بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیائی چشمه کارستی ورسخواران در شهرستان فیروزکوه

حسین ابراهیمی[۱]، فرزاد اکبری[۲]، سرور مزرعه اصل[۳]*، بابک بیگلری[۴]

۱. کارشناسی ارشد، گروه زمین ، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
۲. کارشناسی ارشد ، گروه زمین ، دانشکده علوم زمین ، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
۳. دانشجوی دکتری، گروه علوم زمین، دانشکده علوم زمین، دانشگاه، اهواز، ایران
۴. کارشناسی ارشد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۶ تاریخ **پذیرش:** ۱۴۰۲/۱۰/۰۵

چکیده

چشمه کارستی ورسخواران با وسعت حوضه آبگیر حدود ۵۰ کیلومتر مربع و میانگین آبدهی حدود ۱/۳۵ مترمکعب بر ثانیه یکی از مهم‌ترین چشمه‌های شهرستان فیروزکوه می‌باشد. به منظور ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب چشمه طی ۱۷ ماه اندازه‌گیری و آنالیز شده است. نتایج این مطالعه نشان داد منحنی فرود چشمه دارای یک شیب بوده و مقدار ضریب بده آن حدود ۰/۰۰۳ می‌باشد. اندک بودن ضریب تغییرات آبدهی، هدایت الکتریکی و یون‌های اصلی و همچنین تک شیب بودن منحنی فرود چشمه عمدتاً به دلیل شکل کشیده آبخوان و وجود طولانی مدت برف در حوضه آبگیر چشمه می‌باشد. با توجه به آبدهی نسبتاً بالای چشمه و وجود فروچاله و گودی مسدود در حوضه آبگیر چشمه و هم‌چنین ضریب تغییرات اندک پارامترهای فیزیکی و شیمیایی چشمه، می‌توان این‌چنین اظهارنظر نمود که سیستم غالب جریان در آبخوان تغذیه کننده چشمه ورسخواران، از نوع مجرایی-افشان می‌باشد. با توجه به بازدیدهای صحرایی و ارزیابی درصد پوشش خاک، توسعه فضاهای انحلالی و سایر عوارض مورفولوژیکی کارست، درصد تغذیه سالیانه در محدوده مورد نظر برابر با ۵۶ درصد برآورد شد. با داشتن مقادیر بارش، درصد تغذیه سالیانه، حجم تغذیه سالیانه حوضه آبگیر مقدماتی، برابر با ۱۹/۲ میلیون مترمکعب و حجم تخلیه سالیانه چشمه از طریق هیدروگراف سالیانه چشمه برابر با ۲۰/۱ میلیون مترمکعب محاسبه گردید. همچنین مشاهده گردید تیپ آب چشمه بیکربناته-کلسیک و لیتولوژی آبخوان آهکی دولومیتی می‌باشد.

کلید واژه‌ها: چشمه کارستی ورسخواران، هیدروژئولوژی، هیدروژئوشیمی، حوضه آبگیر.

مقدمه

کشور ایران با متوسط بارش ۲۵۰ میلی‌متر در سال جزء مناطق خشک و نیمه خشک در جهان محسوب می‌گردد. منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر به علت افزایش جمعیت، رشد صنعت و همچنین کافی نبودن منابع در دسترس به یک منبع بسیار مهم و با ارزش تبدیل شده است. کاهش بارندگی و افت سطح آب زیرزمینی در دشت‌ها و همچنین آلودگی این منابع

* نویسنده مسئول: smazrae64@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.4.1019591

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

باعث شده است که توجه متخصصین جهت تأمین آب، به منابع آبی پایدار که کمتر تحت تأثیر آلودگی‌ها هستند معطوف گردد (حجازی جهرمی و همکاران، ۱۳۹۲) زیرا منابع آب زیرزمینی به دلیل ارتباطات هیدروژئولوژیکی با یکدیگر در معرض آلودگی هستند (عشقی و همکاران، ۱۳۸۲: قاسمی و همکاران، ۱۳۸۸). از مهم‌ترین منابع آبی پایدار سازندهای کارستی کربناته هستند و از آنجایی حجم بالایی آب را در خود ذخیره می‌کنند به عنوان منابع غنی آب زیرزمینی می‌باشند. از طرفی کیفیت آب منابع آب مصرفی نیز اهمیت بسیاری دارد زیرا شناخت آب از نظر کیفیت، کمیت و چگونگی حصول آن اقدام اساسی جهت بهینه‌سازی مصرف است (Roux et al., 2007). ویژگی‌های هیدروشیمیایی آبخوان‌های کارستی به جهت ارزیابی جریان در آبخوان‌های کارستی، زمان ماندگاری آب در آبخوان، واکنش آب و آبخوان با یکدیگر و با منابع مجاور و همچنین مکانیسم تخلیه و تغذیه و نیز انتقال آلودگی بررسی می‌گردد (; Kumar etal.,2006جلالی و همکاران، ۱۳۹۲). تاکنون مطالعات زیادی در راستای بررسی ویژگی‌های منابع آب کارستی انجام شده است. کریمی (Karimi, 2002) کارست را به گستره‌ای با مورفولوژی مشخص و یک سیستم زهکشی زیرزمینی بزرگ که از حلالیت زیاد برخی از سنگ‌ها در آب طبیعی ایجاد شده، اطلاق کرده است. در این تعریف نواحی کارستی عمدتاً بر روی سنگ‌های کربناته (به ویژه سنگ آهک) توسعه پیدا می‌کنند و علاوه بر این بر روی دیگر سنگ‌ها که قابلیت انحلال دارند (از قبیل سنگ گچ و نمک) نیز ایجاد می‌شوند. فورد و ویلیامز (Williams and Ford, 2007) کارست را گستره‌ای با عوارض سطحی مشخص و سیستم زهکشی قوی آب زیرزمینی و ناشی از انحلال سنگ‌های دارای قابلیت انحلال بالا از قبیل سنگ آهک، دولومیت، مارن و ژیپس (به‌ویژه سنگ آهک) در آب‌های طبیعی می‌دانند. جانگ و گو (Guo and Jiang, 2010) ضمن مطالعه هیدرولوژیکی، هیدروشیمیایی و ایزوتوپی روی چشمه کارستی لینگسوی (Lingshui) و با فرض اینکه آلاینده‌های انسان‌زاد از قبیل $k^+, Na^+, Cl^-, SO_4^{2-}$, NO_3^- در آبخوان‌های کم عمق بیشتر از آبخوان‌های عمیق می‌باشد به این نتیجه رسیدند که آب این چشمه از بخش عمیق آبخوان منشأ می‌گیرد و هیچ منبع آلوژنیکی ندارد و همچنین آنالیزهای ایزوتوپی نیز موارد ذکر شده را تائید نمودند. چانگ و همکاران (Chang etal., 2014) اثر شبکه مجرای روی هیدروگراف چشمه‌های کارستی را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتایج دست یافتند که مجاری با جریان آشفته به شدت ابتدای منحنی فروکش را از طریق تغذیه نقطه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهد. قسمت‌های بعدی منحنی عمدتاً به وسیله تغذیه افشان کنترل می‌شود و تأثیر مجاری با جریان متلاطم با تخلیه چشمه ناپدید می‌شود. همچنین بر اساس نتایج این مطالعه می‌توان دریافت که تأثیرات متفاوت مجاری با جریان متلاطم و آرام روی هیدروگراف به دلیل تفاوت در خصوصیات جریان در این مجاری می‌باشد

چشمه ورسخواران یکی از مهم‌ترین چشمه‌های کارستی در ۲۸ کیلومتری شهرستان فیروزکوه، واقع شده است. حوضه آبگیر این چشمه در شمال روستای ورسخواران و در کوه قره‌داغ قرار دارد. مردم محلی از آب این چشمه برای شرب و آبیاری زمین‌های کشاورزی، استفاده می‌نمایند. همچنین باقیمانده آب خروجی چشمه پس از عبور، از کنار روستای ورسخواران و ملحق شدن به رودخانه اصلی نمرود در مخزن سد نمرود ذخیره می‌شود. بر اساس ضریب اقلیمی دو مارتن و بررسی اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی مشاهده گردید، ضریب اقلیمی منطقه، در رده نیمه‌خشک قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه قبل از این مطالعه، پژوهشی بر روی این منبع آبی پایدار انجام نشده بود، لذا به منظور ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیائی چشمه کارستی ورسخواران تحقیقی بر روی این چشمه کارستی صورت گرفت. هدف از انجام این پژوهش،

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی چشمه‌های کارستی جهت مشخص نمودن خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدرژئوشیمیایی چشمه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه از لحاظ زمین‌شناسی ساختمانی مربوط به بخش جنوب البرز مرکزی می‌باشد و عمدتاً توسط سازندهای دوران مزوزوییک تا سنوزوییک پوشیده شده است. قدیمی‌ترین سازند منطقه رخساره مردابی شمشک است که بر روی سازندهای آهکی دلیچای، لار و رسوبات آهکی کرتاسه فوقانی قرار گرفته است. رسوبات آبرفتی عهد حاضر نیز به صورت واریزه‌های دامنه‌ای در پای ارتفاعات و آبراهه‌ها قابل مشاهده می‌باشد. همچنین روند ساختاری چین‌ها تقریباً شمال شرقی-جنوب غربی بوده که با امتداد گسل‌های منطقه (مشا-فشم و نمرود) موازی می‌باشند. متوسط بارش سالیانه در منطقه مورد مطالعه ۴۱۵ میلی‌متر و میانگین دما معادل ۹ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد.

جمع آوری اطلاعات پایه و بازدیدهای صحرایی

در مرحله ابتدایی پژوهش، جهت بررسی اقلیم منطقه آمار و اطلاعات هواشناسی شامل داده‌های بارش و دما (ایستگاه‌های فیروزکوه، نجف در، علی آباد دوشتان، کهنک و نم‌رود) از سازمان آب و برق استان تهران اخذ شد. همچنین نقشه‌های زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی به‌منظور بررسی و تحلیل‌های منطقه از سازمان زمین‌شناسی دماوند و سمنان دریافت شد. در ادامه جهت تطابق اطلاعات، چندین مرحله بازدید از منطقه و محل چشمه جهت بررسی‌های آب هوایی، زمین‌شناسی و صحرایی انجام گردید.

نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و آنالیز نمونه‌ها

در راستای بررسی ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی از چشمه کارستی ورسخوران به صورت ماهانه از خرداد ماه ۱۴۰۱ تا آذر ماه ۱۴۰۲ نمونه‌برداری با رعایت استاندارد انجام گردید به طوری که بطری نمونه‌برداری ابتدا با آب چشمه شستشو و سپس نمونه‌برداری صورت گرفت و سپس نمونه‌ها در کمترین زمان ممکن به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های برداشت شده جهت آنالیزهای هیدروشیمیایی در ظروف پلی اتیلن۵۰۰ سی‌سی جمع آوری شدند. نمونه‌های برداشت شده جهت آنالیز به آزمایشگاه دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل و با روش‌های تیتراسیون و آزمایشگاهی اندازه‌گیری گردید. همچنین مقادیر شوری و اسیدیته در محل با دستگاه اندازه‌گیری و ثبت گردید. همچنین جهت بررسی توسعه کارست و اشکال کارستی چندین مرحله بازدید میدانی مستمر انجام شد. دبی طی یک سال آبی جهت بررسی مسائل هیدورژئولوژیکی اندازه‌گیری و پس از آن از طریق فرمول زیر محاسبه شد.

$$Q = V \times A \qquad (۱)$$

اگر سرعت متوسط جریان(v) و سطح مقطع جریان(A) اندازه‌گیری شود، مقدار دبی(Q) را می‌توان از معادله زیر محاسبه نمود .

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

نتایج و بحث

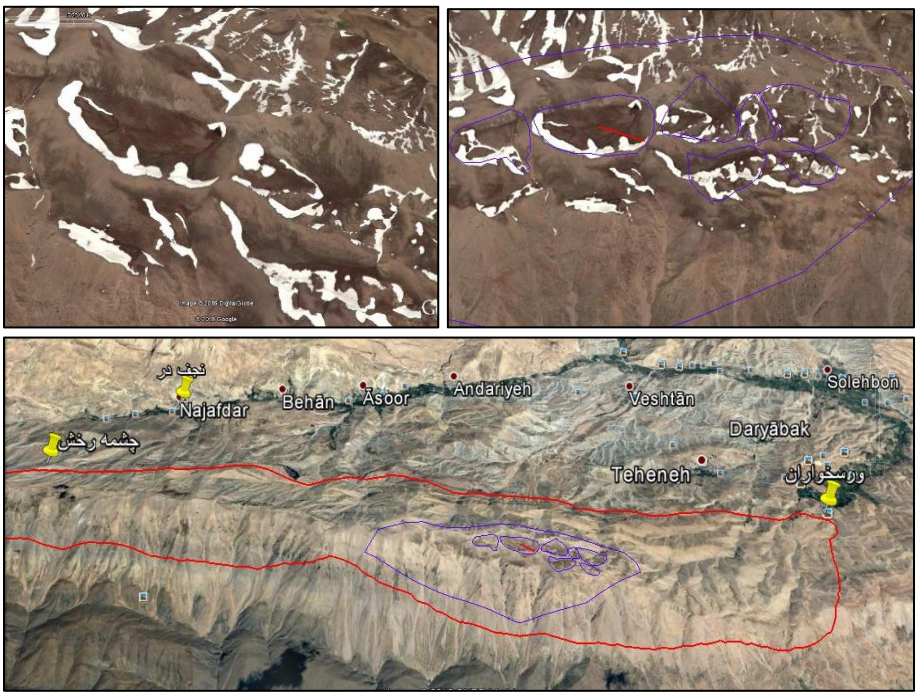
ارزیابی ژئومورفولوژی کارست در حوضه آبگیر چشمه ورسخواران

مهم‌ترین نتیجه فرایند انحلال بر سنگ‌های کربناته ایجاد مورفولوژی خاص است که سیمای این مناطق را از نواحی دیگر کاملاً متمایز می‌سازد(Ford and Williams, 2007). منطقه مورد مطالعه، سازندهای آهکی لار و کرتاسه فوقانی از عمده‌ترین سازندهای کربناته بوده که در یال ناودیسی قره‌داغ رخنمون یافته‌اند. بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه را سنگ‌های برهنه فاقد اپی‌کارست (Epikarst) تشکیل می‌دهند (ارتفاع ۲۵۰۰ متری و بالاتر از آن) و در بخش‌هایی از منطقه اپی‌کارست مشاهده می‌شود. اپی کارست بالاترین بخش هوازده سنگ‌های کربناته است که تخلخل و نفوذپذیری زیاد و تقریباً همگنی نسبت به توده‌ی سنگی زیرین دارد(Goldscheider and Drew, 2007; Singhal and Gupta, 2010). در واقع اختلاف در میزان تشکیل اپی کارست به وضوح در ارتفاعات مختلف مشاهده می‌شود. در حوضه آبگیر چشمه ورسخواران اشکال مورفولوژی کارست از جمله کارن، گودی مسدود، فروچاله‌های کوچک مقیاس و عوارض هیدروژئولوژیکی مانند چشمه گسترش یافته‌اند که نشان‌گر توسعه کارست در منطقه می‌باشد. شکل‌های ۱ تا ۳ برخی از مهم‌ترین پدیده‌های کارستی در منطقه را نشان می‌دهند.

شکل۱. نمایی از کارن‌های عمیق (سمت راست) و حفرات انحلالی (سمت چپ) در حوضه آبگیر چشمه کارستی ورسخواران
Fig. 1. A view of deep karren (right side) and solutional pits (left side) in the catchment basin of Vorskhavaran karst spring

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]



شکل۲. فروچاله‌ها در حوضه آبگیر چشمه کارستی
Fig. 2. Sinkholes in the catchment area of karstic spring

شکل۳. نمایی از دره خشک (سمت راست) در منطقه و وضعیت اپی‌کارست (سمت چپ)
Fig. 3. A view of dry valley (right side),in the vast area of epikarst (left side)

بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی چشمه

به‌منظور بررسی پارامترهای هیدروژئولوژیکی چشمه، طی ۱۸ ماه اندازه‌گیری از دبی آب چشمه انجام و ارقام ثبت گردید. شکل ۴ و جدول ۱ چشمه و داده‌های برداشت شده در تاریخ‌های مختلف از چشمه را نشان می‌دهند

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

شکل۴. نمایی از چشمه کارستی ورسخوران
Fig. 4. A view of Vorsakhuran karst spring

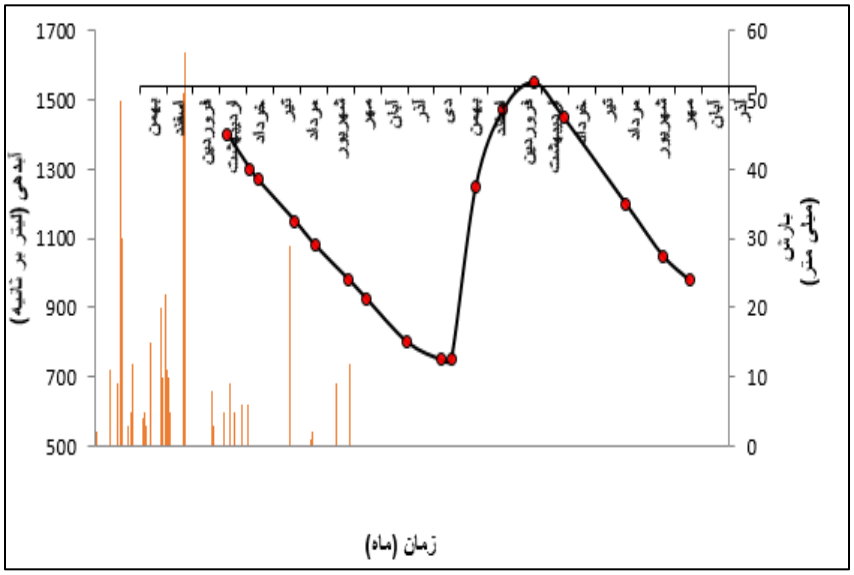
جدول ۱. پارامترهای اندازه‌گیری شده در مظهر چشمه کارستی ورسخواران (از خرداد ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۲)
Table 1. The parameters measured in the manifestation of the karst spring of Vorsakhuran (June 2022-2023)

Temperature (˚C)	pH	Electrical conductivity (μmhos/Cm)	Discharge of spring (lit/sec)	Date of sampling
-	٧/٦	٢٨٠	١٤٠٠	١٤٠١/٠٣/٢٨
٧/٥	٧/٥	٣٠٥	١٢٧٠	١٤٠١/٠٤/٢٤
٧/٥	٧/٧	٢٩٧	١٢٩٠	١٤٠١/٠٥/٠٢
٩	٧/٥	٢٩٢	١١٤٠	١٤٠١/٠٦/١٥
١٠	٧/٦	٢٩٦	١١٠٠	١٤٠١/٠٧/٠٨
٩/٢	٧/٦	٢٩٤	٩٨٠	١٤٠١/٠٨/١٨
٩	٧/٨	٢٨١	٩٢٥	١٤٠١/٠٩/٠٩
٩/١	٧/٧	٢٧٠	٨٣٠	١٤٠١/١٠/٢٧
٩/٢	٧/٧	٢٦٧	٧٠٠	١٤٠١/١٢/٠٧
٩/٥	٧/٦	٢٦٠	٧٥٠	١٤٠١/١٢/١٩
١٠	٧/٧	١٦٥	١٢٥٠	١٤٠٢/٠١/١٨
٨/٥	٧/٧	٢٧٠	١٤٧٠	١٤٠٢/٠٢/١٩
٩	٧/٦	٢٩٨	١٦٠٠	١٤٠٢/٠٣/٢٥
٧/٨	٧/٥	٢٧٥	١٤٥٠	١٤٠٢/٠٤/٢٩
٩	٧/٥	٢٨٧	١٢١٠	١٤٠٢/٠٧/١٠
٨	٧/٧	٢٨٠	١٠٥٠	١٤٠٢/٠٨/٢٣
٧	٧/٦	٢٧٢	٩٨٠	١٤٠٢/٠٩/٢٤

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

تغییرات زمانی آبدهی چشمه کارستی ورسخوران

آبدهی چشمه یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد سنجش در مظهر چشمه می‌باشد که می‌توان نرخ تغییرات آن را به عنوان اولویت نخست جهت تحلیل و ارزیابی رفتار هیدروژئولوژیکی آبخوانی که چشمه از آن تخلیه می‌شود در نظر گرفت. با توجه به شکل ۵، میزان آبدهی چشمه از ۷۰۰ لیتر در ثانیه در اواخر اسفند ماه تا ۱۶۰۰ لیتر در ثانیه در اواخر خردادماه ۱۴۰۲ تغییر می‌کند. از آنجایی که حداکثر تخلیه به خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان و فیزیوگرافی حوضه آبگیر بستگی دارد و برای هر چشمه منحصر به فرد می‌باشد، مشاهده می‌شود، که شاخه صعودی (Rising limb) نمودار آبدهی چشمه از اواخر اسفند شروع شده و در اواخر خردادماه به بیشترین مقدار خود می‌رسد. همچنین در شکل ملاحظه می‌شود که شاخه فروکش (Falling limb) نمودار آبدهی، از اواخر خرداد تا اواخر اسفندماه ادامه می‌یابد. از آنجایی‌که به دلیل کشیدگی حوضه آبگیر همه مجاری فرعی انتقال دهنده جریان در آبخوان چشمه کارستی ورسخواران در یک زمان به مسیر اصلی تخلیه نمی‌شوند، آبدهی چشمه با یک روند منظمی کاهش می‌یابد.



شکل ۵. هیدروگراف چشمه کارستی ورسخواران برای سال آبی ۱۴۰۲- ۱۴۰۱

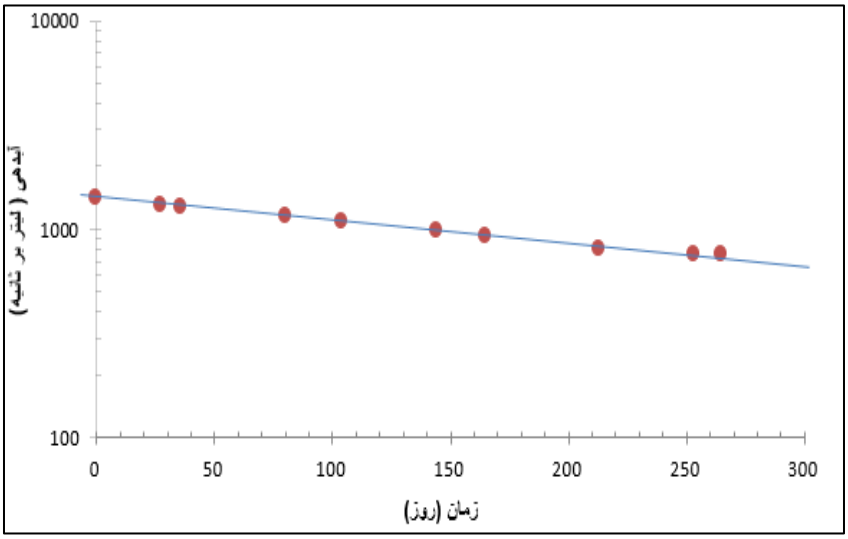
Fig. 5. Vorsakhuran karst spring Hydrograph (the year 2022-2023)

ارزیابی و تحلیل ضریب منحنی فرود چشمه کارستی

ضریب فروکش توانایی آبخوان در ذخیره‌سازی آب را نشان می‌دهد. اگر شیب این منحنی کم باشد معرف ذخیره هیدرودینامیکی زیاد آبخوان است که این نوع چشمه‌ها غالباً دائمی هستند (Milanovic, 1981). به طور کلی هنگامی که ضریب فرود در مرتبه $۱۰^{-۳}$ قرار داشته باشد، نشان دهنده‌ی تخلیه حفرات و درزه و شکستگی‌های ریز است هر چند بهتر است که تحلیل ضریب فرود همراه با در نظر گرفتن شرایط فیزیوگرافی حوضه آبگیر بررسی گردد. بر اساس محاسبات انجام شده، ضریب فرود چشمه کارستی ورسخوران در طول فروکش ۲۶۵ روزه حدوداً برابر با ۰/۰۰۳ می‌باشد. با توجه به شکل ۶، که منحنی فرود چشمه ورسخواران را نشان می‌دهد می‌توان بیان نمود که، عمدتاً تخلیه در قسمت‌های اولیه منحنی فرود تحت تأثیر مجاری با جریان متلاطم که دارای قابلیت انتقال بالا و ذخیره پایین می‌باشند، انجام می‌شود. عموماً جریان متلاطم تنها

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

قسمت‌های اولیه منحنی فروکش را تحت تأثیر قرار می‌دهند و تأثیرات آن‌ها با تخلیه چشمه کاهش می‌یابد. آب قسمت‌های بعدی منحنی فرود چشمه، عمدتاً تحت تأثیر خلل و فرج کوچک‌تر از یک میلی‌متر با جریان آرام که دارای قابلیت انتقال اندک ولی ذخیره‌سازی نسبتاً بالا می‌باشد تأمین می‌شود. از عوامل مؤثر بر منحنی فرود چشمه کارستی ورسخوران، می‌توان به سیستم غالب جریان افشان چشمه، باقی ماندن برف در انتهای حوضه تا زمان طولانی، وجود سازندهایی با تراوایی اندک (سازند دلیچای) و همچنین به کشیدگی حوضه آبگیر چشمه اشاره نمود.



شکل۶ . منحنی فرود چشمه کارستی ورسخواران در سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۲
Fig. 6. Recession curve of Vorsakhuran karst spring

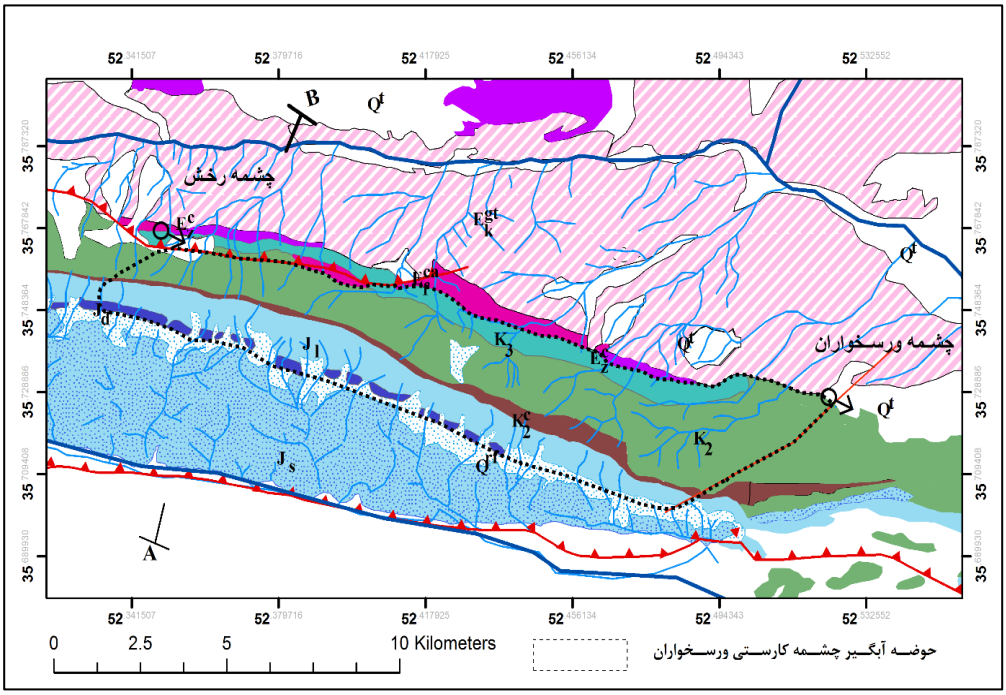
حوضه آبگیر چشمه کارستی ورسخوران

ترسیم حوضه آبگیر مقدماتی

با توجه به بازدیدهای صحرایی و ارزیابی درصد پوشش خاک، توسعه فضاهای انحلالی و سایر عوارض مورفولوژیکی کارست، درصد تغذیه سالیانه در محدوده مورد نظر برابر با ۵۶ درصد برآورد شد. با داشتن مقادیر بارش، درصد تغذیه سالیانه، حجم تغذیه سالیانه حوضه آبگیر مقدماتی، برابر با ۱۹/۲ میلیون مترمکعب و حجم تخلیه سالیانه چشمه از طریق هیدروگراف سالیانه چشمه برابر با ۲۰/۱ میلیون مترمکعب محاسبه گردید. به منظور ترسیم حوضه آبگیر چشمه کارستی ورسخواران، ابتدا با استفاده از تلفیق روش‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هیدروژئولوژی و مد نظر قرار دادن حوضه آبگیر چشمه‌های مجاور، محدوده حوضه آبگیر چشمه ورسخواران به صورت مقدماتی ترسیم گردید. بخشی از حوضه آبگیر چشمه ورسخواران به دلیل شیب لایه‌های آهک لار و دلیچای در دامنه جنوبی ارتفاعات قره‌داغ قرار داشت که این بخش‌ها تصحیح و به حوضه آبگیر مقدماتی چشمه اضافه شده‌اند. حوضه آبگیر چشمه ورسخواران با در نظر گرفتن حداکثر آبدهی چشمه رخش (۴۸۰ لیتر بر ثانیه) از حوالی این چشمه ترسیم شده است. و به علت وجود سدهای هیدروژئولوژیکی همچون گسل نم‌رود، سازند ماسه سنگی فجن و سازند کرج در مرز شمالی حوضه، این مرز در امتداد سدهای هیدروژئولوژیکی ذکر شده تا حوالی چشمه کارستی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

ورسخواران امتداد داده شده است. در شرق حوضه نیز این مرز موازی با گسل ورسخواران به سمت جنوب غربی امتداد پیدا می‌کند. در دامنه جنوبی نیز مرزهای جنوبی حوضه به دلیل رخنمون سازند شمشک (مانع هیدروژئولوژیکی) موازی با این سازند تعیین شده است (شکل۷).



شکل۷. نقشه حوضه آبگیر هیدروژئولوژیکی چشمه کارستی ورسخواران

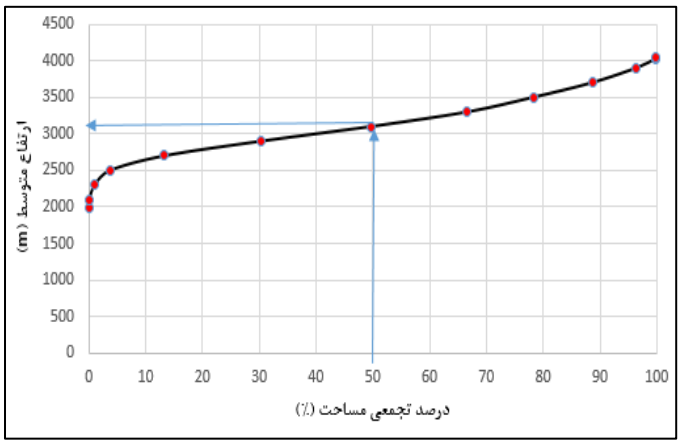
Fig. 7. The hydrogeological catchment area map of Vorsakhuran karstic spring

ارزیابی ارتفاع متوسط در حوضه آبگیر چشمه

میزان نزولات جوی به ارتفاع محیط بستگی دارد و در یک منطقه معین با افزایش ارتفاع میزان بارش بیشتر خواهد شد. با توجه به اهمیت ارتفاع حوضه آبگیر در میزان نزولات جوی، به منظور تعیین ارتفاع متوسط در حوضه آبگیر چشمه ورسخواران از تصاویر ماهواره لندست، مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، با تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده گردید. همچنین به منظور آنالیز مدل رقومی (DEM) از نرم افزار ARC GIS استفاده شده است. با توجه به منحنی هیپسومتری مشاهده می‌شود که مناطقی با ارتفاع بین ۲۶۰۰ متر تا ۳۶۰۰ متر بیشترین فراوانی را دارند که این امر را می‌توان به وضوح در منحنی هیپسومتری مشاهده نمود. بر اساس منحنی هیپسومتری، ارتفاع متوسط حوضه آبگیر چشمه برابر با ۳۱۰۰ متر برآورد گردید. ارتباط مثبتی بین میزان بارش و افزایش ارتفاع در منطقه مورد مطالعه وجود دارد و بر اساس معادله ارتفاع - بارش و قرار دادن ارتفاع متوسط ۳۱۰۰ متری در آن، متوسط بارندگی حوضه آبگیر چشمه ورسخواران ۷۱۵ میلی‌متر محاسبه شده است (شکل۵-شکل۸).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]



شکل۸-الف: نمودار هیپسومتری حوضه آبگیر چشمه کارستی ورسخواران
Fig. 8. Hypsometric diagram of Vorsakhuran karst spring catchment basin

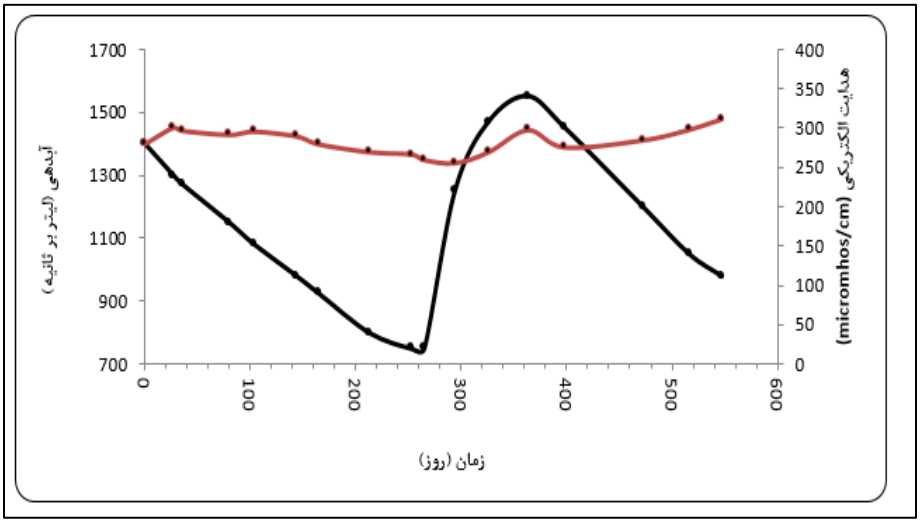
خصوصیات هیدروژئوشیمیایی چشمه کارستی ورسخوران

خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آب‌های کارستی عموماً وابسته به انحلال کانی‌های کربناته شامل کلسیت، دولومیت، هالیت و آراگونیت می‌باشد. با افزایش زمان ماندگاری آب در آبخوان و در امتداد خطوط جریان از منطقه تغذیه به تخلیه شیمی آن توسط انواع گوناگونی از فرآیندهای ژئوشیمیایی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بنابراین لازم است جهت انجام مطالعات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی، ویژگی‌های شیمیایی منابع آب نیز مورد مطالعه قرار گیرند. در این قسمت تغییرات کمی آب (هیدروگراف) چشمه ورسخواران، با تغییرات هم‌زمان کیفی آن، به منظور تشخیص منشأ تغذیه، تشخیص رژیم جریان و کیفیت هیدروشیمیایی آب چشمه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

تغییرات زمانی مقادیر هدایت الکتریکی و ارتباط با آبدهی چشمه

هدایت الکتریکی نماینده‌ای از کل املاح محلول بوده و یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی در مطالعات منابع آب به شمار می‌رود. بر اساس شکل ۹، که مقادیر آبدهی چشمه، نسبت به شوری را نشان می‌دهد، به روشنی مشاهده می‌شود که یک تغییر ملایم در مقادیر هدایت الکتریکی وجود دارد. با افزایش آبدهی، هدایت الکتریکی به دلیل جریان پیستونی(هنگامی‌که در یک منطقه کارستی بارندگی صورت می‌پذیرد، آب پس از عبور از منطقه غیراشباع وارد منطقه اشباع می‌شود و بلافاصله باعث افزایش دبی آب خروجی از چشمه پایین دست آبخوان کارستی می‌گردد که به آن جریان پیستونی گفته می‌شود (اشجاری، ۱۳۸۸)) در آبخوان و رانده شدن آب‌های قبلی با زمان ماندگاری بالا، روند افزایشی اندکی از خود نشان می‌دهد و پس از ناپدید شدن اثر آن کاهش می‌یابد. در ادامه با کاهش آبدهی به دلیل تغییر رژیم، آبدهی هدایت الکتریکی روند خود را حفظ نموده و می‌توان عنوان نمود که تا حد کمی روند ثابتی از خود نشان می‌دهد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

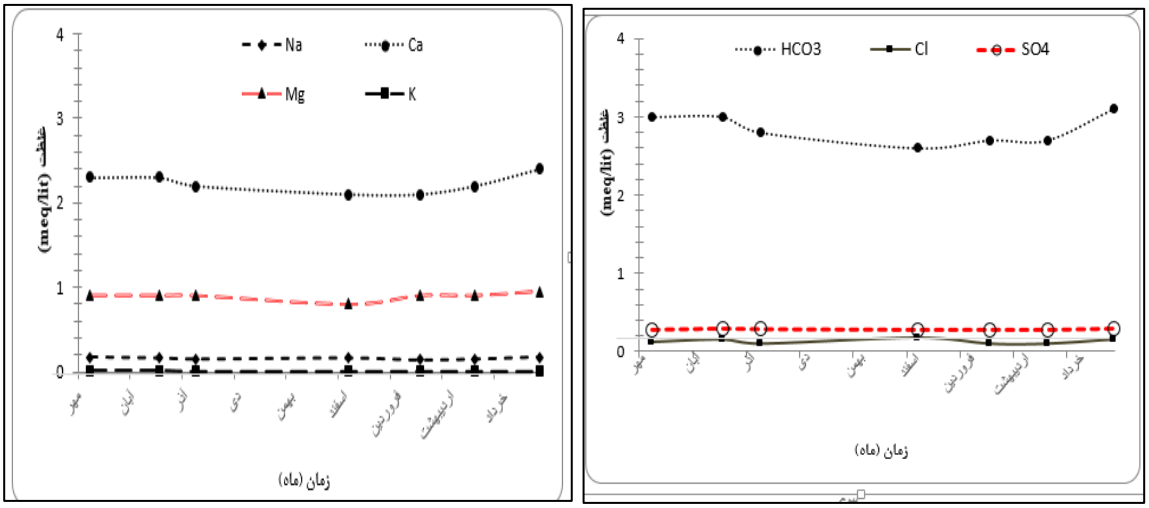


شکل ۹- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و دبی چشمه کارستی ورسخواران

Fig. 9. Time variation of electrical conductivity and discharge in the Vorsakhuran karstic spring

تغییرات زمانی غلظت عناصر اصلی آب چشمه

همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها اشاره گردید، ۱۷ مرحله از چشمه ورسخواران نمونه‌برداری شده است و سپس سه نمونه از فصل خشک و چهار نمونه از فصل تر، برای تعیین مقادیر غلظت یون‌های اصلی به آزمایشگاه انتقال داده شده‌اند. بر اساس جدول ۲ و شکل ۱۰، تغییرات غلظت یون‌ها در نمونه‌ها بسیار اندک می‌باشد. به‌طوری‌که کمترین ضریب تغییرات در یون‌های سولفات، منیزیم، کلسیم و بیکربنات و بیشترین ضریب تغییرات در یون‌های پتاسیم، کلر، سدیم مشاهده می‌شود. همچنین لازم به ذکر است که یون‌های کلسیم، بیکربنات و منیزیم بیش از ۹۰ درصد از غلظت یون‌های هر نمونه را به خود اختصاص داده‌اند. البته از دلایل تغییرات زیاد یون‌های پتاسیم و کلر می‌توان به ناچیز بودن غلظت آن‌ها اشاره نمود که در محاسبات خطای بیشتری از خود نشان می‌دهند.



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

شکل ۱۰- تغییرات زمانی غلظت یون‌های نمونه‌های چشمه کارستی ورسخواران از مهر ۱۴۰۱ تا خرداد ۱۴۰۲

Fig. 10. Time variation of the ions concentration in the samples of Vorsakhuran karst spring from October 2022 to June 2023.

جدول ۲. غلظت یون‌های اصلی چشمه کارستی ورسخواران (بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر)

Table 2. The concentration of major ions in the Karst spring of Vorsakhuran (in milliequivalents per lite)

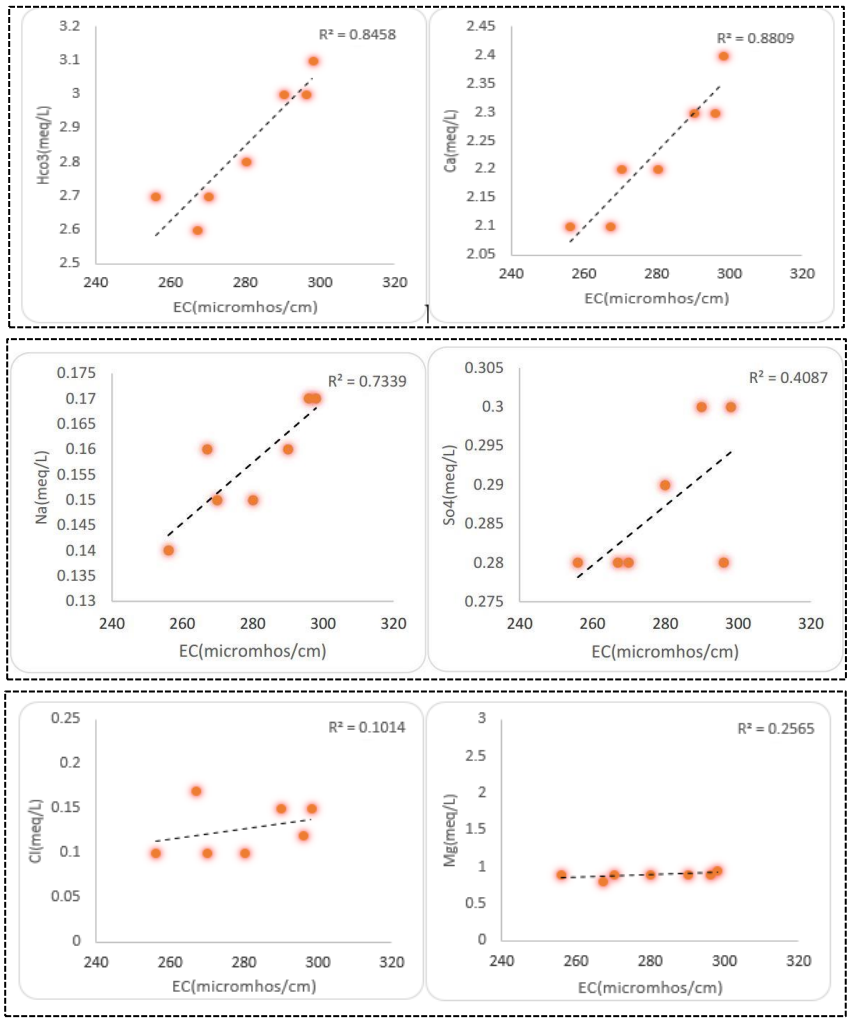
تاریخ برداری‌نمونه	غلظت آنیون ها (میلی اکی والانت در لیتر)			غلظت کاتیون ها (میلی اکی والانت در لیتر)				خطای آزمایش (٪)
	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	K^+	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	
١٤٠١/٠٧/٠٨	٠/٢٩	٠/١٣	٣	٠/٠٣	٠/١٧	٠/٩	٢/٤	١/۶
١٤٠١/٠٨/١٨	٠/٣	٠/١٥	٣	٠/٠٢	٠/١٦	٠/٩	٢/٣	١/٧
١٤٠١/٠٩/٠٩	٠/٢٩	٠/١	٢/٨	٠/٠٢	٠/١٥	٠/٩٥	٢/٢	٢/٢
١٤٠١/١٢/٠٧	٠/٢٨	٠/١٨	٢/٦	٠/٠١	٠/١٦	٠/٨	٢/١	٢/٨
١٤٠٢/٠١/١٨	٠/٢٦	٠/١	٢/٧	٠/٠١	٠/١٤	٠/٨٥	٢/٢	٢/٥
١٤٠٢/٠٢/١٩	٠/٢٨	٠/١	٢/٧	٠/٠١	٠/١٥	٠/٩	٢/٢	٠/٩٦
١٤٠٢/٠٣/٢٥	٠/٣	٠/١٥	٣/١	٠/٠١	٠/١٧	٠/٩٥	٢/٤	٠/٢٨
انحراف معیار	٠/٠١	٠/٠٣	٠/٢	٠/٠١	٠/٠١	٠/٠١	٠/١	٠/٩
میانگین	٠/٣	٠/١	٢/٨	٠/٠١	٠/٢	٠/٩	٢/٢	١/٧
ضریب تغییرات (٪)	٣/٣	٢٣	٦/٧	٣٨	٧/١	٥	٥	٥١

ضریب همبستگی بین هدایت الکتریکی و مقادیر عناصر اصلی

یک از روش‌های آماری در بررسی‌های کیفی آب، تعیین همبستگی بین یک جفت از متغیرهای مرتبط با یکدیگر می‌باشد. تعیین همبستگی بین غلظت یون‌ها و هدایت الکتریکی به طور گسترده‌ای به منظور بررسی‌های کیفی به کار می‌رود (Mazor, 2004). شکل ۱۱، معرف همبستگی مثبت بین هدایت الکتریکی و برخی یون‌های محلول در نمونه‌های برداشت شده از آب چشمه ورسخواران می‌باشد. با توجه به اطلاعات اساسی اولیه همچون جنس آبخوان (آهکی و دولومیتی) و زمان ماندگاری، مشاهده می‌شود که کمترین ضرایب همبستگی بین هدایت الکتریکی و غلظت املاح محلول، به ترتیب مربوط به یون‌های پتاسیم، کلر، سولفات، منیزیم و بیشترین ضرایب همبستگی مربوط به غلظت یون‌های سدیم، کلسیم و بی‌کربنات می‌باشد. همبستگی زیاد یون‌های کلسیم، بی‌کربنات و سدیم (۰/۷۳ الی ۰/۸۸) نشان می‌دهد انحلال این عناصر در آب از عوامل اصلی افزایش مقادیر هدایت الکتریکی بوده که این امر می‌تواند از نتایج انحلال کانی‌های کربناته مانند کلسیت باشد. همبستگی ضعیف یون سولفات و کلر با هدایت الکتریکی می‌تواند حاکی از آن باشد که احتمالاً انحلال عناصری مانند هالیت و ژیپس در منطقه کمتر بوده، و تأثیر چشمگیری در تغییرات هدایت الکتریکی در آب چشمه مورد مطالعه ندارد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]



شکل ۱۱. نمودارهای ترکیبی یون‌های اصلی در مقابل هدایت الکتریکی نمونه‌های آب چشمه ورسخوران

Fig. 11. Composite digrams of the major ions in the Vorskhoran spring water samples versus electric conductivity.

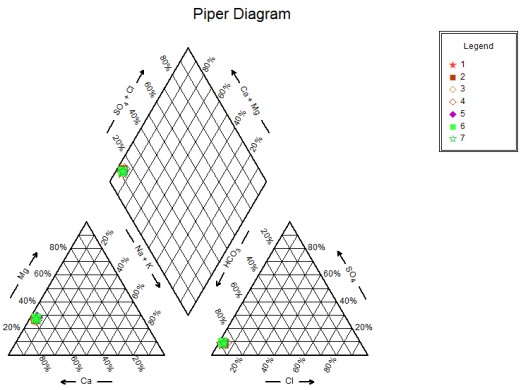
ارزیابی تیپ و رخساره‌های هیدروشیمیایی نمونه‌های آب

نمودار پایپر

یکی از کاربردی‌ترین نمودارهای گرافیکی که به منظور ارزیابی کیفی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد نمودار پایپر(Piper) است. نمودار پایپر به منظور تعیین نوع آب، رسوب‌گذاری یا انحلال، تبادل یونی و بررسی زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی تفاوت و شباهت بین نمونه‌ها استفاده می‌شود (Piper, 1984). بر اساس شکل ۱۲که نمودار پایپر نمونه‌های برداشتی از چشمه ورسخوران را نشان می‌دهد، بیشتر نمونه‌ها دارای آنیون غالب بی‌کربنات و کاتیون غالب کلسیم و منیزیم می‌باشند و به عبارتی تیپ آب چشمه ورسخواران بی‌کربناته-کلسیک است که گویای حضور سازندهای متشکل از کلسیت و دولومیت می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

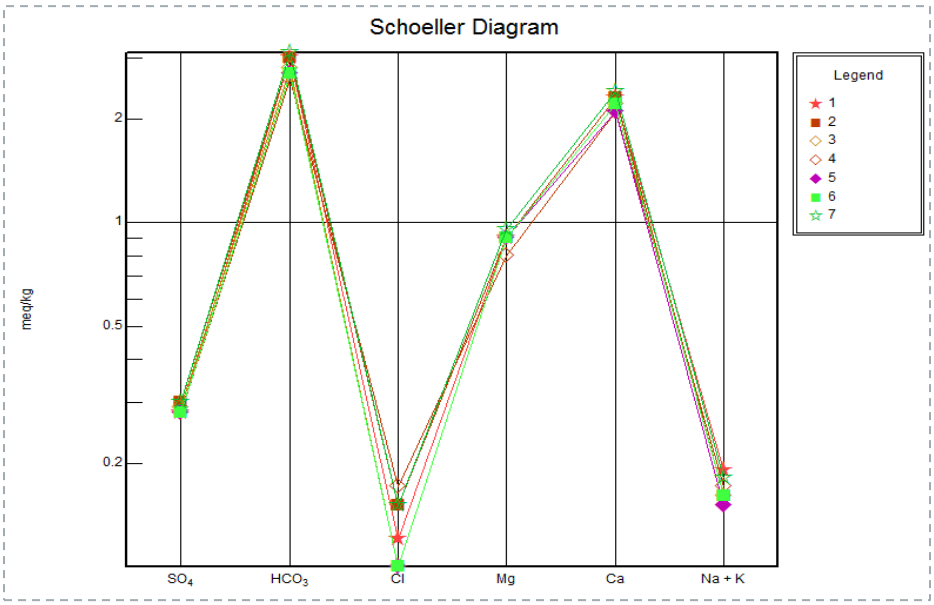
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]



شکل۱۲. نمودار پایپر نمونه‌های آب چشمه ورسخوران
Fig. 12. Piper diagram of Versakhuran spring water samples

نمودار شولر

آبی که برای آشامیدن استفاده می‌شود باید حداقل ویژگی‌های کیفی را دارا باشد. نمودار شولر یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای بررسی خصوصیات کیفی آب می‌باشد(Mazor, 1991). به منظور بررسی منشأ و روند تغییرات زمانی غلظت یون‌های محلول، نمودار شولر برای همه نمونه‌ها ترسیم گردید. یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، بیکربنات، کلر و سولفات روی محور افقی این نمودار قرار می‌گیرند و غلظت هرکدام از یون‌ها بر حسب میلی‌گرم بر لیتر روی محور لگاریتمی نمایش داده می‌شود. پس از ترسیم نمودار برای همه نمونه‌ها برداشته شده از چشمه در ماه‌های مختلف مشاهده شد خطی که، غلظت یون‌های یک نمونه را به هم متصل می‌کند موازی با خط مشابه با نمونه دیگر بوده و به نوعی توجیه کننده منشأ یکسان برای همه نمونه‌ها برداشته شده از چشمه در فصول مختلف می‌باشد (شکل ۱۳).



شکل۱۳. نمودار شولر نمونه‌های آب چشمه کارستی ورسخوران
Fig. 13. Schuler's diagram of water samples from the karst springs of Vorsakhuran.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

نتیجه‌گیری

به طور کی هدف از این تحقیق بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه کارستی ورسخواران بوده که پارامترهای فیزیکی و شیمیایی چشمه و ژئومورفولوژی کارست در حوضه آبگیر چشمه مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که، سنگ‌های برهنه، کارن‌ها نسبتاً عمیق، حفرات انحلالی و چشمه‌های کارستی به عنوان مهم‌ترین و فراوان‌ترین عوارض کارستی در محدوده مطالعاتی می‌باشند در حالی که سایر عوارض توسعه یافته کارستی مانند گودی‌های مسدود و فروچاله‌ها، تنها در بخش‌های محدودی (مساحت ۲/۲ کیلومتری) از منطقه و در ارتفاعات بالا (۲۸۰۰ متر به بالا) مشاهده می‌شوند. ضمن بررسی‌های هیدروژئولوژیکی منطقه مشخص گردید، سیستم غالب جریان در آبخوان تغذیه کننده چشمه ورسخواران از نوع مجرایی-افشان می‌باشد. حجم تغذیه سالیانه در حوضه آبگیر مشخص شده برابر با حدود ۱۹/۲ میلیون مترمکعب برآورد شد. علاوه بر این حجم تخلیه سالیانه چشمه از طریق هیدروگراف سالیانه چشمه برابر با حدود ۲۰/۱ میلیون مترمکعب محاسبه گردید. هیدروگراف چشمه کارستی ورسخواران نشان می‌دهد که پاسخ چشمه ورسخواران به تغذیه به سرعت اتفاق نمی‌افتد به طوری که حداکثر آبدهی چشمه در اواخر خردادماه مشاهده می‌شود در صورتی که اکثر بارش‌های منطقه در اواخر بهمن‌ماه و اردیبهشت ماه رخ می‌دهند. درواقع زمان تأخیر ایجاد شده در هیدروگراف از کشیدگی و طویل بودن حوضه آبگیر و نوع سیستم غالب جریان در آن می‌باشد. در منحنی فرود چشمه کارستی ورسخواران تنها یک رژیم مشاهده گردید که دارای شیب بسیار ناچیز می‌باشد. از طرفی شیب منحنی فروکش چشمه حدوداً برابر ۰/۰۰۳ برآورد شد که، می‌تواند به دلیل کشیدگی حوضه آبگیر، وجود سازندهایی با تراوایی اندک (سازند دلیچای) در آبخوان و باقی ماندن برف در انتهای حوضه آبگیر تا زمان طولانی باشد. بر پایه نتایج به دست آمده از ترسیم نمودارهای هیدروشیمیایی، تیپ و رخساره هیدروژئوشیمیایی چشمه بیکربناته- کلیسک مشخص گردید و بررسی‌های کلی نشان می‌دهد آب چشمه شرایط مطلوبی برای مصارف شرب دارد.

قدردانی

از دانشگاه صنعتی شاهرود بابت در اختیار قرار دادن وسایل آزمایشگاهی و هماهنگی‌ها در خصوص بازدیدهای صحرایی تقدیر به عمل می‌آید.

منابع

اشجاری، ج.، ۱۳۸۸. تفکیک جریان پیستونی و اختلاط آب‌ها در هیدروگراف و کموگراف چشمه‌های کارستی،نخستین کنفرانس سراسری آب‌های زیرزمینی، بهبهان، ایران.

اصغری، م.، کهنسال قدیم وند، ن.، ناصری، ح.، ۱۳۹۳.پتروگرافی و ژئوشیمی دولومیت‌های بخش زیرین سازند لار در البرز مرکزی. جنوب خاوری بهشهر. فصلنامه زمین، ۹(۳۴).

جلالی، ل.، اصغری مقدم،۱.، ۱۳۹۲. تشخیص وضعیت هیدروژئوشیمیایی و روند شوری در سفره آب زیرزمینی دشت خوی به روش‌های آماری و هیدروشیمیایی. نشریه محیط‌شناسی، ۲(۳۹): ۱۲۲-۱۱۳.

حجازی جهرمی، ک.، پیرمرادیان، ن.، شمس نیا، س ا.، شهیدی، ن.، ۱۳۹۲. ارزیابی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی جهت استفاده از در سیستم‌های آبیاری (مطالعه موردی: دشت‌های جنوبی و جنوب شرقی استان فارس). فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، ۶(۱۹).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

ع شقی، ا. ثروتی، م ح.، ۱۳۸۲. عوامل بالقوه آلایندگی منابع آب کار ست در حو ضه کارده(شمال شهر ستان م شهد). مجله جغرافیا و توسعه. ۱۵۰-۱۷۰.

قا سمی، ع.، زارع ابیانه، ح.، شه سوار، ا.م.، یعقوبی کیکله، ب.، ۱۳۸۸. برر سی تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی د شت همدان-بهار. فصلنامه علمی پژوهشی گیاه و زیست بوم، ۶(۲۳).

کریمی وردنجانی ح.، ۱۳۸۹. هیدروژئولوژی کارست (مفاهیم و روش‌ها). انتشارات ارم شیراز، شیراز، ۳۳۹ص.

محمدی بهزاد، ح، ر.، چرچی، ع.، کلانتری، ن.، ۱۳۹۴. بررسی رفتار هیدروژئولوژیکی چشمه کارستی سبزآب، شمال شرق استان خوزستان. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، (۱۵).

نقشه زمین‌شناسی شهرستان دماوند، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی کشور.

نقشه زمین‌شناسی استان سمنان، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی کشور.

نوری، م.، کرمی، غ.ح.، کریمی، ح.، ۱۳۸۹. برر سی خ صو صیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئو شیمیایی چ شمه کار ستی آبدانان. همایش ملی آب پاک.

یزدانی، و.، بانژاد، ح.، ۱۳۸۸. سنجش امکان ا ستفاده از آب‌های سطحی در ک شاورزی و صنعت(مطالعه موردی ساوه). دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن.

Carrasco, F., Valsero, J. J. D., LaMoreaux, J. W. (Eds.). (2010). Advances in research in karst media. Springer Berlin Heidelberg.

Barberá, J.A., Andreo, B., 2015. Chemical, Thermal And Isotopic Evidences Of Water Mixing In The Discharge Area Of Torrox Karst Spring (Southern Spain). Department Of Geology And Centre Of Hydrogeology, University Of Málaga (Cehiuma), 29071 Málaga, Spain.

Chang, Y., Wu, J., Liu, L., 2015. Effects Of The Conduit Network On The SpringHydrograph Of The Karst Aquifer. Journal Of Hydrology, 527 2015 517–530.

Demiroglu, M., 2016. Classification Of Karst Springs For Flash-Flood-Prone Areas In Western Turkey : Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 16, 1473–1486, 2016

Ford, D & Williams, P., 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. JohnWiley and Sons, Ltd. New Jersy, v:573, p1-5.

Goldscheider N, Drew D (eds) 2007. Methods in Karst Hydrogeology. International Contributions to Hydrogeology 26, International Association of Hydrogeologists, Taylor & Francis, London, 264 pp. ISBN 978-0-415-42873-6

Jiang, G., Guo, F., 2010. Interpreting Source Of Lingshui Spring By Hydrogeological, Chemical And Isotopic Methods" Advances In Research In Karst Media, Key Laboratory Of Karst Dynamics, Institute Of Karst Geology, Doi 10.1007/978-3-642- 12486-0.

Karami G.H., 2002. Assessment Of Heterogeneity And Flow System In Karstic Aquifers Using Pumping Test Data.

Kumar, M., Ramanathan, A.L., Rao, M.S., Kumar, B., 2006. Identification and evaluation of Hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. JOURNAL OF Environmental Geology, 50(1): 1025–1039

Mazor, E., 1990. Applied chemical and isotopic groundwater hydrology.

Piper, M.A., 1984. Graphic Procedure In The Geochemical Interpretation Of WaterAnalyses, Transaction American Geophisical Union, P 914.

Ph.D.Thesis, School Of Civil Engineering And Geosciences University Of Newcastle Upon Type, P 180.

Raeisi, E., 2002. Carbonate Karst Caves In Iran. In: Kranjc A (Ed) Evolution Of Karst: From Prekarst To Cessation, Ljubljana-Postojna. 339–344

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

Sinhal, B.B.S., Gupta, R.P,.2010. Applied Hydrogeology of Fractured Rock. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, Second Edition. ISBN 978-90-481-8798-0.

Tang, R., Shu, L., Lu, C., Zhang, C., Fan, J., And Appiah-Adjei, E. 2015. Laboratory Analog Analysis Of Spring Recession Curve In A Karst Aquifer With Fracture And Conduit Domains. J. Hydrol, Eng, 10.1061/(Asce)He, 19435584,0001271,06015013.

Roux,P., C.C.Preez, and M.G.Strydo. 2007. Significance of soil modifiers in naturally degradedVertisols of the Peninsular Indian in redefining the sodic soils. Geoderma J, 136(1-2): 210-228.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

Hydrogeological and hydrogeochemical investigation of Vorskharan karsitic spring in Firoozkooh county

Hossein Ebrahimi[1], Farzad Akbari[2], Soroor Mazrae asl*[3], Babak Biglari[4]

1 .Master, Geology department, Shahrood industrial University, Shahrood, Iran
2 .Master, Geology department, Shahidchamran University, Ahvaz, Iran
3. Master, Geology department, Shahidchamran University, Ahvaz, Iran
2. 1 .Master, Geology department, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 07 Nov 2023 Accepted: 26 Dec 2023

Abstract

The Vorskharan karst spring with a catchment area of 50 square kilometers and an average discharge of about 1.35 m^2/s is one of the most important springs in the city of Firouzkouh. In order to asses the hydrogeological and hydrogeochemical charachteristics of the spring, the physical and chemical properties of the spring water were measured and analyzed for several months. The results showed that the recession curve of the spring has a slope and the value of its coefficient is about 0.003. The low coefficienof the discharge variation t, electrical conductivity and major ions, as well as the single slope of the spring's recession curve , are mainly due to the elongated shape of the aquifer and the long-term presence of snow in the catchment basin of the spring .Considering the relatively high water level of the spring and the existence of a sinkhole and a polje in the spring's catchment area, as well as the coefficient of small changes in the physical and chemical parameters of the spring, it can be said that the dominant flow system in the aquifer which recharges Vorskharan spring,is conduit-diffusive. According to the field studies and the evaluation of the percentage of soil cover, the development of dissolved spaces and other morphological effects of karst, the percentage of annual recharge in the catchment area was estimated at 56%. With the amount of precipitation, the percentage of annual recharge, the annual recharge volume of the preliminary water catchment basin equal to 19.2 MCM and the annual discharge volume of the spring through the annual hydrograph of the spring was calculated to be equal to 20.1 MCM. It was also observed that the type of water is Ca-HCO3, and the lithology of the aquifer is calcareous and dolomite.

Keywords: Vorskharan karst spring, hydrogeology, hydrogeochemistry, catchment basin.

Introduction

With an average rainfall of 250 mm per year, Iran is considered one of the arid and semi-arid regions of the world. The decrease in rainfall and the decline in groundwater levels in the plains, as well as the pollution of these sources, have led experts to focus on water supply from stable, less affected water sources. One of the most important sustainable water sources are carbonate karst formations, which store a large amount of water and are rich sources of groundwater. The catchment area of the Vorskhavaran spring is located north of the village of Vorskhavaran and on Qaradagh Mountain. Local people use the water from this spring for drinking and for irrigating their agricultural land. Based on de Marten's climate coefficient and analysis of weather station data, it was found that the

*Corresponding author: smazrae64@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.4.1019591

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

climate coefficient of the region is in the semi-arid category. Considering that no research has been done on this stable water source prior to this study, a research was conducted on this karst spring in order to evaluate the hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of the karst spring in Vorskhawaran. The purpose of this study is to investigate the physicochemical parameters of karst springs in order to determine the hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of the spring.

materials and methods

Collecting basic information and field visits

The first step of the research, in order to investigate the climate of the region, meteorological statistics and information, geological maps and aerial photographs were collectedIn addition, several stages of visits to the area and the spring site were carried out for climatic, geological and field studies.

Sampling, measurement and analysis of samples

In order to investigate the hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of the karst spring in Vorsakhuran, sampling was done monthly from June 1401 to December 1402 in compliance with the standard.

Also, to investigate karst development and karst features, several stages of continuous field visits were carried out. Flow during one year was measured to assess hydrogeological issues and then calculated through the following formula.

$$Q = V \times A \quad (1)$$

Results and discussion

Evaluation of karst geomorphology in Vorskhavaran spring catchment basin

Parts of the studied area are made up of bare rocks without epikarst, and including epikarst is observed in some parts of the area. In fact, the difference in the amount of epikarst formation is clearly observed at different heights. Karst morphological forms such as karst, blocked pits, small-scale sinkholes and hydrogeological features such as springs have been spread in the watershed of Vorskhawaran, which indicates the development of karst in the region.

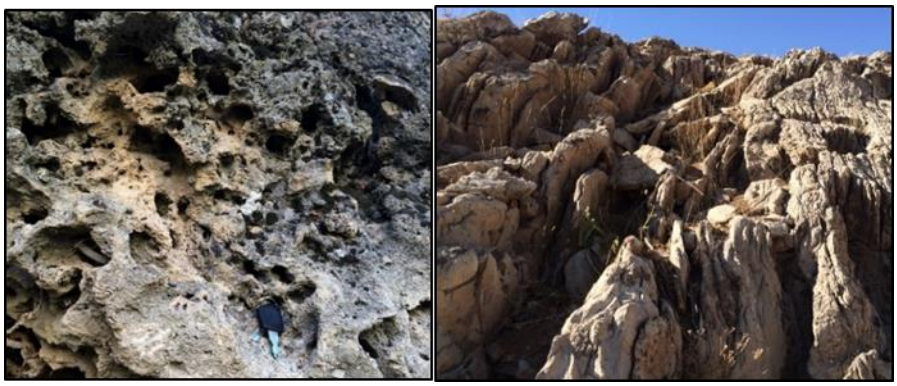


Fig. 1. A view of deep karn (right side) and dissolution holes (left side) in the catchment basin of Varskhavaran karst spring

Time variation of Vorsakhuran karstic spring discharge

The water flow rate of the spring changes from 700 liters per second at the end of March to 1600 liters per second at the end of June 1402. The ascending branch of the spring flow chart starts from

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

the end of March and reaches its maximum value at the end of June. Due to the expansion of the catchment area, not all the subchannels that carry the flow in the aquifer of the Karst and Vorskhawaran spring are discharged into the main channel at the same time, so the water supply of the spring decreases in a regular process.

Evaluation and analysis of the descent curve coefficient of the Karst spring

Discharge occurs mainly in the initial parts of the descent curve under the influence of channels with turbulent flow, high transfer capacity and low storage capacity. Among the factors influencing the descent curve of the karst spring in the Vorsakhuran we can mention the dominant system of spring flow, the presence of snow on the bottom of the basin for a long time, the presence of formations with low permeability (Delichai Formation) and the length of the catchment basin of the spring.

Vorsakhuran karst spring catchment basin

Preliminary water catchment drawing

The water catchment area of Vorskhaharan spring has been drawn considering the maximum water flow of Rakhsh spring (480 liters per second) around this spring. And due to the existence of hydrogeological dams such as Nemroud fault, Fajan sandstone formation and Karaj formation in the northern border of the basin, this border has been extended along the mentioned hydrogeological barriers to the vicinity of Vorskhaharan karst spring.

Evaluation of the average height in the catchment basin of the spring

According to the hypsometric curve, the areas with a height between 2600 meters and 3600 meters have the highest frequency, which can be clearly seen in the hypsometric curve. Based on the hypsometric curve, the average height of the studied area was estimated to be 3100 meters.

Hydrogeochemical characteristics of the Vorsakhuran karstic spring

The hydrogeochemical properties of karst waters generally depend on the dissolution of carbonate minerals including calcite, dolomite, halite and aragonite. As the residence time of water increases in the aquifer and along the flow lines from the recharge area to the discharge, its chemistry is affected by various types of geochemical processes. Therefore, it is necessary to study the chemical properties of water resources in order to conduct hydrogeological and hydrogeochemical studies. In this part, the quantitative changes of the water (hydrograph) of Vorskhavaran spring, along with its simultaneous qualitative changes, have been investigated and evaluated in order to identify the source of recharge, to identify the flow regime and the hydrochemical quality of the spring water.

Time variation of electrical conductivity values and relation with spring watering

Electrical conductivity is a representative of all dissolved solutes and is considered one of the most important quality parameters in water resources studies. A slight change in electrical conductivity values is observed in the sample. With the increase of water flow, the electrical conductivity shows a slight increase due to the piston current in the aquifer and the expulsion of previous waters with a long retention time, and after its effect disappears, it decreases. Furthermore, with the reduction of discharge due to the change of regime, the discharge of electrical conductivity maintained its trend and it can be said that it shows a constant trend to a small extent.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

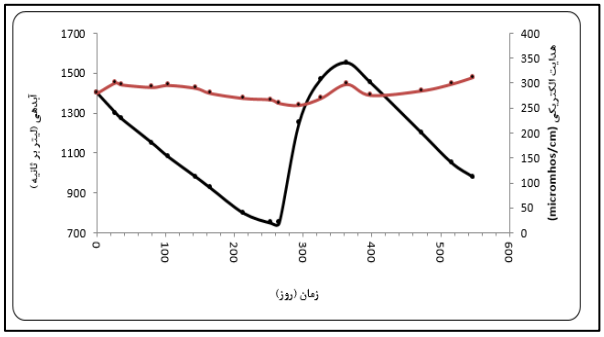


Fig. 2. Time variation of electrical conductivity and discharge in the Varskhavaran karstic spring

Temporal changes in the concentration of the main elements of spring water

In spring water samples, calcium, bicarbonate and magnesium ions account for more than 90% of the ion concentration of each sample. The concentration of potassium and chlorine ions is small and their concentration change is high.

Correlation coefficient between electrical conductivity and values of main elements

There is a positive correlation between electrical conductivity and some dissolved ions in the samples taken from Vorskhaharan spring water. The lowest correlation coefficients between electrical conductivity and potassium, chlorine, sulfate, and magnesium ions and the highest correlation coefficients are related to the concentration of sodium, calcium, and bicarbonate ions.

Evaluation of type and hydrochemical facies of water samples

Piper diagram

According to the Piper diagram, most of the samples have the predominant anion of bicarbonate and the predominant cation of calcium and magnesium, and in other words, the type of spring water of Vorskhavaran is calcium bicarbonate.

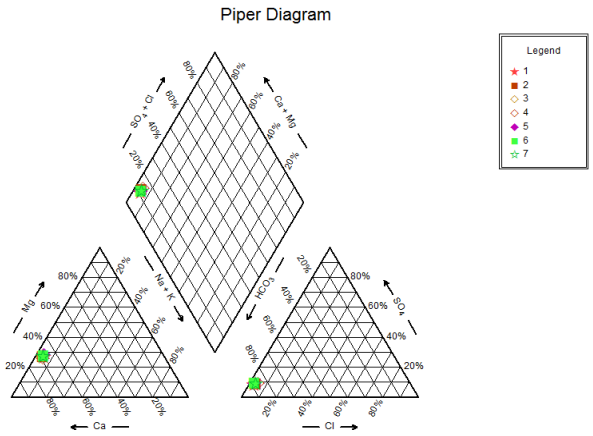


Fig. 3.Piper diagram of Vorsakhuran spring water samples

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]

Schuler diagram

Monets in Schuler's diagram indicate the same origin for all samples taken from the spring in different seasons.

Conclusion

The results of this research showed that bare rocks, relatively deep karsts, dissolution holes and karst springs are the most important and frequent karst effects in the study area. The dominant flow system in the aquifer feeding Vorskharan spring is channel-flow type. The annual feeding volume in the specified catchment area was estimated to be about 19.2 million cubic meters. The maximum water flow of the spring is observed at the end of June, while most of the rains in the region occur at the end of February and May. The slope of the subsidence curve of the spring was estimated to be about 0.003, which can be due to the elongation of the catchment basin, the presence of formations with low permeability (Delichai Formation) in the aquifer, and the remaining snow at the end of the catchment basin for a long time. Based on the results obtained from the drawing of hydrochemical diagrams, the hydrogeochemical type and facies of Kalisk Bicarbonate Spring was determined and general investigations show that the spring water has favorable conditions for drinking and agriculture.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.4.1019591]