومیت-سنگ آهک Weathering of dolomite-limestone
	Ca/Ca+So <sub>4</sub>	0.87	- منبع کلسیم دیگری از ژپس-کربنات‌ها یا سیلیکات‌ها Another source of calcium from gypsum-carbonates or silicates
	Ca+Mg/So <sub>4</sub>	9.4	- دولومیتی شدن Dolomitization
	Cl/Sum anions	0.11	- هوازدگی سنگ Weathering of stones
	Hco <sub>3</sub> /sum anions	0.79	- هوازدگی سیلیکات یا کربنات Silicate or carbonate weathering
ماراب Marab	Na/Na+Cl	0.62	- منبع سدیم دیگری از هالیت-سدیم، تبادل یونی Another source of sodium is halite-sodium, ion exchange
	Mg/Mg+Ca	0.11	- هوازدگی سنگ دولومیت-سنگ آهک Weathering of dolomite-limestone
	Ca/Ca+So <sub>4</sub>	0.86	- منبع کلسیم دیگری از ژپس-کربنات‌ها یا سیلیکات‌ها Another source of calcium from gypsum-carbonates or silicates
	Ca+Mg/So <sub>4</sub>	7.2	- دولومیتی شدن Dolomitization
	Cl/Sum anions	0.03	- هوازدگی سنگ Weathering of stones
	Hco <sub>3</sub> /sum anions	0.84	- هوازدگی سیلیکات یا کربنات Silicate or carbonate weathering
سرابله Sarableh	Na/Na+Cl	0.47	- خطای آنالیز Analysis error
		TDS=399	

	Mg/Mg+Ca	0.3	0.3	هوازدگی سنگ دولومیت-سنگ آهک Weathering of dolomite-limestone
	Ca/Ca+So <sub>4</sub>	0.9	0.9	منبع کلسیم دیگری از ژپس-کربنات ها یا سیلیکات ها Another source of calcium from gypsum-carbonates or silicates
	Ca+Mg/So <sub>4</sub>	12	12	دولومیتی شدن Dolomitization
	Cl/Sum anions	0.05	0.05	هوازدگی سنگ Weathering of stones
	Hco <sub>3</sub> /sum anions	0.86	0.86	هوازدگی سیلیکات یا کربنات Silicate or carbonate weathering
چنارپیران Chenarpiran	Na/Na+Cl	0.03	0.03	خطای آنالیز Analysis error
			TDS=260	
	Mg/Mg+Ca	0.37	0.37	هوازدگی سنگ دولومیت-سنگ آهک Weathering of dolomite-limestone
	Ca/Ca+So <sub>4</sub>	0.9	0.9	منبع کلسیم دیگری از ژپس-کربنات ها یا سیلیکات ها Another source of calcium from gypsum-carbonates or silicates
	Ca+Mg/So <sub>4</sub>	16.3	16.3	دولومیتی شدن Dolomitization
	Cl/Sum anions	0.08	0.08	هوازدگی سنگ Weathering of stones
	Hco <sub>3</sub> /sum anions	0.9	0.9	هوازدگی سیلیکات یا کربنات Silicate or carbonate weathering
ریجاب Rijab	Na/Na+Cl	0.4	0.4	خطای آنالیز Analysis error
			TDS=304	
	Mg/Mg+Ca	0.18	0.18	هوازدگی سنگ دولومیت-سنگ آهک Weathering of dolomite-limestone
	Ca/Ca+So <sub>4</sub>	0.92	0.92	منبع کلسیم دیگری از ژپس-کربنات ها یا سیلیکات ها Another source of calcium from gypsum-carbonates or silicates
	Ca+Mg/So <sub>4</sub>	14.9	14.9	دولومیتی شدن Dolomitization
	Cl/Sum anions	0.05	0.05	هوازدگی سنگ Weathering of stones
	Hco <sub>3</sub> /sum anions	0.9	0.9	هوازدگی سیلیکات یا کربنات Silicate or carbonate weathering
قره باغ Gharebagh	Na/Na+Cl	0.45	0.45	خطای آنالیز Analysis error
			TDS=395	
	Mg/Mg+Ca	0.36	0.36	هوازدگی سنگ دولومیت-سنگ آهک Weathering of dolomite-limestone
	Ca/Ca+So <sub>4</sub>	0.9	0.9	منبع کلسیم دیگری از ژپس-کربنات ها یا سیلیکات ها Another source of calcium from gypsum-carbonates or silicates
	Ca+Mg/So <sub>4</sub>	13.5	13.5	دولومیتی شدن Dolomitization
	Cl/Sum anions	0.05	0.05	هوازدگی سنگ Weathering of stones
	Hco <sub>3</sub> /sum anions	0.88	0.88	هوازدگی سیلیکات یا کربنات Silicate or carbonate weathering
سیدصادق Seid Sdegh	Na/Na+Cl	0.4	0.4	خطای آنالیز Analysis error
			TDS=332	
	Mg/Mg+Ca	0.6	0.6	هوازدگی سنگ دولومیت-سنگ آهک Weathering of dolomite-limestone
	Ca/Ca+So <sub>4</sub>	0.8	0.8	منبع کلسیم دیگری از ژپس-کربنات ها یا سیلیکات ها Another source of calcium from gypsum-carbonates or silicates
	Ca+Mg/So <sub>4</sub>	11.7	11.7	دولومیتی شدن Dolomitization
	Cl/Sum anions	0.08	0.08	هوازدگی سنگ Weathering of stones
	Hco <sub>3</sub> /sum anions	0.84	0.84	هوازدگی سیلیکات یا کربنات Silicate or carbonate weathering

بی‌کربنات، هوازگی کربناته‌ها و منشأ کلر فرایند هوازگی سنگ‌ها در سطح توده‌های موردبررسی می‌باشد. نتایج نشان دهنده منشأ دیگری افزون بر هالیت، برای یون سدیم است که تبادل یونی را می‌توان به‌عنوان منشأ مهمی برای یون سدیم در نظر گرفت. بررسی نتایج روش‌های هیدروشیمیایی، حاکی از فعال بودن فرایند انحلال در آبخوان‌های کارستی توده‌های مورد مطالعه در زمان غلبه جریان پایه است. این روش‌ها، کارایی مطلوبی در زمینه تعیین منشأ آب‌های کارستی، عوامل مؤثر در ویژگی‌های کیفی، میزان ماندگاری آب در آبخوان و ارزیابی میزان توسعه شبکه درونی سیستم‌های کارستی توده‌های موردبررسی دارند. تطابق قابل قبولی بین نتایج نسبت کلسیم به منیزیم و اندیس‌های اشباع در زمینه ارزیابی میزان توسعه شبکه کارست درونی وجود دارد. به‌طوری‌که در توده بیستون، چشمه‌های شاه حسین، سراپله، ورمنج و میراحمد؛ چشمه‌های ریجاب و ماراب در توده دالاهو، به‌عنوان چشمه‌های با توسعه کارست درونی مشخص شده و در نهایت نتایج آن‌ها با ژئومورفولوژی کارست سطحی نیز، تطابق دارد. تعداد و نحوه پراکندگی سطحی لندفرم‌های کارستی به همراه دیگر پارامترهای لیتولوژی، زمین ساخت، بارش، ارتفاع در توسعه یافتگی یا عدم توسعه چشمه‌های این آبخوان‌ها نقش اساسی را ایفا می‌نمایند. در مجموع سازند آهکی توده بیستون از نظر محل رخنمون، وسعت و یکپارچگی، ضخامت و ترکیب کانی شناسی خالص‌تر نسبت به آهک دالاهو دارای توان کارست‌زایی بسیار بیشتری است و نقش اساسی در شکل‌گیری و توسعه ژئومورفولوژی کارست توده بیستون بر عهده دارد. و این نتایج با نتایج بهرامی و همکاران [۴] منطبق است.

### منابع

1. Afrasiaban, A. 1999. Importance of Karstic Water Resources Research and Research in Iran. Proceedings of the 2nd World Water Conference in Karst formations. Kermanshah. Iran.
2. Afrasiabian, A. 2007. The importance of protection and management of Karst water as drinking water resources in Iran. Environmental geology, 52(4), 673-677.
3. Bahrami, Sh., Zanganeh, M., Rabar, H. 2013. Investigating the role of geomorphology in hydrological and chemical characteristics of the Kangar watersheds. Journal Management System. Volume 7, Page 71-84 (In Persian).
4. Bahrami, Sh., Mohammad Ali Zanganeh Asadi, Ali Jahanfar, (2016). Evaluation of Karst Development Based on Hydrodynamic and Hydro Geochemical Characteristics of Karstic Springs (Study area: Qalajeh Anticline and Parav Biston Block), Geography and Development Iranian Journal, 14(44), 107.

### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات هیدروشیمیایی در دو توده موردبررسی حاکی از منشأ کارستی و کربناته آبخوان‌های آن‌ها است. نتایج نمودار پاپیر حاکی از تیپ بی‌کربناته (بیکربنات کلسیک- منیزیک) و بالا بودن قلیایی‌های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم در آب چشمه‌ها است. این به‌عبارت‌دیگر، رخساره هیدروشیمیایی چشمه‌های توده‌های موردبررسی  $Ca-Mg-HCO_3$  است. در بین کاتیون‌ها، کلسیم و منیزیم و در بین آنیون‌ها، بیکربنات، یون‌های غالب هستند که این امر حاکی از کارستی بودن چشمه‌های توده‌های مورد مطالعه است. با توجه به اینکه تیپ غالب آب‌های منطقه بی‌کربنات است، در نتیجه این آب‌ها دارای سختی موقتی‌اند و در آن‌ها غلظت کاتیون‌های  $Ca^{+2}$  بیشتر و آنیون اسیدهای ضعیف بیش از آنیون اسیدهای قوی است [۹]. خوشه بندی چشمه‌های منطقه مورد مطالعه نشان داد که چشمه‌های که دارای توسعه کارست یکسانی هستند در یک خوشه قرار می‌گیرند. چشمه‌های خوشه یک دارای توسعه کارست بالا بوده و بیشتر منطبق بر سازندهای بیستون در توده بیستون و سازند آسماری- شهبازان هستند. چشمه‌های واقع در خوشه دو، نیز دارای حوضه آبرگیر مشترک با شرایط یکسان اقلیمی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی کارست می‌باشند. چشمه‌های خوشه سه به علت خلوص کم آهک کربناته، توسعه محدود لندفرم‌های کارستی در حوضه تغذیه‌کننده این چشمه‌ها، درزه و شکاف‌های کمتر قرارگیری در قسمت‌های کم ارتفاع دارای کمترین میزان توسعه کارست در منطقه، هستند. به منظور ارزیابی مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب در هر منطقه، از تحلیل‌های عاملی بر اساس روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. نتایج تحلیل عاملی در خوشه همگن یک توده‌های بیستون و دالاهو نشان دهنده ماندگاری و تماس بالای آب در سیستم کارستی این چشمه‌ها با سازندهای کلسیتی و انحلال کلسیت است به گونه‌ای که در درجه اول پارامترهای  $Ca$  و  $HCO_3$ ، بر روی کیفیت آب چشمه‌های کارستی تأثیر گذاشته‌اند. در خوشه همگن دو، تحلیل مؤلفه‌های اصلی تا حدی بیانگر ماندگاری و تماس بالای آب در سیستم کارستی این چشمه‌ها با سازند دولومیتی و انحلال دولومیت است به گونه‌ای که در درجه اول پارامترهای  $Mg$ ،  $HCO_3$ ،  $TDS$  به‌عنوان مهم‌ترین عامل‌ها و توجیه‌کننده کیفیت آب چشمه‌ها هستند. در خوشه همگن سه در درجه اول پارامترهای  $TDS$  را به‌عنوان مهم‌ترین عامل و توجیه‌کننده کیفیت آب چشمه معرفی نموده است به گونه‌ای که این چشمه‌ها در مناطق با توسعه محدود کارست سطحی واقع شده‌اند. نسبت‌هایی یونی، شاخص‌های مناسبی برای بررسی شیمی منابع آب زیرزمینی و تعیین منشأ املاح این آب‌ها می‌باشند. نتایج نسبت‌های یونی تمامی چشمه‌های موردبررسی، نشان می‌دهد که منبع تأمین کلسیم چشمه‌ها از سازندهای کربناته منطقه بوده که تحت تأثیر فرایندهای انحلال است، این امر نیز حاکی از ماندگاری بالای جریان پایه در آبخوان‌ها است. هم‌چنین در تمامی چشمه‌های دو توده موردبررسی، منبع یون

17. Karimi. 2010. Hydrogeology of Karst Concepts and Methods, Eram Publication, Shiraz, First Edition (In Persian).
18. Kuhta, M., Brkić, Ž, & Stroj, A. 2012. Hydrodynamic characteristics of Mt. Biokovo foothill springs in Croatia. *Geologia Croatica*, 65(1), 41-52.
19. Mayer, J., (1999). Spatial and temporal variation of groundwater chemistry in Pettyjohns Cave, northwest Georgia, USA. *Journal of cave and karst studies*, 61(3), 131-138.
20. Mehr-alizadeh, Y., Chinipardaz, R. 2005. Testing hypothesis and analyzing statistical data in social sciences and management. Kabtarin Publisher.
21. Moradi, P., Rouhi, H., Rangzan, K., Kalantari, N., Ghanbari, N. 2017. Assessing groundwater vulnerability in Ramhormoz aquifer using a GIS and DRASTIC Techniques. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 7(4), 62-78.
22. Oh, H. J., Kim, Y. S., Choi, J. K., Park, E., & Lee, S. 2011. GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *Journal of Hydrology*, 399(3), 158-172.
23. Ozdemir, A. 2011. Using a binary logistic regression method and GIS for evaluating and mapping the groundwater spring potential in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). *Journal of Hydrology*, 405(1), 123-136.
24. Pérez-López, R., Quispe, D., Castillo, J., & Nieto, M., 2011. Acid neutralization by dissolution of alkaline paper mill wastes and implications for treatment of sulfide-mine drainage. *American Mineralogist*, 96(5-6), 781-791.
25. Raeisi, E. 2008. Ground-water storage calculation in karst aquifers with alluvium or no-flow boundaries. *Journal of cave and Karst studies*, 70(1), 62-70 (In Persian).
26. Raeisi, E., 2002. Evolution of Karst: From Prekarst to Cessation, 339-344, Ljubljana-Postojna 2002. Evolution of Karst: From Prekarst to Cessation, 339 (In Persian).
27. Younger, P. L., 2009. Groundwater in the environment: an introduction. John Wiley & Sons.
5. Dastranj, A., Nohegar, A., Malekian, A., Jafari-Aghdam, M. 2017. Assessment and mapping vulnerability of Dalahoo Karstic aquifer. *Journal of RSand GIS for Natural Resources*. 8(27), 1-16 (In Persian).
6. Dastranj, A., Rafeie, J., Jafari-Aghdam, M., Nohegar, A., Malekian, A. 2018. Modeling of surface karst in Zagros folded (Case study: Dalahoo mass). *Journal of Geographic space*. 18(63), 181-206 (In Persian).
7. Faryabi, M., Kalantari, N., Negarestani, A. 2010. Evaluation of Factors Influencing Groundwater Chemical Quality Using Statistical and Hydrochemical Methods in Jiroft Plain. *Journal of Geoscience*. Volume 77, Page 115-120.
8. Ford, D., & Williams, P. D., 2007. Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley & Sons.
9. Ghadimi, M., Ahmadi, H., Moghimi, A. 2014. Hydrogeochemical study of karst springs of Astrakoh 10. in connection with geological formations of the region. *Journal of Range and Watershed Management*. 67(2), 263-278 (In Persian).
11. Guler, C. Thyne, G. D. McCray, J. E. and Turner, A. 22. K., 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydrogeology journal* 10, 455- 474.
12. Hamidi zadeh, F., Kalantari, N., Keshavarz, M. 2012. Hydrogeological and geo-structural assessment of the Dareh-e-Anari spring in the Shirin Bahar karstic area, Khuzestan province. Volume 24, Page 30-42 (In Persian).
13. Herman, J. S., Back, W., & Pomar, L., 1985. Geochemistry of groundwater in the mixing zone along the east coast of Mallorca, Spain. In *Karst Water Resources (Proceedings of the Ankara-Antalya Symposium (Vol. 161, pp. 467-479).*
14. Hounslow, A., 1995. Water quality data: analysis and interpretation. CRC press.
15. Jafari-Ghaieh, A., Kazemi, G., Hafezi, N., Mousavi, S. 2012. Application of GIS in the Study of Groundwater Pollution in Urban Areas (Case Study: Mashhad city). *Journal of Iran- Water Resources Research*. 8(2), 80-86 (In Persian).
16. Kalantari, N., Keshavarzi, M., Charchi, A. 2009. Assessment of Factors Influencing Occurrence of Izeh Plain Watershed Springs. *Journal of Geology*. 5(2), 135-147.



## Evaluation of Internal Karst System Development Using Hydrochemical Methods

A. Dastranj<sup>1</sup>, A.Nohegar<sup>2</sup>, A. Malekian<sup>3</sup> and M. Jaafari-agdam<sup>4</sup>

Received: 2-08-2020 Accepted: 28-11-2020

### Abstract

The aim of this study was to evaluate the extent of development and recognition of the hydrochemical behavior of karst aquifers of Bistoon and Dalahoo limestone masses using graphical methods, clustering, factor analysis and saturation indices. The results of hydrochemical methods indicate that the dissolution process is active in the karst aquifers of the studied masses. These methods have acceptable efficiency in determining the origin of karst water, effective factors in quality characteristics, water retention in the aquifer and evaluation of the development of the internal network of karst systems of the studied masses., Shah Hossein, Sarableh, Varmanjeh and Mirahmad springs in Bistoon mass and Rijab and Marab springs in Dalahoo mass were identified as springs with internal karst development. The Bistoon Mass Formation due to its size and integrity, thickness and pure mineralogical composition, has much more karst formation capacity than the Dalahu Mass and plays a key role in the formation and development of the Biston Massif karst geomorphology.

**Keywords:** *Dissolution, Karst aquifer, Bistoon, Dalahoo*

1. Corresponding Author and Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran, Email: Dastranj66@gmail.com

2. Environment Planning Department, Faculty of Environment, university of Tehran

3. Rangeland & Watershed Management Department, Faculty of Agricultural & Natural Resources, university of Tehran

4. Graduated from Geomorphology Department, University of Isfahan