Archive of SID

تحلیل کیفی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه با استفاده از مدل‌های آماری و هیدرو شیمیایی (مطالعه موردی: آبخوان کارستی توده‌های پرآو– بیستون و حوضه الوند)

سارا محمدی
دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی. کرمانشاه، ایران
امجد ملکی*
دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه رازی. کرمانشاه، ایران
حاجی کریمی
دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران
علی‌اکبر زینتی زاده
دانشیار گروه شیمی، دانشگاه رازی. کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۶/۱۲/۵ تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۳/۲۸

چکیده

آب زیرزمینی از منابع مهم بهره‌برداری از آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه نقش مهمی در تأمین منابع آب استان و بیلان آبخوان‌ها دارند. هدف از پژوهش حاضر بررسی کیفی منابع آب استان (در دو آبخوان بیستون و سرپل ذهاب) با استفاده از مدل‌های هیدرو شیمیایی و روش‌های آماری است. بدین منظور، پس از مطالعات میدانی، ۲۲ نمونه آب از چشمه‌های دائمی منطقه در فصل‌تر (اردیبهشت‌ماه ۹۶) برداشت و تجزیه گردید. وضعیت هیدروژئو شیمیایی چشمه‌ها با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بررسی شد. به‌منظور شناسایی فرآیندهای ژئوشیمیایی حاکم بر آبخوان‌ها، نمودارهای ترکیبی، نسبت‌های یونی و اندیس‌های اشباع کلسیت، دولومیت و ژیپس نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل، دال بر پایین‌تر بودن انحلال کانی‌ها در چشمه‌های آبخوان بیستون نسبت به محدودهٔ سرپل ذهاب به دلیل توسعهٔ بیشتر کارست است. فرآیندهایی نظیر انحلال کانی‌های تبخیری و زمان ماندگاری طولانی در آبخوان‌های سرپل ذهاب سبب بالا رفتن غلظت املاح در این چشمه‌ها نسبت به چشمه‌های محدودهٔ بیستون شده است. طبق یافته‌های پژوهش چشمه‌های محدودهٔ بیستون به دلیل توسعهٔ بیشتر کارست، در معرض تغییرات آنی ناشی از ورودی‌های بارش قرار دارند.

واژگان کلیدی: آب زیرزمینی، هیدرو شیمیایی، نسبت‌های یونی، چشمه‌های کارستی.

مقدمه

مناطق کارستی سرزمین‌هایی با شرایط هیدرولوژیکی خاص از مناظر مختلفی قابل‌بررسی و اهمیت‌اند. منابع آب شرب چشمه‌ها و سراب‌های کارستی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این سرزمین‌ها است که همواره جایگاه ویژه‌ای در مطالعات

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۱۳۲۴۱۱۳ E-mail: Amjad_Maleki@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

کارست داشته است. ۱۱ درصد مساحت ایران را سازندهای کربناته کارستی پوشانده است. این میزان در غرب کشور به ۳۳ درصد و در استان کرمانشاه به ۳۰ درصد می‌رسد (وحدتی و همکاران، ۱۳۸۶، ۸۸).

استان کرمانشاه به علت قرارگیری در زون زاگرس و رخنمون سازندهای کربناته و مساعد بودن شرایط کارست زایی دارای ژئومورفولوژی کارست توسعه یافته می‌باشد و این امر زمینه‌ساز شکل‌گیری سیستم‌های کارستی شده است. فروانی سراب‌ها و چشمه‌های کارستی نمود این امر در استان است. بر اساس مطالعات ملکی و شوهانی (۱۳۸۶، ۱) حدود ۵۵۰ چشمه و سراب در استان وجود دارد که تأمین‌کنندهٔ منابع آب جوامع انسانی استان می‌باشند. لذا حفاظت و مدیریت آبخوان‌ها لازم و ضروری است.

ترکیب شیمیایی یون‌های محلول در آب متأثر از واکنش‌های مختلفی است که در تقابل بین آب و مواد آبخوان اتفاق می‌افتد. بررسی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با به‌کارگیری هم‌زمان روش‌های آماری و تجزیه‌وتحلیل‌های هیدرو شیمیایی قابل انجام است. به‌کارگیری یک روش طبقه‌بندی مناسب برای تقسیم‌بندی نمونه‌های آب از نظر شیمیائی به گروه‌های مختلف مشابه، ابزاری کارآمد جهت شناخت عوامل مؤثر بر کمیت و کیفیت آب و مدیریت محیط‌های هیدرولوژیکی است. امروزه روش‌های آماری متنوعی برای رده‌بندی نمودارهای هیدرو شیمیایی وجود دارد که شامل روش‌های گرافیکی (نمودار پایپر، استیف، انگشتی و نمودارهای ترکیبی) و روش‌های آماری (آمار توصیفی، تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی و تجزیه‌وتحلیل خوشه‌ای) است. تجزیه‌وتحلیل خوشه‌ای به روش‌های متنوعی صورت می‌گیرد. کارآمدترین روش گروه‌بندی برای درک و تفسیر شیمی نمونه‌های آب، روش خوشه‌بندی آماری است. تحلیل خوشه‌ای شامل تعدادی روش و الگوریتم مختلف بوده که به‌منظور گروه‌بندی داده‌های آماری مشابه به کار می‌رود (جوانمرد و همکاران، ۱۳۹۵).

مطالعات متعددی در این زمینه و جهت شناخت بیشتر و بررسی کیفی آب نواحی کارستی ارائه شده است. دولتی و همکاران برای بررسی فرآیندهای کنترل کننده و تعیین منشأ کاتیون‌ها و آنیون‌های آب زیرزمینی آبخوان زاهدان، از روش تحلیل عاملی و دیگر روش‌های آماری استفاده کردند. پژوهشگرانی همچون آپلو و پوستما[4] (۱۹۹۳)، اندری (۲۰۰۵)[1]، گاستمن[3] (۲۰۱۰)، میراد[2] (۲۰۱۱)، توانسته‌اند با استفاده از مطالعات هیدروژئوشیمیایی و بر مبنای توزیع آنیون کاتیون‌ها به ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی بپردازند.

از مطالب گفته شده و ارتباط هیدرولیکی آبخوان‌ها استنباط می‌شود که آبخوان‌های کارستی پیچیده و دارای ویژگی‌های منحصر به فردی‌اند که آن‌ها را از سایر آبخوان‌ها متمایز می‌کند. این آبخوان‌ها بی‌نهایت هتروژن و انیزوتروپ بوده که این امر روی ویژگی‌های کیفی آب چشمه‌های خروجی از آن‌ها تأثیر گذاشته است (دلای و همکاران[1]،

4. Appelo and Postma
1. Andre
3. Gastmans
2. Murad
1. Daly

www.SID.ir

Archive of SID

۲۰۰۲). ویژگی‌های خاص این آبخوان‌ها باعث شده که پژوهشگران مختلفی همچون ویاس[۲] و همکاران (۲۰۰۶)، گولدشیر[۳] و همکاران (۲۰۰۵) و دوعرفلیجر[۴] و همکاران (۱۹۹۹) به این موضوع بپردازند. از دیگر بررسی‌های انجام شده در این زمینه، می‌توان به مطالعاتیان چائو لانگ و همکاران (۲۰۰۶) اشاره کرد که به‌منظور بررسی کیفی آب در سیستم‌های هیدرولوژیکی کارست، به بررسی اثرات متقابل سنگ و آب در کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی با مطالعات شیمی آب پرداختند.

سلالتین سیمسک[۵] و همکاران (۲۰۰۸)، آل دیسرت بپتیستا[۶] (۲۰۰۳) و آل وتی[۷] و همکاران (۱۹۹۶) و آلبینت و مارگت[۸] (۱۹۷۰) به‌منظور بررسی منشأ و کیفیت آب چشمه‌های کارستی، ویژگی فیزیک و شیمیایی آب‌های زیرزمینی در محل را مورد بررسی قرار دادند.

همچنین ای‌ام مارفیا[۹] و همکاران (۲۰۰۴)، با استفاده از مطالعات هیدرو شیمیایی به بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات کیفی آب زیرزمینی در آبخوان کارستی بلیز در آمریکای مرکزی پرداختند، نتایج حاکی از بالا بودن سولفات در نمونه‌ها به دلیل سازندهای زمین‌شناسی منطقه و نفوذ آب‌های سطحی سولفاته به داخل آب‌های زیرزمینی بود.

پنوو[۱۰] و همکاران (۲۰۰۹)، فرآیندهای ژئوشیمیایی مؤثر بر کیفیت آب در حوضهٔ گوپین در جنوب غربی چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که مکانیسم اصلی که روی ویژگی‌های هیدرو شیمیایی آبخوان کارستی در منطقهٔ موردمطالعه تأثیر می‌گذارد به‌طور عمده ناشی از تعامل آب و سنگ، حرکت آب در امتداد گسل‌ها و ترکیب آب‌های سطحی و زیرزمینی است.

پیولی[۱۱] و همکاران (۲۰۱۲)، عوامل مؤثر بر هیدروژئوشیمی آبخوان پنگ یانگ چین را موردمطالعه قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که هوازدگی مواد معدنی (کربنات و سنگ‌های معدنی سیلیکاته) و تبادل یونی از مهم‌ترین فاکتورهای کنترل کنندهٔ ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی هستند.

با عنایت به‌قرار گرفتن کشورمان در یک کمربند خشک جهانی و ارزش بسیار بالای آب به‌ویژه در دهه اخیر که منابع آب رو به نقصان و کاستی گذاشته است و با توجه به اهمیت سرزمین‌های کارستی غرب ایران به‌ویژه استان کرمانشاه و نقش آن‌ها در تأمین آب جوامع انسانی، شناخت رفتار هیدروژئوشیمیایی کارست توأم با بررسی‌های زمین‌شناسی- ژئومورفولوژی و هیدروژئومورفولوژی- هیدروژئولوژی می‌تواند دیدی واقع‌گرایانه برای بررسی آبخوان‌های کارستی ارائه دهد. به‌گونه‌ای که با شناخت دقیق ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و کیفی چشمه‌های کارستی، می‌توان مدیریت

2. Vias
3. Goldscheider
4. Doerfliger
5. Celalettin Simsek
6. L. Dussart-Baptista
7. Vaute. L
8. Albinet and Margat
9. Marfiaa
10. Pan Wu
11. Peiyue Li

www.SID.ir

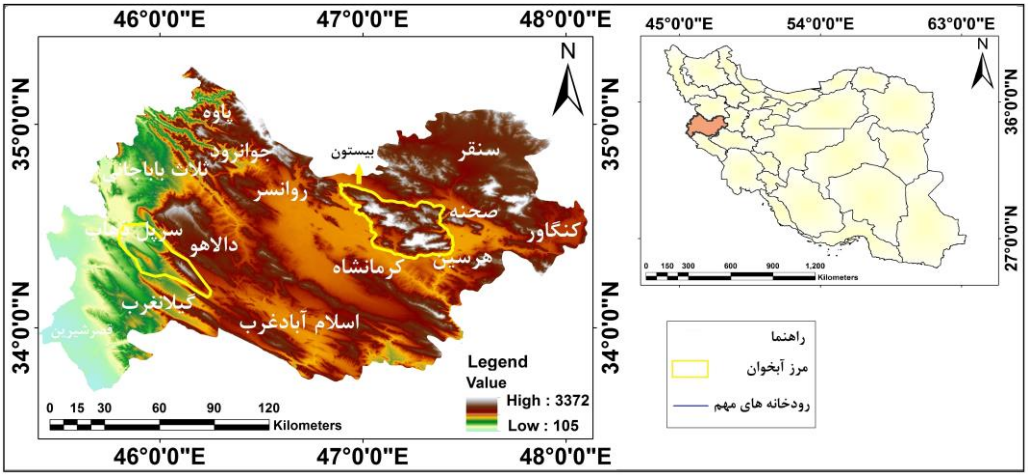
Archive of SID

بهینه‌تری را در خصوص میزان و زمان استفاده از آن‌ها اعمال نمود که باید مورد توجه مسئولین مربوطه قرار گیرد. لذا در پژوهش حاضر به بررسی ویژگی‌های کیفی آبخوان‌ها با استفاده از مطالعات هیدرو شیمیایی و به‌منظور مدیریت بهینهٔ آن‌ها پرداخته می‌شود.

موقعیت محدودهٔ موردمطالعه

محدودهٔ موردمطالعه شامل آبخوان‌های سرپل ذهاب در حوضهٔ آبریز رودخانهٔ الوند در زاگرس چین‌خورده و تودهٔ پرآو بیستون در واحد زاگرس شکسته (مرتفع) در استان کرمانشاه قرارگرفته است. محدودهٔ سرپل ذهاب در غرب استان کرمانشاه بین طول‌های شرقی '۴۶ °۴۵ تا '۹ °۴۶ و عرض‌های شمالی '۱۷ °۳۴ تا '۳۶ °۳۴ با جهت یافتگی شمال غربی جنوب شرقی واقع شده است. اقلیم منطقه مدیترانه‌ای با یک‌فصل مرطوب سرد و یک‌فصل گرم و خشک مشخص است. میانگین بارش ۴۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای منطقه ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. در نواحی کوهستانی دمای سالانه پایین و در مناطق غربی و کم ارتفاع دما بالاتر است.

ناهمواری‌های بیستون یک تودهٔ سنگ‌آهکی و بخشی از زاگرس رو رانده در شمال شهر کرمانشاه است. این تودهٔ کوهستانی با مساحت ۱۰۳۳/۴ کیلومترمربع بین عرض جغرافیایی '۱۷ °۳۴ تا '۴۰ °۳۴ و طول جغرافیایی '۵۰ °۳۶ تا '۳۰ °۴۷ واقع‌شده است. حداکثر ارتفاع کوه پرآو ۳۳۸۵ متر و حداقل آن، دشت‌های اطراف این توده کوهستانی با متوسط ارتفاع ۱۴۰۰ متر می‌باشد (شکل ۱). اقلیم بیستون نیز مدیترانه‌ای با میانگین بارش ۶۹۳ میلی‌متر و دمای ۹٫۸۴ درجه است. منطقهٔ مذکور از لحاظ هیدرولوژیکی جز حوضهٔ آبخیز رودخانه قره‌سو می‌باشد. چشمه‌های متعدد بزرگ و کوچک در ارتفاع‌های پایین در اطراف تودهٔ کوهستانی بیستون وجود دارد که توسط این توده تغذیه می‌شوند (ملکی، ۱۳۸۶).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت آبخوان‌های بیستون و آبخوان‌های سرپل ذهاب در حوضهٔ الوند در غرب ایران

www.SID.ir

Archive of SID

زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی

آبخوان‌های محدودهٔ سرپل ذهاب در زون زاگرس چین‌خورده واقع شده و با تبعیت از سیستم ژورائی، ارتفاع‌های دنه‌خشک و پاتاق منطبق بر تاقدیس‌ها و دشت‌های بشیوه و قلعه شاهین منطبق بر ناودیس‌ها است. سازندهای زمین‌شناسی در این حوضه، از جدید به قدیم عبارت‌اند از آبرفت‌های کواترنری، کنگلومرای بختیاری، سازند آغاجاری (مارن و ماسه سن)، سازند گچساران (گچ و مارن)، سازند آسماری (آهک دولومیتی و دولومیت)، سازند آسماری شهبازان (آهک و دولومیت)، سازند پابده و گورپی (مارن و شیل با بین لایه‌های سنگ‌آهک مارنی) و سازند ایلام (آهک). حدود ۳۸ درصد از مساحت حوضهٔ الوند از سازندهای کربناتهٔ آسماری، آسماری شهبازان و ایلام تشکیل‌شده است (یمانی، ۱۳۹۲، ۳۳۶).

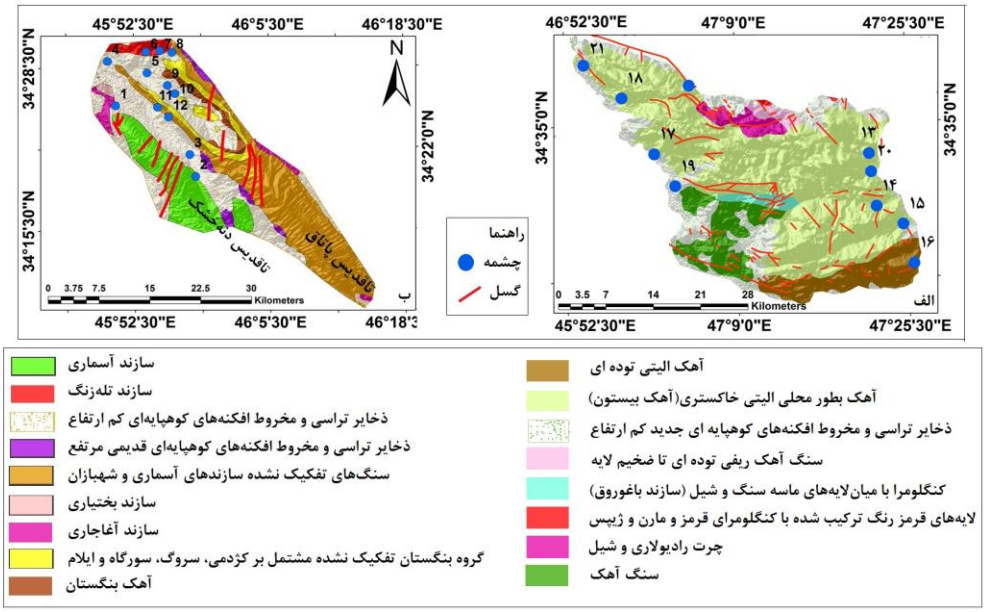
تاقدیس پاتاق در اثر فرسایش شدید به کمب تبدیل شده و هسته آن (سازند ایلام) به‌صورت تپه‌هایی در مرکز دشت بشیوه رخنمون یافته است. در این ناحیه سازندهای پابده گورپی، امیران و تله‌زنگ در هسته تاقدیس پاتاق دور تا دور دشت بشیوه برون‌زد دارند. سازند پابده گورپی نفوذناپذیر بوده و ارتباط سازندهای آهکی ایلام و آسماری را قطع نموده است. سازند آسماری در پی‌سنگ دشت قلعه شاهین برون‌زد دارد. سازند آهکی آسماری غالباً با سازند دولومیتی شهبازان همراه است. این سازند به‌صورت واحدهای مقاوم و صخره ساز پوشش ساختمان تاقدیس‌ها را تشکیل داده و ارتفاعات منطقه را شامل می‌شود. نیروهای فشارشی در منطقه سبب ایجاد درز و شکستگی‌ها و توسعهٔ پدیدهٔ کارست شده است. همین امر سبب جذب نزولات جوی و تشکیل آبخوان‌های کارستی در منطقه شده است (محمد زاده، ۱۳۹۵). در یال جنوب غربی تاقدیس پاتاق و انتهای شمال غربی تاقدیس دانه خشک، سازند سست و فرسایش‌پذیری گچساران رخنمون یافته است. این سازند در زیر پوشش آبرفتی دشت‌ها نیز گسترش یافته و همراه با مارن‌ها و ماسه‌سنگ‌های سازند آغاجاری، سنگ کف آبخوان‌های آبرفتی منطقه را تشکیل می‌دهد و در تماس مستقیم با سازند آسماری می‌باشد (شکل ۲).

آبخوان بیستون در زون زاگرس رو رانده یا زاگرس مرتفع (شکسته) واقع گردیده است. تودهٔ سنگی بیستون دارای ویژگی‌های زمین‌شناسی ساده‌ای بوده و از تنوع بسیار کم در این زمینه برخوردار است. این واحد سنگی عمدتاً از آهک تشکیل‌شده است و به‌جز در بخش کوچکی در ضلع شمالی که از سنگ‌های بازالت و آندزیت تشکیل‌شده و مناطق پست که به‌وسیلهٔ رسوبات آبرفتی پوشیده شده، بقیه از آهک‌هایی که متعلق به دوران دوم زمین‌شناسی هستند تشکیل‌شده است. آهک‌های بیستون در انتهای کرتاسه بر روی زاگرس چین‌خورده (برجا) رانده شده‌اند. این سری آهکی همه دوران دوم از تریاس بالایی تا کرتاسهٔ پایینی را شامل می‌شود. ساختمان پیچیده و کاملاً شکسته خورده بیستون بیانگر فعالیت شدید زمین‌ساخت منطقه در گذشته و حال است (ملکی، ۱۳۸۶). این امر در ایجاد و تکامل اشکال کارست و تشکیل چشمه‌های کارستی پرآب حائز اهمیت است. در شکل ۲، موقعیت مهم‌ترین چشمه‌های کارستی آبخوان بیستون و آبخوان

www.SID.ir

Archive of SID

حوضهٔ سرپل ذهاب بر روی نقشهٔ زمین‌شناسی نشان شده است، اطلاعات تکمیلی مربوط به اسم چشمه‌ها در جدول شماره یک آورده شده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: نقشهٔ زمین‌شناسی و موقعیت چشمه‌ها در الف، آبخوان بیستون و ب، آبخوان حوضهٔ سرپل ذهاب (موقعیت و شماره چشمه‌ها روی نقشه و نام چشمه‌ها در جدول شماره ۱ آورده شده است)

داده‌ها و روش‌ها

هدف پژوهش حاضر بررسی کیفی منابع آب آبخوان‌های کارستی سرپل ذهاب در حوضهٔ الوند در زون زاگرس چین‌خورده و آبخوان بیستون در زون زاگرس مرتفع با استفاده از روش‌های آماری است. جهت نیل به این منظور، پس از بازدیدهای صحرایی از محدوده‌های موردمطالعه، اشکال و لند فرم‌های کارستی شناسایی و موقعیت هر یک از آن‌ها با استفاده از GPS مشخص گردید. با توجه به تفاوت‌های دو محدوده از منظر توسعه‌یافتگی کارست، زمین‌شناسی، تفاوت در سنگ‌شناسی کربناته، شرایط ژئومورفولوژی و شرایط اقلیمی، پس از محاسبه میانگین بارش و دمای بلندمدت محدوده‌های موردمطالعه، جهت بررسی وضعیت کیفی منابع آب چشمه‌های کارستی بیستون و حوضهٔ، سرپل ذهاب از چشمه‌های مهم هر دو منطقه نمونه‌برداری شد، مجموع نمونه‌ها شامل ۱۲ چشمه در آبخوان‌های حوضهٔ سرپل ذهاب و ۱۰ چشمه در آبخوان بیستون می‌باشد که موقعیت آن‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

پارامترهای محیطی از قبیل هدایت الکتریکی (EC)، pH و دمای آب علاوه بر اندازه‌گیری در محل نمونه‌برداری در آزمایشگاه نیز در ۲۵ درجهٔ سیلیسوس اندازه‌گیری شد. سپس یون‌های این نمونه‌ها شامل کاتیون‌های (Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^{+} و K^{+}) و آنیون‌های (HCO^{-3}، Cl^{-}، SO_4^{2-}) طبق روش استاندارد در آزمایشگاه شیمی دانشگاه رازی مورد آنالیز قرار گرفت. برای کلیهٔ نمونه‌ها موازنه یونی انجام‌گرفته و در نمونه‌هایی که خطای تعادل یونی بیش از ۵ درصد بود تکرار شد.

www.SID.ir

Archive of SID

پس از انجام آزمایش‌ها و محاسبهٔ داده‌های مورد نیاز با توجه به هدف کار از نمودار پایپر جهت تعیین رخساره‌های هیدرو شیمیایی آب به‌منظور اثبات کارستی بودن منشأ چشمه‌ها، نرم‌افزار SPSS 19 (محاسبهٔ تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای) و نرم‌افزار PhreeQC (جهت محاسبهٔ نمایهٔ اشباع کلسیت و دولومیت) استفاده گردید. همچنین به‌منظور شناسایی فرآیندهای ژئوشیمیایی حاکم بر کیفیت آب چشمه‌ها از نمودارهای ترکیبی و نسبت‌های یونی استفاده شد.

تعیین تیپ و رخسارهٔ چشمه‌ها جهت اثبات کارستی بودن منشأ آن‌ها

بهترین روش جهت تحلیل نتایج آنالیزهای هیدرو شیمیایی و تشخیص منشأ چشمه‌ها، استفاده از دیاگرام‌ها و نمودارهایی است که قابلیت نمایش و مقایسهٔ هم‌زمان تعداد زیادی نمونه را دارا می‌باشند. فرآیند انحلال و تبادلات یونی باعث می‌شود ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی که از تشکیلات مختلف زیرزمینی عبور می‌کند دچار دگرگونی شود. به‌طورکلی با دور شدن از مناطق تغذیه، تیپ آب زیرزمینی از بی‌کربناته و کربناته به سولفاته و در نهایت کلروره تغییر می‌یابد (محمدی،۱۳۹۵). رخساره‌های هیدرو شیمیایی آب زیرزمینی تعیین‌کننده توده‌های آبی با ماهیت ژئوشیمی متفاوت می‌باشند. اساس طبقه‌بندی رخساره‌ها، مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های عمده (برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر) آب زیرزمینی می‌باشد. به‌منظور نمایش اختلاف در ترکیب شیمیایی توده‌های آبی با ماهیت ژئوشیمیایی متفاوت و تشخیص منشأ منابع آب زیرزمینی، از رخساره‌های هیدرو شیمیایی استفاده می‌گردد. برای تعیین رخساره‌های آب زیرزمینی، روش‌های متعددی وجود دارد که در این پژوهش از نمودار پایپر استفاده‌شده است. با استفاده از این نمودار می‌توان تعداد زیادی نمونه را به‌صورت هم‌زمان مقایسه کرد. نمودار پایپر برای تعیین تفاوت‌ها و شباهت‌ها، اختلاط بین منابع آب و بررسی تغییرات زمانی و مکانی تیپ منابع آبی به کار می‌رود.

تحلیل خوشه‌ای

پس از تشخیص منشأ منابع آب زیرزمینی، به‌منظور بررسی ویژگی‌های کیفی آبخوان‌های کارستی بیستون و سرپل ذهاب، ابتدا بر اساس یون‌های اصلی و مجموع املاح و با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای، چشمه‌های موردمطالعه گروه‌بندی شدند. روش تحلیل خوشه‌ای شامل چندین الگوریتم طبقه‌بندی شده متفاوت می‌باشد. هدف این الگوریتم‌ها اتصال متغیرها در داخل خوشه‌های بزرگ‌تر است. یک نمونه از این خوشه‌ها، مجموعه سه‌تایی است که نتایج را در داخل سه خوشه به هم متصل می‌کند. رابطه بین پارامترها در داخل شاخه‌های سه‌تایی ظاهر می‌شود. شباهت بین پارامترها بافاصله بین آن‌ها بر روی نمودار نسبت عکس دارد. با توجه به اهمیت استفاده از روش‌های آماری چند متغیره و قابلیت‌های بالای آن‌ها نسبت به روش‌های گرافیکی در حل پیچیدگی‌های مربوط به فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی، نیاز به استفاده از این روش‌ها بیش از گذشته احساس می‌شود. از ویژگی‌های مهم این روش ارائه نمودار تصویری درختی است. در روش HCA انتخاب تعداد خوشه‌ها به‌صورت خودکار صورت می‌گیرد. در صورتی که در روش KMC و FKM

www.SID.ir

Archive of SID

تعداد خوشه‌ها باید از قبل مشخص باشد. از مزایای دیگر روش HCA این است که در این روش یک نمونه به‌تنهایی می‌تواند تشکیل یک خوشه را بدهد (جوانمرد و همکاران، ۱۳۹۵، ونسنت و همکاران، ۲۰۰۸).

تحلیل عاملی

پس از گروه‌بندی نمونه‌ها، داده‌های هیدرو شیمیایی منابع آب توسط نرم‌افزار Spss پردازش و تحلیل آماری شد و فرآیند تحلیل عاملی برای داده‌های فوق با سطح معنای $P<0.01$ محاسبه گردید. نخست با استفاده از آمارهٔ KMO مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی بررسی شد.

تشخیص مجموعه‌ای از شرایط هیدروژئولوژیکی و فرآیندهای هیدرو شیمیایی که کیفیت آب چشمه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند مشکل است. به همین جهت، پژوهشگران هیدروژئوشیمی از تحلیل عاملی برای این منظور استفاده می‌کنند. تحلیل عاملی دارای سه مرحله است. تهیه ماتریس همبستگی از تمام متغیرها، استخراج عامل‌ها و تفسیر نتایج. تحلیل عاملی روش آماری چند متغیره‌ای است که هدف آن ساده کردن مجموعه‌های پیچیده و مختلفی است که بین متغیرهای مشاهده‌ای وجود دارد. تحلیل عاملی ارتباط بین واریانس-کوواریانس یک تعداد از متغیرهای کمی مشاهده‌ای است که برحسب چند کمیت اصلی تصادفی اما غیر مشاهده‌ای که عامل نامیده می‌شود، بیان می‌شود. تعدادی از متغیرها که بیشترین همبستگی را با یکدیگر دارند، عامل اصلی نامیده می‌شوند. در بررسی‌های هیدروژئوشیمی، نتایج تجزیه شیمیایی آب و داده‌های اندازه‌گیری شده صحرایی که تحت فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی موجود در سفره آبدار تغییر می‌کنند، به‌عنوان متغیرهای مشاهده‌ای در نظر گرفته شده‌اند. اولین گام در این روش تهیه یک ماتریس همبستگی از تمام متغیرهای بررسی شده است.

ساس ماتریس همبستگی، ضریب همبستگی پیرسون می‌باشد (رابطهٔ ۲).

رابطه‌ی ۲

$$r = \frac{\sum(x-\overline{x})(y-\overline{y})}{(\mathrm{n}-1)s_1\ s_2}$$

X و y مقادیر مربوط به هریک از متغیرها، $\overline{x}$ و $\overline{y}$ میانگین ریاضی این متغیرها، n تعداد داده‌ها، S1 و S2 انحراف از معیار هریک از متغیرها است. از میان عوامل حاصل اولین عامل بیشترین واریانس را شامل می‌شود و به ترتیب عوامل بعدی مقادیر کمتری از واریانس را نشان می‌دهد. ضرایب بالای (۱ تا ۱-) پارامترهای به‌دست‌آمده (مثبت یا منفی) که تشکیل‌دهنده هریک از عوامل هستند نشان‌دهنده تأثیر بالای آن متغیر (مثبت یا منفی) است. همچنین می‌توان از چرخش عامل‌ها برای تفسیر ساده‌تر عوامل مؤثر ماتریس عامل‌های حاصل استفاده کرد که به این وسیله ماتریس عامل‌ها به یک ساختار ساده ارتوگنال تبدیل می‌شوند (قدیمی و همکاران، ۱۳۹۳).

www.SID.ir

Archive of SID

کیفیت آب چشمه‌ها و شاخص اشباع

محاسبات تعادل کانی‌ها در آب زیرزمینی، در پیش‌بینی حضور کانی‌های واکنشی و برآورد میزان واکنش این کانی‌ها دارای اهمیت است. چنانچه شاخص اشباع (SI) برای یک کانی بیشتر از صفر باشد، آب از این کانی فوق اشباع بوده و ممکن است در آن رسوب کند. اگر شاخص اشباع کمتر از صفر باشد، آب نسبت به این کانی تحت اشباع بوده و می‌تواند بیشتر از آن نیز انحلال یابد و چنانچه شاخص اشباع صفر باشد به این معنی است که محلول نسبت به کانی اشباع و واکنش در حالت تعادل می‌باشد. ازاین‌رو محاسبهٔ شاخص اشباع کانی‌ها لازم و ضروری است. دو روش برای محاسبهٔ شاخص اشباع وجود دارد روش اول محاسبهٔ شاخص اشباع به کمک رابطهٔ ۳ است.

$$SI = Log(IAP/KS) \qquad \text{رابطهٔ ۳}$$

در این رابطه (IAP) محصول فعالیت یونی و (KS) ثابت انحلال‌پذیری کانی مورد نظر در حالت تعادل است. مقدار KS از منابع مربوطه اخذ و IAP با توجه به فعالیت‌های شیمیایی کانی تجزیه‌شده محاسبه می‌شود و از نسبت این دو، اشباعاات کانی در آب زیرزمینی از رابطه ۳ به دست می‌آید (فورد و ویلیامز، ۲۰۰۷). روش دوم استفاده از نرم‌افزار PhreeQC برای محاسبه شاخص اشباع است که در پژوهش حاضر از این روش استفاده‌شده است. میزان شاخص اشباع کانی‌ها بسته به نوع مواد محلول، اسیدیته، دما و کل مواد جامد محلول متغیر است.

نسبت‌های یونی

نسبت‌های یونی، معرف‌های مناسبی برای بررسی شیمی منابع آب زیرزمینی هستند و استفاده از آن‌ها روش مناسبی جهت تشخیص نوع فرآیندهای ژئوشیمیایی حاکم و تعیین منشأ املاح و اختلاط آب‌هاست. در پیدایش ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، این نسبت‌ها متأثر از ترکیب شیمیایی کانی‌های محلول در آب بوده و مقدار کانی انحلال یافته در درجه بعدی اهمیت دارد. طبق مطالعات محمد زاده (۱۳۹۵) در این نمودارها یک جفت از فاکتورهای اندازه‌گیری شده در یک دستگاه مختصات پیاده می‌شوند سپس الگوی به‌دست‌آمده تفسیر می‌شود. در الگوی به‌دست‌آمده اگر تمام نمونه‌ها در یک خوشه قرار بگیرند نشان‌دهندهٔ منشأ واحد آب زیرزمینی است و الگوی خطی دال بر چند منشأ داشتن آب‌های کارستی یا اختلاط آن‌ها با سایر نمونه‌های آب است (ژنکون[1] و همکاران، ۲۰۰۶).

نمودارهای ترکیبی

یکی از روش‌های تفسیر فرآیندهای مؤثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی، تعیین رابطه بین پارامترهای حاصل از تجزیه نمونه‌های آب از طریق رسم آن‌ها بر روی نمودارهای دومتغیره‌ای است که به نمودارهای ترکیبی معروف‌اند. با توجه به نحوه آرایش نمونه‌ها در این نمودارها می‌توان فرآیندهای مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی را تعیین کرد. کاربرد تکنیک‌های

1. Xiangquan

www.SID.ir

Archive of SID

آماری چند متغیره به ما این امکان را می‌دهد تا منابعی را که ممکن است سیستم‌های آبی را تحت تأثیر قرار دهد شناسایی کرده و ابزاری مناسب برای مدیریت صحیح منابع آب پیشنهاد کنیم (باردویج[۲] و همکاران، ۲۰۰۹).

کل مواد جامد محلول در آب (TDS)

کل مواد جامد محلول عبارت است از مجموع مقادیر تمام کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی برحسب میلی‌گرم بر لیتر (تود[۳]، ۱۹۸۰).

یافته‌ها

نتایج حاکی از روش‌های هیدروژئوشیمیایی و شرایط فیزیکی و شیمیایی آب‌های خروجی از منابع کارستی کمک فراوانی به تشریح ویژگی‌های کیفی چشمه‌های کارستی می‌کند. زیرا بر اساس مطالعات انجام‌شده برهم کنش آب– سنگ، جهت جریان یا ارتباط هیدرولیکی آبخوان‌ها باهم و نیز احتمال اثرات غیر روتین در آب‌های زیرزمینی و کارست را می‌توان از تحلیل‌های هیدروژئوشیمی استنباط کرد. وجود زون‌های زمین‌شناسی کاملاً متفاوت در منطقه باعث ایجاد اختلاف در سیماهای کارستی و شرایط تغذیه و ترکیبات منابع آب زیرزمینی شده است. به همین منظور همان‌طور که گفته شد برای ارزیابی هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی ۲۲ نمونه آب از چشمه‌های دائمی در دو آبخوان بیستون و سرپل ذهاب برداشت و نتایج حاصله به روش‌های هیدروژئوشیمیایی بررسی شد. به دلیل قرار گرفتن چشمه‌ها در آبخوان‌ها و سازندهای مختلف و شرایط اقلیمی متفاوت، اقلیم حاکم بر دو منطقه نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی شرایط اقلیمی نشان داد که میانگین سالیانهٔ بارش در ارتفاعات بیستون ۶۹۳٫۰۸ میلی‌متر و در آبخوان‌های سرپل ذهاب ۴۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای بلندمدت در بیستون ۹٫۸۴ درجهٔ سانتی‌گراد و در آبخوان‌های سرپل ذهاب ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد است (ملکی، ۱۳۸۶، ۸۰، وحدتی، ۱۳۸۶، ۸۹). پس از بررسی شرایط اقلیمی، جنس و سازند تغذیه‌کنندهٔ چشمه‌های دو محدوده و شرایط ساختاری آن‌ها نیز مشخص شد (شکل ۲). در ادامه پس از تعیین تیپ و رخسارهٔ آب جهت اثبات کارستی بودن منشأ چشمه‌ها، نتایج حاصل از بررسی‌های آماری و هیدروژئوشیمیایی ارزیابی شد.

نتایج حاصل از تعیین تیپ و رخسارهٔ چشمه‌ها

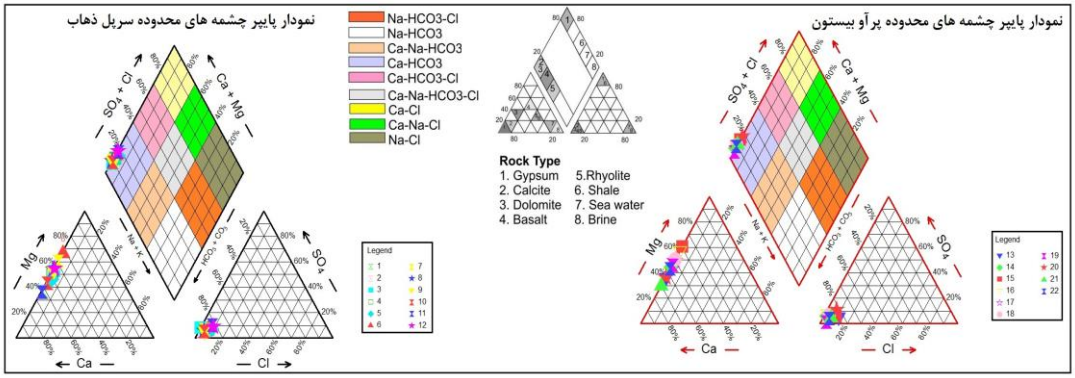
جهت اثبات کارستی بودن منشأ چشمه‌ها تیپ و رخسارهٔ آب تعیین شد. در اینجا برای تعیین رخساره‌های هیدرو شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی محدوده‌های مطالعاتی از نمودار پایپر استفاده‌شده است. موقعیت چشمه‌های موردمطالعه بر روی نمودار پایپر پلات شد. بر اساس نمودار پایپر (شکل ۳)، کل چشمه‌های موردمطالعه در رخساره بی‌کربنات کلسیک و

2. Bhardwaj
3. Todd

www.SID.ir

Archive of SID

منیزیک قرار دارند که این امر نشان‌دهندهٔ کارستی بودن منشأ این چشمه‌ها و بالا بودن سختی آب آن‌هاست، زیرا بی‌کربنات کلسیک و منیزیک خاص نواحی کارستی است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: نمودار پایپر چشمه‌های آبخوان بیستون و آبخوان‌های سرپل ذهاب

رابطهٔ بین آنیون‌های اصلی و تواتر آنیونی و کاتیونی چشمه‌ها نیز این امر را تأیید می‌کند. با توجه به (جدول ۱) در سراب قره‌بلاغ و سراب گرم رخساره آب از نوع منیزیک و در بقیهٔ چشمه‌ها از نوع کلسیک است. به دلیل اینکه سازند گچساران سنگ کف آبخوان آبرفتی دشت قلعه شاهین را تشکیل می‌دهد لذا انحلال ژیپس در تکامل هیدرو شیمیایی آبخوان آبرفتی این دشت نقش مؤثر دارد. به دلیل ارتباط سازند کارستی آسماری با آبخوان آبرفتی از طریق گسل پاتاق و گسل‌های عرضی فراوان در تاقدیس دانه خشک نقش این تکامل در آب سراب گرم و سراب قلعه شاهین نمود می‌یابد. به‌طوری‌که انحلال ژیپس موجب آزاد شدن یون کلسیم و در نتیجه رسوب کلسیت می‌گردد. رسوب کلسیت موجب افزایش انحلال دولومیت و در نتیجه افزایش غلظت یون منیزیم در آب می‌گردد. در نتیجه رخساره هیدرو شیمیایی سراب گرم و قره‌بلاغ به منیزیک تغییر می‌یابد. تمام چشمه‌های آبخوان بیستون دارای رخسارهٔ بی‌کربناته کلسیت می‌باشند. بی‌کربنات کلسیم عمده‌ترین ترکیب‌های حل‌شده در آب‌های زیرزمینی منطقه است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: تواتر یونی، تیپ و رخساره منابع آبی آبخوان‌های سرپل ذهاب و محدودهٔ پرآو بیستون

ردیف	محل نمونه‌برداری	غلظت آنیونها	غلظت کاتیونها	تیپ آب	رخساره آب	تیپ و رخساره
1	سراب گرم	HCO3 > SO4 > Cl	Mg >Ca> Na+K	بی کربناته	منیزیک	بی کربناته منیزیک
2	قلعه شاهین	HCO3 > SO4 > Cl	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
3	کاسره	HCO3 > SO4 > Cl	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
4	قره بلاغ	HCO3 > SO4 > Cl	Mg >Ca> Na+K	بی کربناته	منیزیک	بی کربناته منیزیک
5	دوره	HCO3 > Cl > SO4	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
6	ملک نیاز خان	HCO3 > SO4 > Cl	Mg > Ca > Na+K	بی کربناته	منیزیک	بی کربناته منیزیک
7	گرمک	HCO3 > SO4 > Cl	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
8	پیران	HCO3 > SO4 > Cl	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
9	گلودره	HCO3 > SO4 > Cl	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
10	شب کوره	HCO3 > SO4 > Cl	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
11	بیاضه - بیامه	HCO3 > SO4 > Cl	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
12	حاج نعمت خان	HCO3 > SO4 > Cl	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
13	چشمه سهراب	HCO3 > Cl > SO4	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
14	برناج	HCO3 > SO4 > Cl	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
15	نجیوران	HCO3 > Cl > SO4	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
16	بیستون	HCO3 > SO4 > Cl	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
17	سرابله	HCO3 > SO4 > Cl	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
18	ورمنجه	HCO3 > SO4 > Cl	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
19	خضر زنده	HCO3 > Cl > SO4	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
20	کمیجه	HCO3 > SO4 > Cl	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
21	برنجان	HCO3 > Cl > SO4	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک
22	شاه حسین	HCO3 > Cl > SO4	Ca > Mg > Na+K	بی کربناته	کلسیک	بی کربناته کلسیک

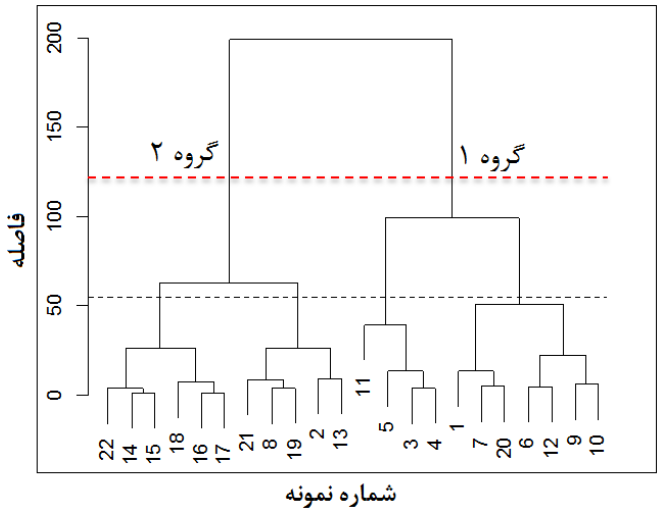
مأخذ: نگارندگان

تحلیل خوشه‌ای

پس از تأیید کارستی بودن منشأ چشمه‌های نمونه‌برداری شده، جهت بررسی ویژگی‌های کیفی آب چشمه‌ها و انجام تجزیه‌وتحلیل‌های آماری و هیدرو شیمیایی‌بر روی آن‌ها، ابتدا با استفاده از روش HCA، نمونه‌های آب زیرزمینی گروه‌بندی شدند. پارامترهای مورد استفاده برای تقسیم‌بندی گروه‌ها، یون‌های اصلی و مجموع املاح است (یون‌های اصلی برحسب میلی‌اکی‌والان و مواد جامد محلول برحسب میلی‌گرم در لیتر است). در شکل ۳ دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان سرپل ذهاب و بیستون مشخص شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: دندروگرام حاصل از تجزیهٔ خوشه‌ای (HCA) نمونه‌های آب زیرزمینی محدودهٔ موردمطالعه

با توجه به شکل دندروگرام، تراکم گروه‌ها و ترکیب شیمیایی آن‌ها، نمونه‌های آب زیرزمینی به ۲ گروه تقسیم شده‌اند. ۹۰ درصد چشمه‌های آبخوان سرپل ذهاب در گروه یک و چشمه‌های آبخوان بیستون در گروه دو قرار گرفتند. لازم به یادآوری است که تعیین تعداد گروه‌ها به‌صورت قراردادی است و با توجه به مقیاس مطالعات می‌توان با جابه‌جا کردن خط تقسیم، تعداد خوشه‌ها را کم و یا زیاد کرد. در این مطالعه به علت انتخاب دو آبخوان در دو زون ساختمانی متفاوت و منطبق شدن گروه‌بندی به روش HCA با مرز آبخوان‌ها، دو گروه از هم مجزا شد. در ادامه به بررسی ویژگی‌های کیفی نمونه‌های آب زیرزمینی این دو گروه به‌صورت مقایسه‌ای پرداخته می‌شود. در جدول ۲ میانگین هر یک از متغیرها در هر گروه مشخص شده است. با توجه به این جدول غلظت یون‌های محلول در آب زیرزمینی در گروه اول بسیار بیشتر از گروه دوم است.

جدول ۲: میانگین ترکیب شیمیایی گروه‌های مختلف آب زیرزمینی

گروه‌ها	TDS	Cl	HCO3	SO4	K	Na	Mg	Ca	T
گروه ۱	252	0.25	5.5	0.33	0.02	0.23	2.19	3.47	18.65
گروه ۲	152.7	0.18	3.48	0.17	0.01	0.02	1.19	2.39	12.51

مأخذ: نگارندگان

تحلیل عاملی

در پژوهش حاضر جهت شناسایی عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی در محدوده‌های موردمطالعه از تحلیل عاملی استفاده شد. به‌منظور انجام تحلیل عاملی غلظت‌های Ca، Mg و Na+K و HCO3، Cl و SO4 در کنار متغیر TDS سنجیده شد. مقدار آمارهٔ KMO برای داده‌های هیدرو شیمیایی چشمه‌ها محاسبه و تأیید شد. در روش پیشنهادی کیسر[1]،

1. Kaiser

www.SID.ir

Archive of SID

تعداد مقادیر ویژه بیشتر از یک را به‌عنوان تعداد عامل‌ها در نظر می‌گیرند. بنابراین با این تعریف، تعداد عامل‌ها در محدودهٔ سرپل ذهاب برابر ۲ خواهد بود. از میان عوامل حاصل، اولین عامل بیشترین واریانس را شامل می‌شود و به ترتیب عوامل بعدی مقادیر کمتری از واریانس را نشان می‌دهند. جدول ۳ سهم متغیرها را در عامل‌های بعد از چرخش نشان می‌دهد. هر متغیر در عاملی قرار می‌گیرد که با آن همبستگی بالای معنی‌داری داشته باشد. نتایج مدل عاملی نشان می‌دهد که ۲ عامل در نظر گرفته‌شده در محدودهٔ سرپل ذهاب، درصد زیادی از کل ترکیب آب چشمه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به‌این‌ترتیب که عامل اول ۳۹٫۹۰ و عامل دوم ۳۲٫۸۳ درصد از واریانس کل را نشان می‌دهند. از میان ضرایب هر عامل، ضرایب بالای ۰٫۶ که به‌صورت پر رنگ در جدول ۳ نشان داده شده‌اند، نشانگر پارامترهای مؤثر در آن عامل هستند. بر این اساس در عامل یک، بین مجموع کل مواد جامد محلول در آب زیرزمینی و غلظت املاح بی‌کربنات، پتاسیم، منیزیم و سدیم و کلسیم رابطهٔ مستقیم وجود دارد. پس می‌توان نتیجه گرفت که در آبخوان‌های محدودهٔ سرپل ذهاب بالا بودن کل مواد جامد محلول به دلیل واکنش بین آب و سنگ، وجود سازندهای فرسایش پذیر (گچساران)، انحلال دولومیت و طولانی‌تر بودن زمان ماندگاری آب در آبخوان سرپل ذهاب نسبت به بیستون است. در عامل دوم بیشترین تأثیر به‌کل مواد جامد محلول، پتاسیم و سولفات داده‌شده است که از نظر لیتولوژی منطقه به دلیل اختلاط آب چشمه‌های محدودهٔ سرپل ذهاب با سازند سست و فرسایش پذیر گچساران قابل توجیه است زیرا این سازند در یال جنوب غربی طاقدیس پاتاق و انتهای شمال غربی طاقدیس دانه خشک رخنمون دارد. در مجاورت طاقدیس‌ها در نقاطی که این سازند با سنگ‌آهک آسماری در تماس است موجب کاهش کیفیت آب چشمه‌ها شده است. در این مورد می‌توان به سراب قره‌بلاغ اشاره کرد که آب آن به دلیل تماس با سازند سولفاته گچساران در مسیر عبور خود در مجاورت یال جنوب غربی طاقدیس پاتاق دارای آلودگی گوگرد می‌باشد (محمد زاده،۱۳۹۲). پس می‌توان نتیجه گرفت که عامل اصلی تعیین‌کننده ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی در سرپل ذهاب، زمین‌شناسی و جنس مواد آبخوان است.

در محدودهٔ بیستون نیز دو عامل مشخص‌شده که متغیرهای اصلی تأثیرگذار در عامل اول شامل غلظت املاح کلسیم، بی‌کربنات، سدیم و سولفات است که در جدول ۴ به‌صورت پر رنگ نشان داده‌شده است. ارتباط بین متغیرهای کلسیم و بی‌کربنات بر اثر انحلال کلسیت و بیانگر تأثیر زیاد آهک‌های سازند بیستون بر منابع آب این محدوده است لذا این تحلیل با زمین‌شناسی منطقه قابل توجیه است و افزایش نسبی سدیم و سولفات به دلیل ناخالصی‌های موجود در داخل سفره‌های کارستی می‌باشد. پس می‌توان نتیجه گرفت که در این عامل مهم‌ترین فرآیند تأثیرگذار انحلال بی‌کربنات است زیرا کلسیم و بی‌کربنات سهم بالایی دارند. در عامل دوم بالاترین سهم مربوط به متغیرهای کلسیم، پتاسیم، سولفات و کل مواد جامد محلول در آب است که افزایش کل مواد جامد محلول در آب چشمه‌ها می‌تواند به علت فصل نمونه‌برداری و بالا بودن دبی چشمه‌ها و شستشوی املاح توسط آب باران و نفوذ آن به علت بالا بودن توسعه کارست باشد. مشاهده عینی گل‌آلود بودن آب سراب برناج و نجیوران در حین نمونه‌برداری توسط نگارندگان تأییدکنندهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

مطلب است (شکل ۵). پس افزایش پتاسیم و سولفات می‌تواند نشان‌دهندهٔ تغذیه ناشی از آب‌های سطحی (بارندگی) و وجود کانی‌های پتاسیم‌دار باشد.

جدول ۳: ماتریس عاملی دوران یافته چشمه‌های محدودهٔ سرپل ذهاب

Factor	ID	T	Ca	Mg	Na	K	SO4	Hco3	Cl	TDS
Component	1	0.55	0.73	0.63	0.64	0.96	0.28	0.95	0.51	0.57
	2	0.56	0.43	0.11	0.70	0.13	0.73	0.16	0.75	0.89

مأخذ: نگارندگان

جدول ۴: ماتریس عاملی دوران یافته چشمه‌های محدودهٔ پرآو بیستون

Factor	ID	T	Ca	Mg	Na	K	SO4	Hco3	Cl	TDS
Component	1	0.82	0.87	0.53	0.79	0.14	0.73	0.78	0.59	0.58
	2	0.53	0.62	0.55	0.23	0.92	0.81	0.34	0.20	0.67

مأخذ: نگارندگان

مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: گل‌آلود بودن چشمهٔ برناج در فصل دبی پیک بارش (اردیبهشت ۹۶)

ضرایب اشباع کانی‌های مختلف در آب

به‌منظور بررسی شرایط حاکم بر انحلال و رسوب‌گذاری کانی‌های موجود در آبخوان‌های کربناته محدوده سرپل ذهاب و بیستون، اندیس‌های اشباع این کانی‌ها محاسبه شد. نتایج حاکی از تحت اشباع بودن چشمه‌های هر دو محدوده نسبت به کانی کلسیت است (جدول ۵). تحت اشباع بودن نمونه‌های آب زیرزمینی به‌خصوص نسبت به کانی‌های کلسیت در چشمه‌های محدوده مطالعاتی سرپل ذهاب و محدودهٔ بیستون دال برنداشتن فرصت کافی جهت واکنش با سنگ‌آهک و رسیدن به تعادل و در نتیجه زمان ماندگاری نسبتاً کوتاه آب در آبخوان‌های کربناته است. البته زمان توقف در آبخوان‌های سرپل ذهاب نسبت به آبخوان بیستون بیشتر است. برخی از چشمه‌های نواحی مرتفع حوضه الوند در سرپل ذهاب (چنار پیران و قلعه شاهین) نسبت به دیگر چشمه‌ها در نواحی پست (سراب گرم و قره‌بلاغ) از نظر کانی کلسیت، به درجه اشباع نزدیک‌ترند. به نظر دلیل این امر این است که چشمه‌های نواحی شرق و جنوب شرقی (چنار پیران و قلعه شاهین) در ارتفاع بالاتری قرار دارند مقادیر بیشتری از بارش‌های جوی حاوی گاز دی‌اکسید کربن دریافت می‌کنند. از طرفی دمای

www.SID.ir

Archive of SID

آب این چشمه‌ها نسبت به چشمه‌های قره‌بلاغ و سراب گرم پایین‌تر است. این دو عامل سبب افزایش انحلال گاز دی‌اکسید کربن در آب و در نتیجه افزایش قدرت اسیدی آب و انحلال دیوارهٔ آبخوان کارستی می‌شود و بدین‌جهت این چشمه‌ها نسبت به سراب گرم و قره‌بلاغ از نظر کانی کلسیت و دولومیت اشباع‌شده‌تر هستند (محمد زاده، ۱۳۹۲). تفاوت در سیستم کارستی و توسعهٔ آن نیز می‌تواند دلیل این امر باشد. چشمه‌های محدودهٔ بیستون نسبت به کانی کلسیت و دولومیت تحت اشباع هستند که این امر بیانگر جریان مجرایی–انتشاری و عدم واکنش آب با سازندهای منطقه و زمان ماندگاری بسیار کم چشمه‌های این محدوده است.

جدول ۵: محاسبهٔ نمایهٔ اشباع کانی‌ها در محدودهٔ سرپل ذهاب (۱۲ تا ۱) و بیستون (۲۲ تا ۱۳)

ID	name	SI Ca	SI Do	ID	name	SI Ca	SI Do
1	سراب گرم	-2.4	0.49	12	حاج نعمت خان	-2.34	0.2
2	قلعه شاهین	-1	0.43	13	چشمه سهراب	-2.7	-0.34
3	کاسره	-2.34	0.37	14	برناج	-2.89	-0.44
4	قره بلاغ	-2.4	0.49	15	نجیوران	-2.99	-0.75
5	دوره	-2.32	0.42	16	بیستون	-2.8	-1
6	ملک نیاز خان	-2.46	-1.51	17	سرابله	-2.68	-0.35
7	گرمک	-2.58	0.38	18	ورمنجه	-2.76	-0.27
8	پیران	-1	0.45	19	خضرزنده	-3.48	-0.15
9	گلودره	-2.6	0.47	20	کمیجه	-2.49	-1.2
10	شب کوره	-2.54	0.43	21	برنجان	-2.7	-0.56
11	بیاضه - بیامه	-2.62	0.32	22	شاحسین	-3	0.34

مأخذ: نگارندگان

نسبت‌های یونی و نمودارهای ترکیبی

برای بررسی منشأ مواد محلول در آب زیرزمینی و واکنش‌های موجود در آبخوان، از نسبت‌های یونی استفاده‌شده است و این نسبت‌هابه شرح ذیل تفسیر شده‌اند.

نسبت‌های یونی

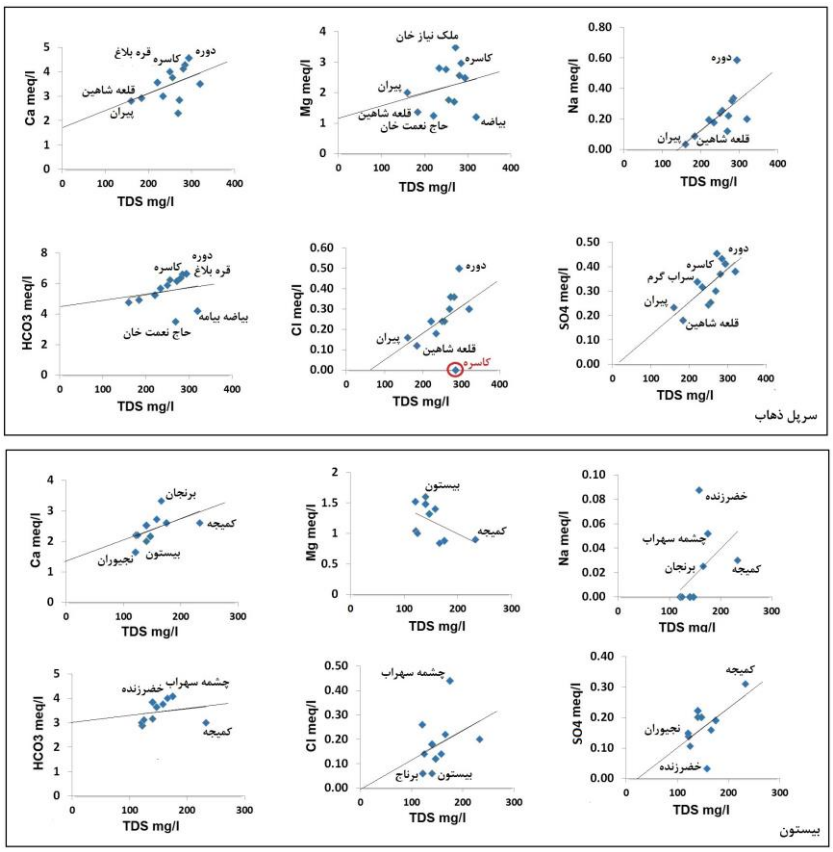
در مطالعات هیدروژئوشیمی جهت تشخیص نوع فرآیندهای ژئوشیمیایی حاکم بر آبخوان‌ها و تعیین منشأ یون‌ها و اختلاط یا عدم اختلاط آب‌ها از نسبت‌های یونی استفاده‌شده است. شکل (شماره ۶) کل مواد جامد محلول در مقابل غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، بی‌کربنات و سولفات در دو آبخوان سرپل ذهاب و بیستون را نشان می‌دهد. خطی بودن نمودار دال بر اختلاط آب چشمه‌های محدودهٔ سرپل ذهاب با آبخوان‌های آبرفتی است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود در بین چشمه‌های محدودهٔ سرپل ذهاب کمترین مقدار یون‌ها مربوط به چشمهٔ پیران و بیشترین غلظت آن مربوط به سراب دوره است. علت این امر مرتفع بودن سراب پیران و عدم اختلاط آب‌های کارستی با آبخوان‌های آبرفتی است. با توجه به (شکل ۶) چشمه‌های محدودهٔ سرپل ذهاب دارای مقادیر فروانی سولفات، کلسیم و منیریم می‌باشند. چشمه‌های پست مانند سراب گرم دارای مقادیر زیادی سولفات می‌باشند زیرا در اطراف چشمه سراب گرم در

www.SID.ir

Archive of SID

زیر آبرفت‌ها سازند فرسایش پذیر و سولفاتهٔ گچساران سفره را محصور کرده است که بخشی از کیفیت سولفاته آب ناشی از مشارکت آب‌های سازند گچساران در تغییر کیفیت آب چشمه است. در ضلع غربی تاقدیس دانه خشک سازند گچساران در سطح زمین رخنمون دارد، این موضوع تأییدکننده مطلب فوق است و بالا بودن منیزیم در چشمه‌های فوق حاکی از انحلال دولومیت است که باعث افزایش منیزیم در آب چشمه‌ها می‌گردد.

با توجه به (شکل ۶) در بین چشمه‌های آبخوان بیستون، بیشترین میزان مواد جامد محلول مربوط به چشمهٔ کمیجه است. دلیل این امر توسعهٔ کم چشمهٔ کمیجه و واکنش بین آب و سنگ مخزن به دلیل زمان ماندگاری زیاد در این چشمه است. سایر چشمه‌های آبخوان بیستون دارای مواد جامد محلول کمتری هستند. در مقایسهٔ بین چشمه‌های آبخوان بیستون و آبخوان‌های سرپل ذهاب نیز این استنباط مورد تأیید است. زیرا میزان سولفات و کل مواد جامد محلول در آب چشمه‌های سرپل ذهاب بیشتر از چشمه‌های آبخوان بیستون است که دلیل این امر، توسعهٔ بیشتر کارست در آبخوان بیستون نسبت به سرپل ذهاب می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که به دلیل توسعهٔ کارست در محدودهٔ بیستون، چشمه‌های این محدوده نسبت به ورودی بارش واکنش نشان داده و ممکن است در زمان بارندگی‌ها گل‌آلود شوند و میزان مواد جامد محلول در آن‌ها بالا رود که این امر موقتی بوده و کیفیت آب چشمه مجدداً به حالت اولیهٔ خود بر می‌گردد.



مأخذ: نگارندگان

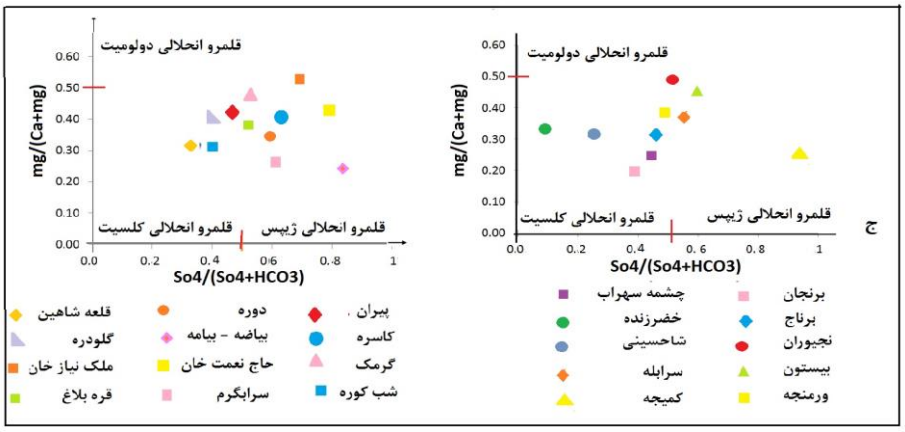
شکل ۶: نمودار ترکیبی کل مواد جامد محلول در مقابل یون‌های اصلی محدوده‌های موردمطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

نمودارهای ترکیبی دومتغیره

در (شکل ۷) نمودار ترکیبی دو متغیره Mg/(Ca+Mg) در برابر SO4/(HCO3+SO4) نشان داده شده است. در این شکل، نمونه‌هایی که در امتداد خط در مقادیر کمتر از 0.5 meq/L واقع شده باشند، نشان‌دهنده انحلال کلسیت و دولومیت می‌باشند و اگر بیشتر از این مقدار باشند انحلال ژیپس و انیدریت فرایند غالب در ایجاد ترکیب شیمیایی می‌باشد. با توجه به شکل در بین چشمه‌های محدودهٔ سرپل ذهاب، چشمه‌های قلعه شاهین، شب کوره، پیران و گلودره در قلمرو انحلالی کلسیت، گرمک، ملک نیاز خان و حاج نعمت خان در قلمرو انحلالی دولومیت و بقیهٔ نمونه‌های سرپل ذهاب در قلمرو انحلالی ژیپس قرارگرفته‌اند. انحلال ژیپس موجب آزاد شدن یون کلسیم و در نتیجه رسوب کلسیت می‌گردد. رسوب کلسیت موجب افزایش انحلال دولومیت و در نتیجه افزایش غلظت یون منیزیم در آب می‌گردد. این امر سبب پایین آمدن کیفیت آب این چشمه‌ها (مانند سراب گرم) شده است. در بین چشمه‌های محدودهٔ بیستون، به‌جز چشمهٔ کمیجه بقیهٔ نمونه‌ها در قلمرو انحلالی کلسیت قرار دارند. دلیل این امر خالص بودن و تحول بیشتر آهک بیستون است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: نمودارهای ترکیبی در محدوده‌های موردمطالعه

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات هیدرو شیمیایی محدوده‌های مطالعاتی بیستون و سرپل ذهاب جهت تعیین تیپ و رخسارهٔ آب برای اثبات کارستی بودن چشمه‌ها نشان می‌دهد که به دلیل تأثیر زیاد آهک‌های بیستون در منطقه، تیپ آب در تمام چشمه‌های محدودهٔ بیستون بی‌کربناته کلسیک است. ترتیب فراوانی آنیون‌ها در همه چشمه‌ها بی‌کربنات و سولفات است. تیپ آب در آبخوان‌های سرپل ذهاب نیز بی‌کربنات کلسیک است فقط چشمه‌های سراب گرم و قره‌بلاغ دارای تیپ بی‌کربنات منیزیک هستند که دلیل آن علاوه بر دولومیتی بودن سازند آسماری شهبازان، می‌تواند بالا بودن دمای آب این دو چشمه، در نتیجه افزایش انحلال دولومیت و به‌تبع آن افزایش مقدار یون منیزیم در آب این چشمه‌ها باشد. بر اساس

www.SID.ir

Archive of SID

نمودارهای ترکیبی دو متغیره تمام نمونه‌های محدودهٔ بیستون در قلمرو انحلالی کانی کلسیت قرار دارند و سنگ مخزن نمونه‌ها آهک خالص است. نتایج تحلیل عاملی بر ترکیب شیمیایی منابع آبی محدودهٔ بیستون نشان‌دهندهٔ تأثیر دو عامل زمین‌شناسی و عوامل محیطی بر کیفیت آب‌های منطقه است. بارش بیشتر و میزان تحول اشکال کارست در این بخش از زاگرس، سبب شده که علی‌رغم پایین‌تر بودن نسبی غلظت املاح، کیفیت شیمیایی آب این چشمه‌ها نسبت به محدودهٔ سرپل ذهاب در معرض تغییرات آنی و انتقال ورودی‌ها از جمله بالا رفتن کدورت در زمان پیک بارش و دبی چشمه‌ها باشند که البته این امر موقتی است. ولی از آنجایی که منابع آب ساکنین محلی از این چشمه‌ها تأمین می‌گردد لذا ضروری است که ساکنین محلی و کوهنوردان به این امر توجه کرده و در حفظ پاکیزگی محیط تلاش کنند زیرا رها کردن زباله در محل به‌خصوص ارتفاعات باعث می‌شود که در زمان بارندگی به دلیل نفوذپذیری بالای آبخوان، آلودگی آب چشمه بالا رود. تحت اشباع بودن آب چشمه‌های کارستی سرپل ذهاب نسبت به کانی‌های کلسیت و دولومیت نشان‌دهندهٔ کوتاه بودن زمان ماندگاری آب در آبخوان است اما این زمان در مقایسه با چشمه‌های آبخوان بیستون طولانی‌تر است. الگوی خطی در نمودارهای ترکیبی مربوط به آبخوان سرپل ذهاب، ارتباط بین آب‌های کارستی با آبرفتی را تأیید می‌کند. علی‌رغم این موضوع ویژگی‌های کیفی کل چشمه‌های محدودهٔ سرپل ذهاب یکسان نبوده و همان‌طور که گفته شد به دلیل اختلاف ارتفاع و دما و تأثیر آن در میزان متفاوت انحلال کانی‌ها، چشمه‌های کارستی نواحی مرتفع مانند چشمهٔ پیران و تا حدودی قلعه شاهین دارای املاح کمتری نسبت به چشمه‌های سراب گرم و قره‌بلاغ هستند.

به‌طورکلی به دلیل توسعهٔ کمتر کارست چشمه‌های محدودهٔ سرپل ذهاب و جنس زمین که مهم‌ترین عوامل کنترل‌کنندهٔ کیفیت هیدرو شیمیایی آب هستند و وجود سازند گچساران در زیر آبرفت‌های محصورکنندهٔ سفره‌های آهکی و مشارکت آب‌های این سازند در تغییر کیفیت آب چشمه‌ها به دلیل تغذیهٔ اندکی از آن به داخل آهک‌ها و همچنین انحلال کانی‌های تبخیری سازند فوق و دولومیت، علی‌رغم حاکمیت تیپ بی‌کربناته کلسیک، غلظت املاح موجود در آب این چشمه‌ها نسبت به چشمه‌های محدودهٔ بیستون بالاتر است که این امر تا حدودی بر روی کیفیت شیمیایی آب این چشمه‌ها تأثیر داشته است.

منابع

۱- جوانمرد زهرا، اصغری مقدم اصغر (۱۳۹۵): استفاده از مدل‌های آماری و هیدرو شیمیایی در تحلیل کیفی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت مهربان آذربایجان شرقی)، نشریه دانش آب‌وخاک، جلد ۲۵، شماره ۳/۲، صص ۴۰-۳۸۶۵.

۲- دولتی جواد، لشکری پور غلامرضا و حافظی مقدس ناصر (۱۳۹۳): بررسی عوامل مؤثر بر هیدروژئوشیمی آبخوان زاهدان با استفاده از روش‌های تحلیل عاملی، نمایه‌های اشباع و نمودارهای ترکیبی، مجله آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۸، شماره ۴، صص ۶۹۴-۶۷۹.

www.SID.ir

Archive of SID

۳- ملکی امجد، شوهانی داوود (۱۳۸۵): پهنه‌بندی تحول کارست در استان کرمانشاه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه رازی کرمانشاه.
۴- ملکی امجد (۱۳۸۶): نقش زمین‌ریخت‌شناسی کارست در بررسی هیدروژئولوژی ناهمواری‌های بیستون، پرآو، کنفرانس بررسی منابع آب استان کرمانشاه، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه صص ۸۶-۷۶.
۵- محمد زاده حسین (۱۳۹۵): تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی و خط ایزوتوپی نزولات جوی استان کرمانشاه و بررسی منشأ آب‌های سطحی و زیرزمینی و تعیین سن نسبی و زمان ماندگاری آب‌های سطحی با استفاده از ردیاب‌های هیدرو شیمیایی و ایزوتوپی، مرکز تحقیقات آب‌های زیرزمینی (متآب) دانشگاه فردوسی مشهد، صص ۲۸۰-۲۹۰.
۶- مقصودی مهران، کریمی حاجی، صفری فرشاد، چهارراهی ذبیحا... (۱۳۸۸): بررسی توسعهٔ کارست در تودهٔ پرآو بیستون با استفاده از ضرایب فرود، زمان مرگ چشمه‌ها و تحلیل نتایج ایزوتوپی و شیمیایی، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۹، صص ۶۵-۵۱.
۷- وحدتی سید مهران، طاهری کمال (۱۳۸۶): دسته‌بندی ساختاری چشمه‌های کارستی حوضهٔ الوند جنوب غربی استان کرمانشاه. کنفرانس بررسی منابع آب استان، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه، صص ۹۹-۸۷.
۸- باقری سیدشکری سجاد، یمانی مجتبی، جعفربیگلو منصور، کریمی حاجی، مقیمی ابراهیم (۱۳۹۲): بررسی توسعه‌یافتگی و ویژگی‌های هیدرودینامیکی سامانه‌های کارستی با استفاده از تجزیه‌وتحلیل منحنی فرود هیدرو گراف (مطالعه موردی: آبخوان‌های کارستی حوضه رودخانه الوند)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دورهٔ ۴۷، شماره ۳، پاییز ۹۴، صص ۳۳۳-۳۴۶.

9- Andre, L., Franceschi, M., Puchan, P., Atteia, O., (2005): Using Geochemical and Modeling to Enhance The Understanding of Groundwater Flow in A Regional Deep Aquifer, Aquitaine Basin, South-West of France, Journal of Hydrology, 305: 40- 42.
10- Appelo, C.A.J., Postma, D., (1993): Geochemistry, Groundwater Pollution, Balkema Rotterdam, The Netherlands, 536.
11- Albinet M, Margat J. (1970): Cartographie De La Vulnerabilit´e a la Pollution Des Nappes d'eau Souterraine [Contamination Vulnerability Mapping of Groundwater]. Bulletin de la Bureau De Recherches G´eologiques ET. Mini`Eres 2nd Serves 3(4): 13-22.
12- Bhardwaj Vikram, Singh Dhruv Sen, Singh A. K. (2009), Hydrogeochemistry of Groundwater and Anthropogenic Control Over Dolomitization Reactions in Alluvial Sediments of The Deoria District: Ganga Plain, MIndia, Environ Earth Sci, 59:1099–1109.
13- Celalettin Simsek, Alper Elci, Orhan Gunduz, Burhan Erdogan. (2007): Hydrogeological and Hydrogeochemical Characterization of A Karstic Mountain Region. Environ Geol. 54:291–308.
14- Daly D, Dassargues A, Drew D, Dunne S, Goldscheider N, Neale S, Popescu C, Zwhalen F. (2002): Main Concepts of The "European Approach" to Karst-Groundwater-Vulnerability Assessment and Mapping. Hydrogeology Journal 10 (2): 340-345.
15- Doerfliger N, Jeannin PY, Zwahlen F. (1999): Water Vulnerability Assessment in Karst Environments: A New Method of Defining Protection Areas Using a Multi-Attribute Approach and GIS tools (EPIK method). Environ Geol 39(2): 165-176.
16- Dussart-Baptista L, Massei N, and Dupont J.-P, Jouenne T. (2003): Transfer of Bacteria-Contaminated Particles In A Karst Aquifer: Evolution of Contaminated Materials From A Sinkhole To A Spring. Journal of Hydrology 284: 285–295.
17- Ford, D. Williams, P. (2007). Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley & Sons Ltd.
18- Gastmans D, Chang H.K. & Hutcheon, I (2010): Groundwater Geochemical Evolution in The Northern Portion of The Guarani Aquifer System (Brazil) and Its Relationship to The Diagenetic features, Appl, Geochem, P: 16

www.SID.ir

Archive of SID

19- Goldscheider, N. (2005): Karst Groundwater Vulnerability Mapping: Application of A New Method in The Swabian Alb, Germany. Hydrogeology Journal, 13(4): 555-564.
20- Margat J. (1968): Vuln_Rabilit_ Des Nappes d'eau Souterraine-la Pollution (Vulnerability of Groundwater to Pollution). BRGM Publication 68 SGL 198 HYD, Orleans.
21- Marfiaa A. M., Krishnamurthya R.V, Atekwanab E.A., Pantonc W.F. (2004): Isotopic and Geochemical Evolution of Ground and Surface Waters in A Karst Dominated Geological Setting: A Case Study From Belize, Central America. Applied Geochemistry 19: 937–946.
22- Murad, A.A., Garamoon, H., Hussein, S., Al-Nuaimi, H.S., (2011): Hydrogeochemical Characterization and Isotope Investigations of A Carbonate Aquifer of The Northern Part Of The United Arab Emirates. J. Asian Earth Sci. p: 214
23- Peiyue Li, Jianhua Wu, Hui Qian. (2012): Assessment of Groundwater Quality for Irrigation Purposes and Identification of Hydrogeochemical Evolution Mechanisms In Pengyang County, China. Environ Earth Sci 69:2211–2225.
24- Pan Wu, Changyuan Tang, Lijun Zhu, Congqiang Liu, Xuefang Cha, Xiuzhen Tao, (2009): Hydrogeochemical Characteristics of Surface Water and Groundwater in the Karst Basin, Southwest China, HYDROLOGICAL PROCESSES, Ministry of Education, Guiyang, China DOI: 10.1002/hyp.7332.
25- Todd, D. K. (1980): Groundwater Hydrology (2nd edn). Wiley, New York. 552 Pp.
26- Vincent Cloutier, Rene ´Lefebvre, Rene Therrien, Martine M Savard. (2008): Multivariate Statistical Analysis of Geochemical Data as Indicative of The Hydrogeochemical Evolution of Ground Water in a Sedimentary Rock Aquifer System, Journal of Hydrology, 353: 294-313
27- Vias JM, Andreo B, Perles MJ, Carrasco F, Vadillo I, Jiménez P. (2006): Proposed Method For Groundwater Vulnerability Mapping in Carbonate (Karstic) Aquifers: The COP Method Application in Two Pilot Sites in Southern Spain, Hydrogeol. J. 14: 912-925.
28- Vaute. L, C. Drogue, L. Garrelly, M. Ghelfenstein. (1996): Erratum to "Relations Between The Structure of Storage and The Transport of Chemical Compounds In Karstic Aquifers ". J. Hydrol 199: 221-238.
29- Xiangquan Li, Li Zhang, Xinwei Hou. (2007): Use of Hydrogeochemistry and Environmental Isotopes For Evaluation of Groundwater in Qingshuihe Basin, Northwestern China, Hydrogeology Journal (2008) 16: 335-348
30- Yun-Chao Lang, Cong-Qiang Liu, Zhi-Qi Zhao, Si-Liang Li, Gui-Lin Han. (2006): Geochemistry of Surface and Ground Water in Guiyang, China: Water/rock Interaction and Pollution in A Karst Hydrological System, Applied Geochemistry PP. 887–903.

www.SID.ir