

هیدروژئولوژی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی آبخوان‌های سازند سخت (مطالعه موردی: حوضه آلمان، مریوان)

عبدالرضا واعظی هیر^{۱*}، مهری تبرمایه^۲، طاهره محمدزاده^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳

- ۱- دانشیار هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
 - ۲- دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه شیراز
 - ۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
- * مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: r.vaezi@tabrizu.ac.ir

چکیده

گسترش سازندهای ماسه سنگی و آذرین باعث تشکیل سفره‌های سازند سخت در حوضه آلمان واقع در جنوب غرب شهرستان مریوان شده است که به‌طور وسیع برای مصرف شرب در روستاهای منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف از این مطالعه بررسی و شناخت منابع آب زیرزمینی، وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های سازند سخت، ارتباط تراکم شکستگی‌ها و الگوی آبراهه‌ها و بررسی وضعیت هیدروشیمی آب زیرزمینی به‌خصوص کیفیت آن برای شرب می‌باشد. Fv بر اساس نتایج سازندهای سخت و آبرفت به ترتیب ۸۰/۲۲ و ۱۹/۷۶ درصد از محدوده مطالعاتی را به خود اختصاص داده‌اند که ۷۶ درصد آبدهی کل چشمه‌های محدوده مطالعاتی از سازند سخت می‌باشد. بیشترین میانگین دبی مربوط به سنگ‌های گابرو تا دیوریت و کمترین آن مربوط به آبخوان‌های آبرفتی می‌باشد (به ترتیب ۰/۵-۰/۸ لیتر بر ثانیه). با ارزیابی دبی ویژه سازندهای سخت مشاهده شد سنگ‌های الترابازیک با دبی ویژه ۲/۲۸ لیتر بر ثانیه بر کیلومتر مربع غنی‌ترین و سنگ‌های گابرو تا دیوریت با دبی ویژه ۰/۸۶ لیتر بر ثانیه بر کیلومتر مربع فقیرترین آبخوان را از نظر ذخیره و آبدهی دارند. در بخش‌های شمال شرقی و جنوب غربی تراکم شکستگی‌ها بیشتر بوده و محل ظهور چشمه‌ها نیز با فراوانی شکستگی‌های منطقه همخوانی دارد. براساس نتایج نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها مشخص گردید که آب‌های زیرزمینی منطقه تیپ کلروره - سدیک - منیزیک داشته و مقادیر EC، سدیم و میزان کلر در آب‌های زیرزمینی از شرق به غرب افزایش می‌یابد. مقدار شاخص GQI بین ۹۰-۹۲ درصد تغییر می‌کند که نشان دهنده کیفیت خوب آب زیرزمینی منطقه بوده و نتایج حاصل از دیاگرام شولر را تایید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: حوضه آلمان، سازند سخت، هیدروشیمی، هیدروژئولوژیکی، GQI

Quantitative and Qualitative Hydrogeological Study of Groundwater Resources in Fractured Rocks Aquifers (Almaneh Basin, Marivan)

A Vaezihir^{1*}, M Tabarmayeh², T Mohammadzadeh³

Received: August 24, 2020 Accepted: June 4, 2021

1 Assoc. Prof. of Hydrogeology, Dept. of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz

2 Ph.D candidate of Hydrogeology, Dept. of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, Shiraz University

3 M.Sc Grad. of Hydrogeology, Dept. of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz

*Corresponding Author, E-mail: r.vaezi@tabrizu.ac.ir

Abstract

Sandstone and igneous units have formed fractured rocks aquifers in Almaneh basin at south-west of Marivan city in western Iran. The aim of this research is to evaluate groundwater from quality and quantity viewpoints. Fractured rock and alluvial deposition have occupied 80.2% and 19.8% of the study area, respectively. After determination of fractured aquifers, relationship between fracture density and streams pattern were investigated. About 76% of total discharge of the springs is draining from fractured rocks and the highest value of mean discharge belongs to gabbro and diorite rocks and the lower value is for alluvial aquifers (with a value of 0.5 and 0.8 L s⁻¹, respectively). Specific discharge of the ultrabasic rocks was estimated as 2.28 L s⁻¹ km⁻² as the richest aquifer of the area and gabbro to dioritic rocks with 0.86 L s⁻¹ km⁻² value is the poor units from water resources viewpoint. In the northeast and southwest parts of the area, the fracture density is high that coincide with the location of the springs showing the role of tectonics at aquifers recharge. In order to evaluate the hydrochemical characteristics of groundwater, some samples were collected and analyzed. It was revealed that the type of waters is chloric and sodic-magnesian with an ascending trend of EC, Na and Cl concentration from east to west. GQI index values varies from 90 to 92 means that the water quality is located at the excellent range confirming the results of Scholler diagram.

Keywords: Allmaneh basin, Fractured rocks, GQI, Hydrochemistry, Specific discharge.

مقدمه

کارستی است با این تفاوت که فرآیند کارست پدیده دینامیکی است (بی نام ۲۰۱۰). سازندهای سخت به علت وجود درزه، شکاف و شکستگی تا حدود زیادی ناهمگن و ناهمسو هستند و مقدار ذخیره و آبدی آنها به میزان هوازگی و سیستم اتصال درونی شکستگیها بستگی دارد. در طول دهه اخیر با افزایش استخراج آب زیرزمینی از سفره‌های آبرفتی و کاهش ذخیره آب زیرزمینی در آنها، منابع آب‌های موجود در سازندهای سخت مورد توجه قرار گرفته و مطالعه بر روی آنها به‌طور چشمگیری دنبال می‌گردد. آبخوان‌های موجود در سازندهای سخت عموماً به خاطر وجود جریان‌های کانالی مستعد آلودگی با آلاینده‌های مختلف محیطی هستند.

کلیه سازندهایی که تحت تاثیر فرآیندهای مختلف بجز فرآیند انحلال پذیری حاوی درز و شکاف شده و شرایط تشکیل آبخوان را فراهم می‌آورند، سازند سخت نامیده می‌شود. نظر به این که سازندهای سخت از نظر هیدروژئولوژیکی دارای تخلخل اولیه بسیار ناچیزی هستند در اثر عواملی نظیر تکتونیک، هوازگی و خروج گازها دارای تخلخل ثانویه مناسب برای تشکیل آبخوان می‌شوند این آبخوان‌ها ریخت شناسی خاصی ندارند. ابعاد هندسی این آبخوان‌ها نسبتاً ثابت و در طول زمان توسعه چندانی نمی‌یابند. خصوصیات هیدروژئولوژیکی این آبخوان‌ها شبیه آبخوان‌های

1- Hard rock aquifers

منظور بایکر و همکاران (۲۰۰۷) شاخص کیفیت آب زیرزمینی^۵ (GQI) را معرفی کرده و در آبخوان ناسونو^۶، در کشور ژاپن بکار گرفته‌اند. در این شاخص بر پایه نرم افزار GIS^۷، چندین پارامتر موثر در کیفیت آب زیرزمینی (یون‌های اصلی) با یکدیگر تلفیق می‌شوند. جودوی (۲۰۱۰) در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت ایزه - پیون واقع در شرق استان خوزستان روش GQI را به کار برده است. نتایج برآورد این مدل مقدار شاخص ۹۲ تا ۹۴ درصد را نشان می‌دهد که این مقدار کیفیت مناسب و عالی آب زیرزمینی را بیان می‌دارد همچنین در این مطالعه جهت بررسی صحت نتایج روش GQI، آن را با روش‌های دیگر مانند دیاگرام شولر مقایسه کرده‌اند که براساس نمودار شولر آب زیرزمینی در رده مناسب و قابل قبول قرار می‌گیرد.

کرم پور (۲۰۰۰) در پژوهشی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی منابع آب در سازندهای سخت شیر کوه یزد را مورد مطالعه قرار داده و بر اساس نتایج، حاصل هوازنگی سنگ و کانی-های موجود در منطقه را اصلی‌ترین پدیده موثر بر شیمی آب معرفی کرده است. محمد زاده و همکاران (۲۰۱۴) در مقاله‌ای با عنوان بررسی هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی سازند سخت حوضه صائین استان اردبیل به این نتیجه رسیدند که آب‌های زیرزمینی منطقه با تیپ بی کربناته کلسیک و بی کربناته منیزیک منشاء تقریباً یکسان دارند. با بررسی نسبت‌های یونی، نمودار گیبس و اندیس اشباع منشا یون‌ها مشخص کردند که یون‌های موجود در آب‌های منطقه حاصل هوازنگی سنگ‌ها و تبادل یونی بوده و تکتونیک و دگرسانی سنگ‌های بدنه آبخوان بیش‌ترین نقش را در تعیین خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آبخوان منطقه داشته است.

به دلیل ویژگی‌های ذاتی سازندهای سخت، در مناطقی که توانایی ایجاد آبخوان را می‌یابند، تا حدودی هیدروشیمی این آبخوان‌ها را تحت تاثیر مواد قابل حل خود قرار می‌دهند (جوین و همکاران ۱۹۹۷، آیوپا و همکاران ۲۰۰۰). به‌طور کلی آب موجود در آبخوان‌های سازند سخت، به علت دارا بودن مقادیر کم املاح، کیفیت مطلوبی جهت استفاده‌های مختلف دارا می‌باشند (محمدزاده ۲۰۱۴). جهت مطالعه آب زیرزمینی در سازندهای سخت، چشمه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند و به عقیده کرسیک^۱ و استوانویچ^۲ مستقیماً خصوصیات درونی آبخوان را منعکس می‌سازند (کرسیک و استوانویچ ۲۰۱۰).

آب قابل شرب سالم بایستی دارای شاخص‌های کیفی متعددی مانند خواص فیزیکی و شیمیایی باشد. یکی از این شاخص‌ها، مقدار غلظت یون‌های اصلی در آب می‌باشد. حد مجاز غلظت این یون‌ها در آب آشامیدنی توسط سازمان بهداشت جهانی^۳ (WHO) مشخص گردیده است (بی نام ۲۰۱۱). مهم‌ترین آنیون-های موجود در آب، کلرید، سولفات و بی‌کربنات بوده که براساس میزان این آنیون‌ها، آب‌ها به تیپ‌های کلروره، سولفات و بیکربناته تقسیم می‌شوند. هر یک از تیپ‌های آب با توجه به میزان کاتیون‌های آن که غالباً شامل سدیم، کلسیم و منیزیم است، دارای رخساره‌های مختلف سدیک، کلسیک و منیزیک خواهد بود. از روش-های متداول ارزیابی کیفی آب برای مصارف شرب دیاگرام شولر^۴ می‌باشد. دیاگرام شولر امکان بررسی آب را در یک نقطه خاص از منطقه مورد نظر ارائه می‌دهد حال آن‌که در صورت وجود روشی که کیفیت آب از لحاظ شرب را به‌صورت مکانی و با در نظر گرفتن غلظت همه‌ی یون‌های اصلی در کل سطح منطقه بدست دهد نتایج و استنباط بهتری را به همراه دارد. به این

1 -Kresic

2 -Stevanivic

3 - World Health Organization

4 - Schoeller diagram

5 - Groundwater Quality Index

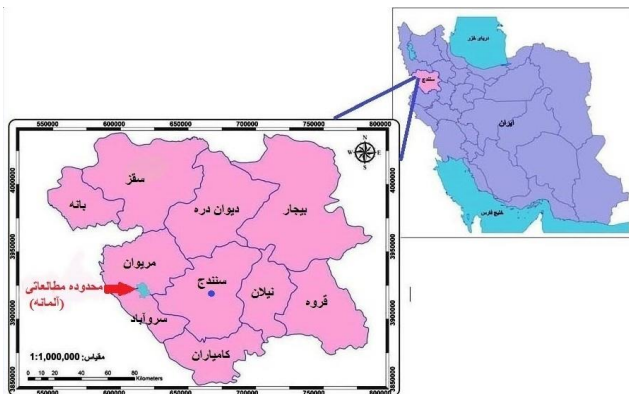
6 -Nasuno

7 -Geographic information system

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی آلمان با وسعتی معادل ۹۴۷۸ هکتار در جنوب غرب شهرستان مریوان واقع شده است (شکل ۱). این محدوده بخشی از حوضه آبخیز رودخانه چموگردلان می‌باشد. محدوده مطالعاتی آلمان براساس روش آمبرژه دارای آب و هوای نیمه مرطوب سرد بوده و بارش سالانه آن در حدود ۸۵۱/۷ میلی‌متر می‌باشد و از طرف دیگر میزان سالانه تبخیر نیز در



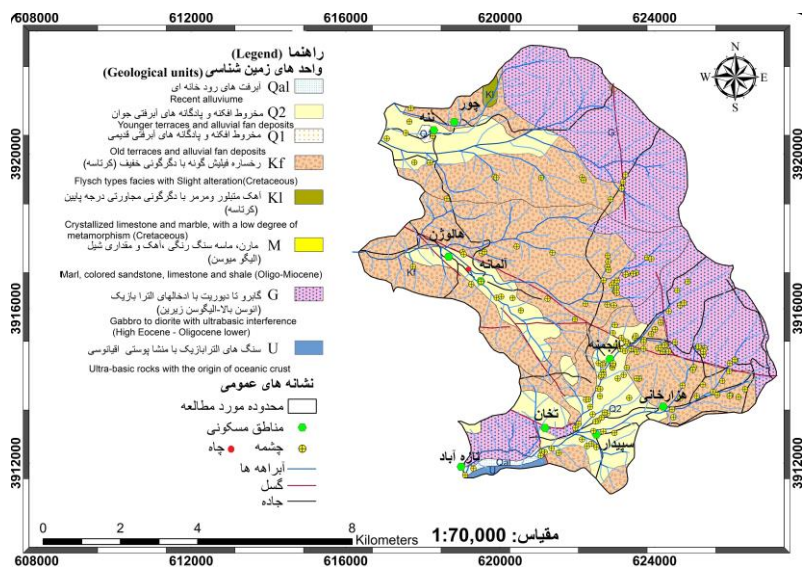
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

منطقه نسبتاً پایین و در حدود ۱۳۹۰ میلی‌متر می‌باشد. ماکزیمم و حداقل ارتفاع محدوده مطالعاتی به ترتیب ۲۹۰۲ و ۱۱۷۱ متر از سطح دریاست. به دلیل قرار گرفتن محدوده مطالعاتی آلمان در دو زون ساختاری سنندج-سیرجان و زاگرس شمالی، چینه شناسی منطقه، اختصاصات هر دو زون را دارا می‌باشد. روند کلی گسل‌های موجود در محدوده مطالعاتی شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد. گسل‌های این منطقه به شدت تحت تاثیر عملکرد ناشی از گسل جوان زاگرس می‌باشد. بخش عمده‌ای از محدوده مورد مطالعه مربوط به سنگ‌های دگرگونی درجه پایین و توده‌های نفوذی بازیک است که از اختصاصات بخش شمال غربی زون سنندج-سیرجان می‌باشد و بخشی از محدوده مطالعاتی که در زون زاگرس قرار گرفته است شامل رسوبات فیلیشی است که به موازات روند عمومی

آقائی (۲۰۱۱) در پژوهشی جهت بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی پالنگان، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب چشمه‌ها را مورد مطالعه قرار داد و به این نتیجه رسید که بالا بودن ضرایب تغییرات پارامترهای مورد مطالعه نظیر دبی، دما و هدایت الکتریکی، بیانگر مجرائی بودن سیستم توسعه کارست می‌باشد. زروش و همکاران (۲۰۱۴) برای بدست آوردن خصوصیات هیدرودینامیکی و هیدروژئولوژیکی آبخوان زهکشی شده توسط چشمه‌های سراب و سیاه گاو آبدانان استان (ایلام) از داده‌های سری زمانی دبی تخلیه چشمه، خصوصیات هیدروگراف چشمه و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن‌ها استفاده کردند و بر اساس نتایج حاصل از تحلیل هیدروگراف و تغییرات هدایت الکتریکی آب چشمه‌ها، درجه کارست شدگی و نوع جریان آب زیرزمینی در محدوده حوضه آبخیز چشمه‌ها تعیین گردید. در مورد آبخوان‌های سازند سخت تحقیقات متعددی در نقاط مختلف دنیا صورت گرفته است ولی مطالعاتی که به صورت جامع هیدروژئولوژی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی را در کنار هم مورد بررسی قرار دهند بسیار معدود می‌باشد. از این رو در این پژوهش سعی شد افزون بر بررسی هم زمان پارامترهای کمی و کیفی، به منظور مطالعه دقیق تر هر پارامتر، روش‌های مورد استفاده در پژوهش‌های مختلف جمع آوری شده و مورد بررسی قرار گیرد. از این رو هدف از انجام این پژوهش، تشخیص نوع آبخوان، نوع تخلخل، خصوصیات و هیدرووشیمی آبخوان سازند سخت می‌باشد همچنین برای تعیین خصوصیات آبخوان‌های منطقه، ویژگی‌های چشمه‌های منطقه مورد بررسی قرار گرفت تا در نهایت یک تصویر جامع و کامل از آبخوان‌های سازند سخت منطقه ارائه شود.

گابرویدیوریت های ائوسن- الیگوسن (G) و پادگانه های آبرفتی جوان و قدیمی (Q_{1,2}) از دیگر واحدهای مهم منطقه می باشند (شکل ۲).

زاگرس تشکیل شده اند. بیشترین مساحت محدوده را واحدهای فیلیشی کرتاسه در بر گرفته است که در برخی مناطق در اثر مجاورت با توده نفوذی گابرویدیوریتی اندکی دگرگون شده است.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه.

تفکیک ۱۵ متر و همچنین نقشه زمین شناسی و عکس- های هوایی منطقه استفاده گردید و نقشه های حاصل در محیط نرم افزاری Arc GIS با استفاده از دو معیار رتبه بندی بر اساس روش Density و روش سینگال^۲ و گوپتا^۳ (سینگال و گوپتا ۱۹۹۹) تهیه شد و تراکم بندی گردید و الگوی زهکشی با استفاده از DEM^۴ محدوده مورد مطالعه و نرم افزار River tools استخراج شد. جهت ارزیابی پارامترهای آبدی و آبدی میانگین و آبدی ویژه به منظور تعیین نفوذپذیری سازندها و منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی آلمان، موقعیت و اطلاعات آبدی چشمه ها مربوط به سال آماری ۱۳۸۹ از شرکت آب منطقه ای استان کردستان اخذ گردید. در مرحله جمع آوری داده های شیمیایی آبخوان های محدوده مطالعاتی آلمان به دلیل این که زمان داده-

در محدوده مورد مطالعه هیچ گونه آزمایش پمپاژ بر روی چاه های بهره برداری صورت نگرفته است و یا دست کم اطلاعات آن ها در دسترس نیست. به همین دلیل بیان دقیق پارامترهای هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره سفره های منطقه ممکن نمی باشد. بنابراین به منظور بررسی و مقایسه ضرایب هیدرودینامیک آبخوان های حوضه و تراوایی واحدهای مختلف آن اعم از سازند سخت و آبرفت از اطلاعات مربوط به گزارش خاک شناسی (بی نام ۲۰۰۷) و جدول تعیین ضرایب نفوذپذیری تاد (تاد و میز ۲۰۰۵) استفاده شد. جهت بررسی تراکم شکستگی ها که مهم ترین عامل تراوایی سازندهای سخت بوده و نقش مهمی را در آبدی چشمه ها ایفا می نمایند از باند ۸ تصویر ماهواره ای حاصل از سنجه OLI^۱، ماهواره لندست ۸ با قدرت

2- Singhal
3- Gupta
4 - Digital Elevation Model

1 -Operational Land Imager

به ترتیب تهیه نقشه‌های رستری، نقشه‌های هم‌مقیاس، نقشه‌های رتبه‌بندی، نقشه GQI انجام می‌گردد که در این تحقیق نقشه‌های مذکور تهیه شده و براساس معیارهای استاندارد WHO مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

از نظر هیدروژئولوژی دو نوع سفره آب زیرزمینی در این منطقه وجود دارد سفره‌های آبرفتی و سفره‌های سازند سخت^۱ (شکل ۳). سفره‌های با بدنه آبرفتی که عمدتاً در بخش غربی و مرکزی منطقه وجود دارند، سفره‌های عادی هستند که در بیشتر مناطق توسعه دارند. این آبخوان‌ها در آبرفت‌های جوان و کم ضخامت این منطقه تشکیل شده‌اند و ارتباط هیدروژئولوژیکی آن‌ها از طریق همین آبرفت‌ها و آبرفت‌های جوان کف آبراه‌ها برقرار است. در سفره-های آبرفتی به دلیل مدل تخلخل اولیه و جریان افشانی^۲ که بر آن‌ها حاکم است ممکن است

پراکندگی چشمه‌ها زیاد ولی دبی آن‌ها کم باشد (سینگال و گوپتا ۲۰۱۰). همچنین زمان تأخیر بین بارش و افزایش بده در این چشمه‌ها، از چشمه‌های سازند سخت بیشتر است به عبارت دیگر بده چشمه‌های آبرفتی نسبتاً پایدارتر از چشمه‌های سازند سخت است. همان‌طور که ذکر گردید به دلیل بارش زیاد و عمق کم سطح ایستابی و توپوگرافی بسیار ناهموار منطقه، چشمه‌های آبرفتی متعددی در منطقه وجود دارد (شکل ۲). نوع دوم آبخوان‌های منطقه سفره‌های موجود در سازندهای سخت است که دارای تخلخل ثانویه از نوع یگانه و دوگانه هستند به دلیل ذخیره و آبدی نسبتاً پائین آن‌ها، کمتر از منابع آبرفتی مورد توجه واقع

برداری در فصل خشک بود و بسیاری از چشمه‌های فصلی در محدوده مورد مطالعه خشک شده بودند همواره محدودیت‌هایی در تعداد منابع آبی، چاه‌ها و چشمه‌هایی که می‌توانند در مطالعه منظور گردند، وجود داشت بنابراین در محدوده مورد مطالعه از یک چاه دستی و ۴ چشمه نمونه برداری صورت گرفت، EC نمونه‌ها بلافاصله پس از برداشت و غلظت یون‌های سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، کلر، سولفات و بی‌کربنات توسط آزمایشگاه خاک‌شناسی جهاد دانشگاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران اندازه‌گیری شد و براساس روش دیاگرام‌های هیدروشیمیایی مورد تحلیل قرار گرفت.

به منظور تعیین کیفیت آب از نظر شرب ابتدا دیاگرام شولر برای نمونه‌های موجود ترسیم گردید و برای بررسی مکانی و پهنه‌بندی کیفیت آب شرب در دشت آلمانه از شاخص GQI استفاده گردید. این شاخص ارائه دهنده روشی برای مختصرسازی شرایط کلی کیفیت آب است که می‌تواند ترکیب داده‌های آب با کیفیت‌های مختلف در دسترس را به شکلی قابل درک ارائه داده و در فهم این مسئله که آیا کیفیت کلی آب زیرزمینی خطری بالقوه برای استفاده‌های مختلف آب است یا خیر، موثر باشد. در واقع این روش به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان و نشان دادن موفقیت در حفظ و بهبود آن کمک می‌کند. شاخص کیفیت آب، پارامترهای مختلف کیفی آب را برای ارائه مقدار شاخص نهایی با هم ترکیب می‌کند که می‌تواند برای مقایسه‌های مکانی استفاده شود. در این راستا هفت پارامتر شیمیایی (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , TDS) که فراوانی زیادی در آب زیرزمینی منطقه داشته و از نظر تأثیر گذاری بر سلامت شیمیایی انسان دارای اهمیت می‌باشند، در نظر گرفته شدند. با استفاده از شاخص GQI، مقادیر عددی این پارامترها را می‌توان با استانداردهای WHO، و یا هر استاندارد موجود ارتباط داد. به منظور محاسبه شاخص GQI و تهیه نقشه نهایی، چهار مرحله اصلی

عملکرد فرآیندهای تکتونیکی و خردشدگی، تخلخل ثانویه شدیدی را متحمل شده‌اند بنابراین به خوبی قابلیت ذخیره و انتقال جریان‌های زیرزمینی را دارند. دره‌های مرطوب و دارای پوشش گیاهی در این محدوده که نشان‌دهنده زهکشی آب زیرزمینی از این سازند سخت است این مسئله را تایید می‌کند. (شکل ۴).

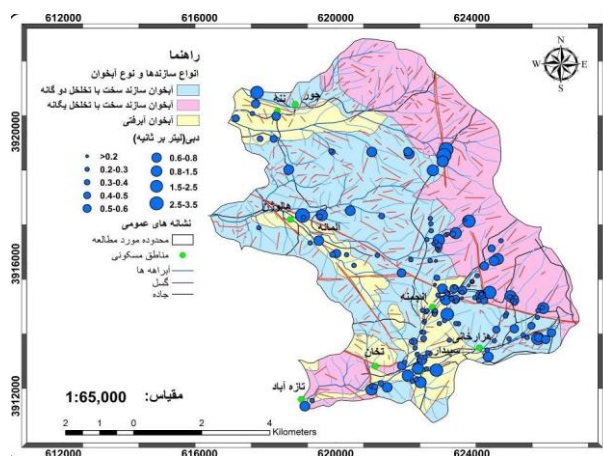
دشت‌های آبرفتی وسیع با ضخامت آبخوان زیاد، در این محدوده مطالعاتی وجود ندارد و فقط دشت‌های بین کوهستانی را می‌توان مشاهده کرد که ضخامت آبخوان و حوضه آبرگیر کوچکی دارند و آب موجود در این دشت‌ها با گرادیان هیدرولیکی بالا به صورت سطحی یا زیر سطحی آبراه‌ها و رودخانه‌ها را تغذیه می‌کنند. بهره‌برداری از آب زیرزمینی این محدوده مطالعاتی عمدتاً از طریق چشمه‌هاست که بیشتر آن‌ها از سازندهای سخت منطقه خارج می‌شوند. به طوری که ۵۳/۶ درصد چشمه‌ها مربوط به سازندهای سخت با تخلخل یگانه، ۱۶/۱ درصد چشمه‌ها مربوط به سازند-های سخت با تخلخل دوگانه و ۳۰/۳ درصد آن مربوط به آبرفت می‌باشد (شکل‌های ۳ و ۵ و جدول ۱). این چشمه‌ها آبدهی متغیری داشته و بسیاری از آن‌ها

شده‌اند ولی این نوع منابع بخش اعظمی از آب زیرزمینی منطقه را در خود جای داده است. این سفره-ها آن دسته از سنگ‌های متبلور آذرین و دگرگونی هستند که دارای درز و شکاف و تخلخل و نفوذپذیری ثانویه بوده و قابلیت ذخیره و انتقال آب را دارند. سیستم جریان در این سازندها بیشتر مجرای^۱ می‌باشد به همین دلیل تعداد چشمه‌های موجود در این سفره‌ها کم ولی بده آن‌ها نسبتاً زیاد می‌باشد.

سازندهای سخت محدوده مطالعاتی شامل واحد گابرودیوریتی (G)، عمدتاً با تخلخل ثانویه از نوع یگانه و فیلیش‌های کرتاسه (Kf) با تخلخل ثانویه از نوع دوگانه می‌باشد که در حالت کلی نقش فیلیش‌های کرتاسه در تشکیل آبخوان‌های سازند سخت به دلیل میزان ضریب ذخیره از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد که نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه و موقعیت چشمه‌ها این موضوع را تایید می‌کند (شکل ۲). با توجه به این که کیفیت هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های سازند سخت به میزان گسترش تخلخل ثانویه (به صورت درز و شکاف و انحلال) بستگی دارد و از آنجا که سازندهای سخت محدوده مورد مطالعه، به دلیل



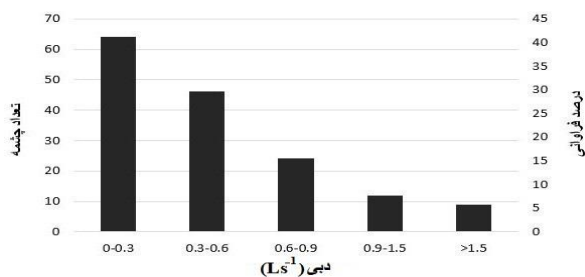
شکل ۴- واحد گابرو دیوریتی به عنوان سازند سخت در جنوب محدوده مطالعاتی در روستای انجمنه (دید به شمال شرق).



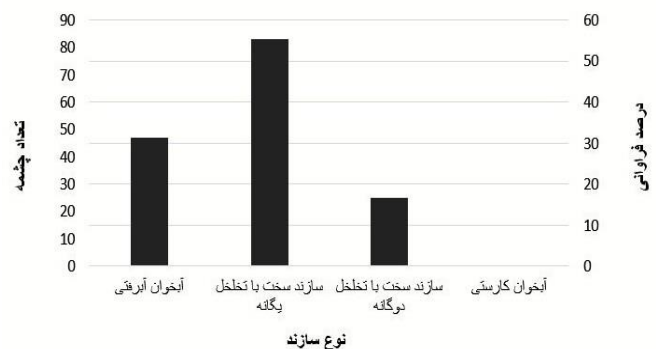
شکل ۳- آبخوان‌های منطقه به تفکیک نوع تخلخل و موقعیت و دبی چشمه های منطقه.

سخت در حدود ۰/۷ لیتر در ثانیه و در آبرفت حدود ۰/۴۵ لیتر در ثانیه می‌باشد که کم بودن میانگین دبی می‌تواند از توسعه ضعیف سیستم درزو شکاف‌دار و یا غالب بودن سیستم افشان منطقه حکایت داشته باشد و بالعکس افزایش میانگین دبی نیز نماینده توسعه شکستگی‌ها و غالب بودن سیستم درز و شکاف‌دار می‌باشد.

به‌منظور مطالعه چشمه‌های محدوده مطالعاتی موقعیت کل چشمه‌ها براساس مقدار دبی آن‌ها بر روی نقشه منتقل گردیده و مناطقی که بیشتر چشمه‌ها قرارگرفته‌اند تعیین شد (شکل های ۳ و ۵). با بررسی شکل ۳ و رسم نمودار میله‌ای دبی چشمه‌ها در شکل ۶ مشخص گردید که بیش از ۵۰ درصد چشمه‌ها دبی پایین تر از ۰/۴ لیتر در ثانیه دارند و چشمه‌هایی با دبی بالاتر اکثرا در محدوده سازندهای سخت با تخلخل یگانه و دوگانه قرار گرفته‌اند. ولی در حالت کلی میانگین دبی در سازندهای



شکل ۶- نمودار تعداد و درصد فراوانی چشمه‌های منطقه برای دبی‌های مختلف.



شکل ۵- نمودار فراوانی تعداد چشمه‌های تخلیه کننده آبخوان-های مختلف منطقه.

جدول ۱- آبدهی و تخلیه ویژه در واحدهای مختلف زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی.

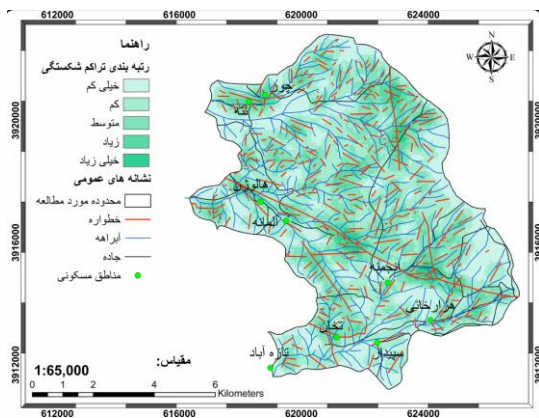
ردیف	نوع واحدهای زمین شناسی	مساحت (km ²)	درصد	تعداد چشمه	تخلیه ویژه (m ³ y ⁻¹)	میانگین آبدهی (L s ⁻¹)	آبدهی (L s ⁻¹)	آبدهی ویژه* (L s ⁻¹ km ⁻²)	تخلیه ویژه (m ³ y ⁻¹ km ⁻²)
۱	آبرفت (Q)	۱۳/۹	۱۹/۸	۴۷	۵۹۷۹۲۲/۶	۰/۵	۲۱/۹	۱/۵	۴۳۱۴۳
۲	رخساره فیلیش گونه با دگرگونی خفیف (Kf)	۳۲/۵	۴۶/۳	۸۳	۱۲۵۷۳۷۹/۲	۰/۶	۴۶/۹	۱/۴	۳۸۷۲۵
۳	آهک متبلور و مرمر با دگرگونی مجاورتی درجه پایین (KI)	۰/۳	۰/۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	مارن ، ماسه سنگ رنگی، آهک و مقداری شیل (M)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵	گابرو تا دیوریت با ادخال‌های الترابازیک (G)	۲۳/۳	۳۳/۲	۲۴	۵۱۵۶۱۳/۶	۰/۸	۱۹/۲	۰/۸	۲۲۱۶۴
۶	سنگ‌های الترابازیک با منشا پوسته اقیانوسی (U)	۰/۳	۰/۴	۱	۲۲۰۷۵/۰	۰/۷	۰/۷	۲/۳	۷۷۳۰۲
	مجموع	۷۰/۱	۱۰۰	۱۵۵	۲۳۹۲۹۹۰/۴	۲/۵	۸۷/۵	۶/۱	۱۸۱۳۳۳

*آبدهی ویژه عبارت از میزان آبدهی هر سازند تقسیم بر مساحت آن سازند می‌باشد.

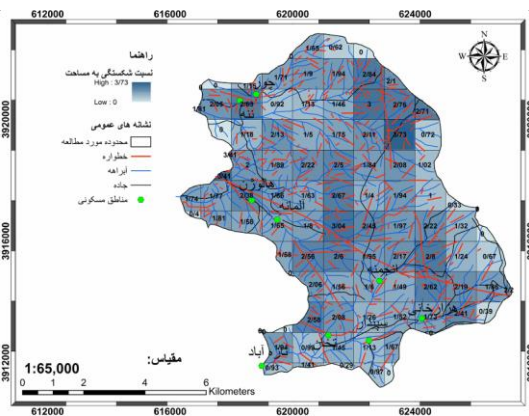
Sand، ۲۵ درصد Silt و ۱۵ درصد Clay می‌باشد. بنابراین براساس جدول و متوسط وزنی مقادیر K، مقدار متوسط هدایت هیدرولیکی در واحد Qt که آبخوان آبرفتی اصلی محدوده مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد برابر

$10^{-6} \times 5$ متر در ثانیه یا 0.4 متر بر روز که مقدار منطقی برای این آبخوان ها می‌باشد. براساس چگالی شکستگی‌های منطقه، در بخش‌های شمال شرقی و جنوب غربی تراکم شکستگی‌ها بیشتر است (شکل‌های ۷ و ۸)، این بخش‌ها دارای نفوذپذیری و قدرت انتقال بیش‌تری در منطقه می‌باشند و به‌عنوان مهم‌ترین مناطق تغذیه چشمه نیز محسوب می‌شوند همچنین محل ظهور چشمه‌ها نیز با فراوانی شکستگی‌های منطقه انطباق نزدیکی نشان می‌دهد که اکثر چشمه‌ها در نقطه با بیش‌ترین فراوانی شکستگی ایجاد شده‌اند (شکل‌های ۷ و ۸). تراکم زهکشی، نماینده نسبت طول کل کانال‌های حوضه آبریز به مساحت حوضه است که ارتباط نزدیکی با جنس سنگ‌ها و ساختمان زمین دارد. به‌طور کلی مقادیر پایین تراکم زهکشی در مناطق دارای مواد نفوذپذیر، دارای پوشش گیاهی زیاد بوده و در مناطقی که برجستگی کم است دیده می‌شود، اما مقادیر بالای آن بیانگر این است که منطقه دارای مواد نفوذناپذیر، پوشش گیاهی اندک و پستی و بلندی زیاد است. با استفاده از تراکم زهکشی می‌توان به یک اندازه‌گیری کمی از تشریح منظر زمینی و پتانسیل رواناب رسید (علیزاده ۲۰۰۳). در محدوده مورد مطالعه در تراکم زهکشی‌ها، سنگ‌شناسی و جنس سازندها که عموماً سنگ‌های گابرو و دیوریت و سنگ‌های دگرگون شده با نفوذپذیری پایین هستند، مؤثر بوده است (شکل ۹).

نکته قابل توجه این است که چشمه‌هایی که دارای دبی بالاتری هستند اکثراً در امتداد شکستگی‌های اصلی منطقه قرار گرفته‌اند به‌طوری که از ۱۵۵ دهنه چشمه، ۷۲ دهنه (۴۷٪) در فاصله ۵۰ متری و ۱۲۳ دهنه چشمه (۸۰٪) در فاصله‌ی ۱۰۰ متری از گسل و خطواره‌های موجود در محدوده مطالعاتی قرار گرفته‌اند. بنابراین با توجه به شرایط زمین شناسی و تکتونیکی منطقه می‌توان گفت حدود ۸۰ درصد چشمه‌ها تحت تاثیر درز و شکستگی‌های تکتونیکی تشکیل شده‌اند. با توجه به این که حوضه آبرگیر چشمه‌هایی که در محل کنتاکت سازند سخت با آبرفت‌ها قرار دارند، از سازند سخت تامین می‌شود با در نظر گرفتن این چشمه‌ها به‌عنوان چشمه‌های سازند سخت، تعداد ۸۳ دهنه آن از واحد رخساره فیلیش گونه (سازندهای با تخلخل دوگانه)، ۴۷ دهنه از آبرفت و ۲۵ دهنه از سنگ‌های گابرو تا دیوریت و سنگ‌های الترابازیک با منشا پوسته اقیانوسی (سازندهای با تخلخل یگانه) خارج می‌شوند، به‌طوری‌که مقدار آبدی ویژه (کل آبدی هر سازند تقسیم بر مساحت آن سازند) کل واحدهای زمین شناسی منطقه ۱۸۱۳۰۰ مترمکعب در سال بر کیلومترمربع می‌باشد که سهم سازندهای سخت محدوده مطالعاتی ۱۳۸۱۹۰ متر مکعب می‌باشد. به‌عبارت دیگر ۷۶٪ آبدی چشمه‌های محدوده مطالعاتی مربوط به چشمه‌های سازند سخت است (جدول ۱). براساس نتایج حاصل از بررسی و مقایسه هدایت هیدرولیکی و تراوایی واحدهای مختلف محدوده اعم از سازند سخت و آبرفت، واحد گابرو دیوریتی شرق محدوده، هدایت هیدرولیکی در حدود 10^{-8} تا 10^{-3} متر بر ثانیه خواهند داشت و برای واحد فیلیشی Kf که مجموعی از سنگ‌های شیلی و ماسه سنگی است مقدار این پارامتر هیدرولیکی 10^{-12} تا 10^{-6} خواهد بود. براساس مطالعات خاک‌شناسی (گزارش خاک‌شناسی حوضه آلمان ۱۳۸۶)، آبرفت‌های جوان منطقه ترکیب لوم ماسه‌ای (Sandy loam) دارند که به‌طور متوسط شامل ۶۰ درصد



شکل ۷- پراکنندگی و تراکم شکستگی‌ها در محدوده مورد مطالعه بر اساس روش Density.

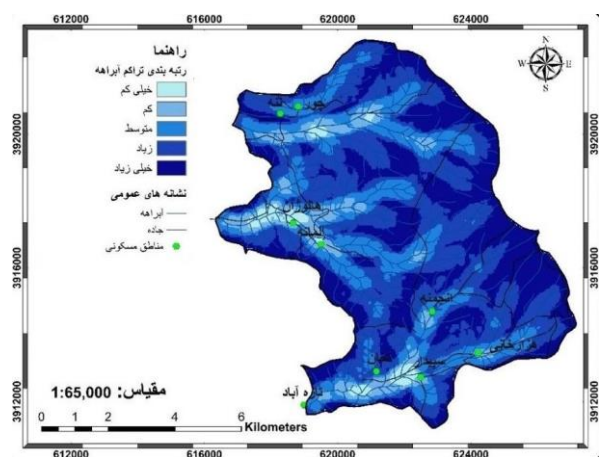


شکل ۸- شکستگی و تراکم شکستگی در محدوده مورد مطالعه بر اساس روش سینگال و گوپتا (۱۹۹۹).

می‌یابد که این تغییرات EC، به شرط آنکه اختلاطی بین آب‌های زیرزمینی دو یا چند حوضه مختلف صورت نگیرد، جهت جریان آب زیرزمینی را تایید می‌کند که همواره در جهت افزایش شوری است. در محدوده مطالعاتی همان‌طور که انتظار می‌رفت تغییرات Na همانند تغییرات EC، یک روند کلی افزایش از شرق به غرب دارد که تغییرات جهت جریان عمومی آب را تایید می‌کند. وجود واحدهای آذرین و دگرگونی در محدوده مطالعاتی که حلالیت کمی در آب دارند باعث شده است که مقدار Na منابع آب زیرزمینی بسیار پایین باشد. براساس شکل ۱۰ میزان یون کلر نیز از شرق محدوده به طرف غرب آن روند افزایشی نشان می‌دهد. با توجه به مطالب فوق منشأ اصلی کلر، واحدهای شیلی

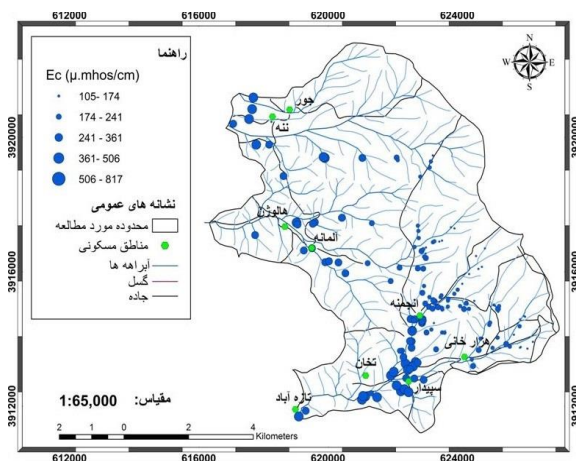
به‌طور کلی در محدوده مطالعاتی هدایت الکتریکی از شرق محدوده به طرف غرب آن روند افزایشی از خود نشان می‌دهد (شکل‌های ۱۰ و ۱۱) به‌طوری که مقدار این پارامتر در چشمه‌های محدوده مطالعاتی از ۱۰۵ تا ۸۱۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌رسد. محدوده حوضه آبخیز چشمه‌ها و چاه مذکور همگی در دو واحد لیتولوژیک G و Kf و واحدهای آبرفتی قرار گرفته است (شکل ۲). واحد فیلیشی Kf هر چند دارای بخش شیلی است که می‌تواند باعث افزایش شوری آب زیرزمینی گردد ولی دگرگونی ضعیف این واحد باعث افزایش مقاومت کانی‌های آن در برابر انحلال شده است. از طرف دیگر واحد گابرویدیوریتی G نیز به‌عنوان یک سازند سخت نه تنها هیچ اثر منفی بر کیفیت آب زیرزمینی ندارد بلکه باعث غنای این آب‌ها از نظر یون‌ها و عناصر می‌شوند که وجود آن‌ها در آب شرب لازم است. با توجه به مطالب فوق در محدوده مطالعاتی شوری (EC) آب‌های زیرزمینی بسیار پایین بوده و از این نظر کیفیتی در حد آب معدنی دارند. در منابع انتخابی میزان EC چشمه هزارخانی در شرق محدوده ۲۵۲ میکروزیمنس بر سانتیمتر است. مقدار این پارامتر در چاه روستای آلمان به شدت افزایش می‌یابد

که احتمالاً این افزایش شوری به فاضلاب‌های روستایی مربوط می‌شود، چون این چاه در مرکز روستا واقع شده است. نکته قابل توجه دیگر این است که با نزدیک شدن به محل خروجی، مقدار هدایت الکتریکی افزایش



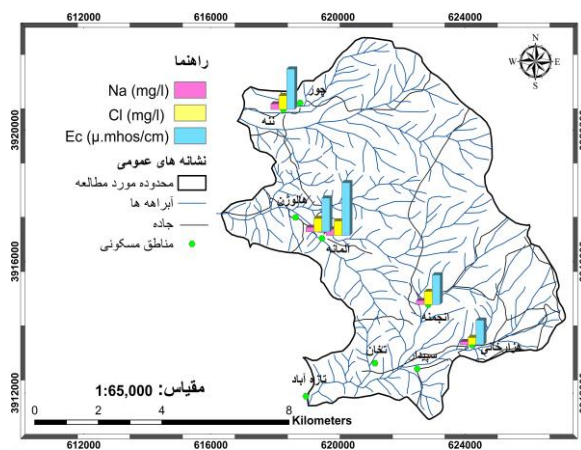
شکل ۹- تراکم آبراهه در منطقه مورد مطالعه.

همچنین ملاحظه می‌شود که مقدار یون کلر در محدوده روستا به شدت افزایش یافته است و چشمه هزارخانی که از روستا فاصله دارند مقدار یون کلر کمتری دارد.



شکل ۱۱- پراکنندگی مقادیر EC محدوده مطالعاتی.

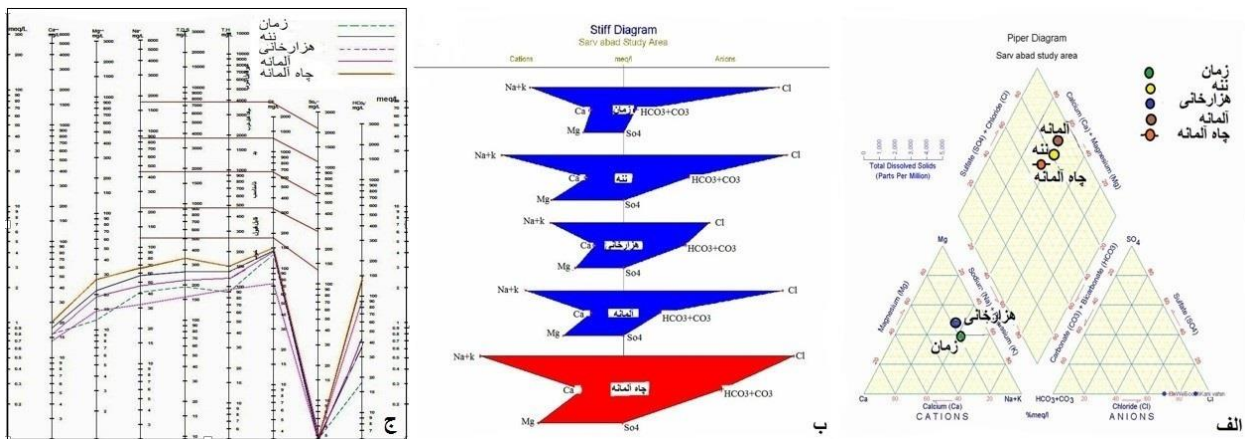
کرتاسه می‌باشد. فاضلاب روستایی که حاوی مقدار زیادی ماده ضد عفونی کننده پرکلرین است منشأ احتمالی دیگر برای منابع آب زیرزمینی منطقه است.



شکل ۱۰- پراکنندگی مقادیر Na, EC و کلر چشمه‌های انتخابی.

در این منطقه رخنمون ندارند. یکی از دلایل کم بودن کربنات می‌تواند مربوط به حلالیت کم کربنات کلسیم موجود در آهک‌های منطقه باشد که تحت تأثیر دگرگونی خفیف قرار گرفته‌اند. از طرف دیگر انحلال آهک در آب یک حد مشخصی دارد که بسیار کمتر از انحلال نمک‌هاست. کلسیم هر چند از نظر استفاده شرب و صنعتی، استفاده از آب را محدود می‌کند ولی وجود آن در خاک برای مصارف کشاورزی باعث افزایش نفوذ آب به داخل خاک و بهبود بافت فیزیکی آن می‌شود. علت غلظت زیاد منیزیم در نمونه‌ها، رخنمون واحدهای آتشفشانی و آذرین در منطقه به‌عنوان منشأ اصلی این یون می‌باشد. نمودار استیف منطقه اصلی-ترین یون آب زیرزمینی منطقه را کلر و سدیم معرفی می‌کند که از منشأ واحد فیلیشی (Kf) می‌باشد. براساس دیاگرام نیمه لگاریتمی شولر، تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی از کیفیت خوب برای شرب برخوردارند و حتی چاه آلمانه واقع در روستای آلمانه که مواد محلول و EC بیشتری نسبت به بقیه نمونه‌ها دارد نیز در محدوده کیفیت خوب قرار دارد (شکل ۱۲ ج).

با توجه به دیاگرام پایپرا، آب‌های زیرزمینی منطقه از نظر آنیون‌ها تیپ کلروره و از نظر کاتیون‌ها، تیپ سدیک- منیزیک دارند. با توجه به نمودار لوزی شکل این دیاگرام، قرار گیری همه نمونه‌های آب در مجاورت یکدیگر نشان‌دهنده تیپ و منشأ یکسان آن‌ها می‌باشد (شکل ۱۲ الف). برای مقایسه ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی از دیاگرام استیف استفاده گردید (شکل ۱۲ ب). با توجه به این دیاگرام‌ها، شکل کلی چند وجهی‌ها شبیه هم می‌باشد و این نشان‌دهنده منشأ یکسان نمونه‌ها است ولی ابعاد شکل‌ها نشان‌دهنده عدم تکامل هیدروشیمیایی آب و تفاوت در غلظت می‌باشد که این از مشخصات بارز آب‌های زیرزمینی سازند سخت می‌باشد. از طرف دیگر مشاهده می‌شود که در همه نمونه‌های آب میزان سولفات صفر می‌باشد. هیچ منشأ‌ای برای سولفات در منطقه وجود ندارد. تنها واحد مارنی M است که پایین دست مناطق نمونه‌برداری قرار گرفته است و آبرفت-های قدیمی که می‌توانند رخساره ژیبسی داشته باشند



شکل ۱۲- نمودارهای پایپر (الف) و استیف (ب) نمودار شولر (ج) برای ۱ چاه و ۴ چشمه انتخابی محدوده مطالعاتی.

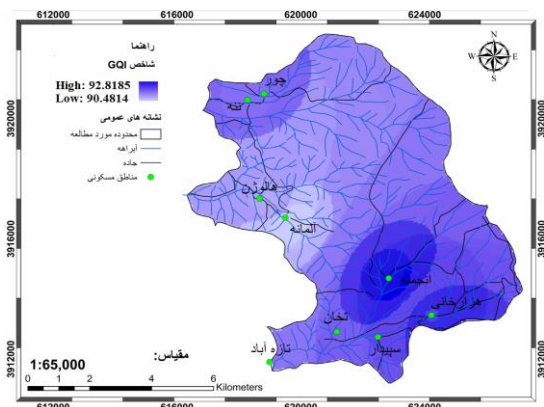
بیشترین رخنمون سازندها در اطراف محدوده مطالعاتی مربوط به واحد فیلیشی، گابرویدیوریتها و پادگانه‌های آبرفتی جوان و قدیمی می‌باشد. مهم‌ترین منبع تخلیه آب زیرزمینی منطقه چشمه است که در حدود ۷۰ درصد آن‌ها از سازندهای سخت منطقه سرچشمه می‌گیرند. با توجه به شرایط زمین شناسی و تکتونیکی منطقه حدود ۸۰ درصد چشمه‌ها تحت تاثیر درز و شکستگی‌های تکتونیکی تشکیل شده‌اند. سنگ‌های الترابازیک با دبی ویژه ۲/۳ لیتر بر ثانیه بر کیلومتر مربع بیش‌ترین تراوایی و سنگ‌های گابرو تا دیوریت با دبی ویژه ۰/۸۶ لیتر بر ثانیه بر کیلومتر مربع کم‌ترین تراوایی را دارند. در بخش‌های شمال شرقی و جنوب غربی حوضه، تراکم شکستگی‌ها بیش‌تر بوده و دارای نفوذپذیری و قابلیت انتقال بیش‌تری در منطقه می‌باشند و به‌عنوان مهم‌ترین مناطق تغذیه چشمه نیز محسوب می‌شوند و انطباق نزدیکی با محل چشمه‌ها دارند. این مناطق شامل سازندهای سخت از جنس فیلیش‌های کرتاسه با دگرگونی خفیف می‌باشند که به‌دلیل دارا بودن تخلخل ثانویه از نوع دوگانه تاثیر زیادی در توسعه آبخوان سفره‌های سازند سخت داشته است. مقادیر EC، Na و میزان Cl در آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی در نواحی چور و آلمانه از شرق به غرب و در ناحیه انجمنه از شمال شرق به

کیفیت چشمه‌های محدوده مطالعاتی به‌حدی خوب است که در صورت نداشتن آلودگی‌های بیولوژیک و داشتن آب مازاد بر حقایه می‌توان با احداث کارخانه آب معدنی اقدام به بهره‌برداری از آن‌ها نمود. در این پژوهش همچنین از شاخص GQI برای بررسی مکانی و پهنه-بندی آب شرب محدوده مطالعاتی آلمانه استفاده گردید. با توجه به محاسبات انجام شده مقدار شاخص GQI برای آب زیرزمینی حوضه آلمانه براساس استاندارد WHO بین ۹۰ تا ۹۲ درصد متغیر بوده و بیانگر این است که در مجموع آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از نظر استانداردهای آب شرب در رده کیفیت مناسب به بالا قرار می‌گیرند و نتایج حاصل از دیاگرام شولر را تایید می‌کند. نقشه شاخص GQI نشان داد که مقادیر این شاخص در قسمت‌های شمال غربی و جنوبی دشت نسبت به سایر نقاط آن بیشتر بوده و بیانگر کیفیت بهتر آب می‌باشد. (شکل ۱۳).

درمحدوده مطالعاتی آلمانه از دیدگاه جنس بدنه سفره، دو نوع آبخوان آبرفتی و سازند سخت (تخلخل یگانه و تخلخل دو گانه) وجود دارد که به ترتیب ۱۹/۷ و ۸۰/۳ درصد از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. از مجموع کل ۸۰/۳٪ از سازند سخت ۳۳/۹٪ مربوط به تخلخل یگانه و ۴۶/۳٪ مربوط به تخلخل دوگانه می‌باشد.

جنوب غرب افزایش می یابد تغییرات مقادیر یون ها به ویژه EC جهت جریان آب زیرزمینی در جهت های فوق را تأیید می کند.

آب های زیرزمینی منطقه تیپ کلروره سدیک- منیزیک دارند ولی مقدار منیزیم آن ها نسبتاً بالاست که منشاء آن می تواند سنگ های آذرین گابرو دیوریتی محدوده مورد مطالعه باشد. براساس شاخص GQI کیفیت آب زیرزمینی با دارا بودن شاخص ۹۰ تا ۹۲ برای مصرف شرب در رده کاملاً مناسب قرار می گیرد که با نتایج دیگرام شولر همخوانی دارد.



شکل ۱۳ - نقشه شاخص GQI آبخوان حوضه آلمانه.

منابع مورد استفاده

- Aghaii Z, 2011. Hydrogeological and hydrogeochemical study of Palangan karstic springs, Kurdistan, M.Sc. thesis, Shahrood University of Technology. Shahrood. (In Persian with English abstract).
- Aiuppa A, Allard P, D'Alessandro W, Michel A, Parello F, Treuil M and Valenza M, 2000. Mobility and fluxes of major, minor and trace metals during basalt weathering and groundwater transport at Mt. Etna volcano (Sicili). *Journal of Geochimica et Cosmochimica Acta* 64(27): 1827-1841.
- Alizadeh A, 2003. Principles of Applied Hydrology, 14th Ed. Pp.16-439. Imam Reza University (AS). Mashhad. (In Persian).
- Anonymous, 2007. Almaneh basin soil report. Arman Gostar Atieh Company, Department of Natural Resources and Watershed Management.
- Anonymous, 2010. Instructions and application of tracing methods in karst studies and hard rocks. Ministry of Energy, Water and Waste Water Engineering and Technical Standards. (In Persian).
- Anonymous, 2011. Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th Ed, recommendations, Pp.1-4, World Health Organization, Geneva.
- Babiker IS, Mohamed MAA and Hiyama T, 2007. Assessing groundwater quality using GIS. *Water Resources Management* 2: 699-715.
- Join JL, Coudray J and Longworth D, 1997. Using principal components analysis and Na/Cl ratio to trace groundwater circulation in a volcanic island: The example of Reunion. *Journal of Hydrology* 190:1-18.
- Judavi A, 2010. Introducing GQI index in order to assessment the quality of groundwater for drinking water purposes. 27th Earth Science Conference and 13th Iranian Geological Society, 20 February, Geological Survey of Iran, Tehran (In Persian).
- Kresic N and Stevanovic Z, 2010. *Groundwater Hydrology of Springs*. Elsevier Pub, 262p.
- Singal BBS and Gupta RP, 2010. *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*. Second Ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 205p.
- Karampour F, 2000. Study of hydrogeochemistry and hydrogeology of hard rocks, Shir- Kuh, Yazd. M.Sc. Thesis, Shiraz University, Shiraz. (In Persian with English abstract).
- Mohammadzadeh T, Vaezihir A and Jafari H, 2014. Hydrogeochemical investigation of groundwater resources in the Saein basin fractured rock aquifers (Ardebil province). 18th Symposium of Geological Society of Iran, 24 December, Tarbiat Modarres University, Tehran. (In Persian).
- Todd Dk and Mays LW, 2005. *Ground Water Hydrology*. Third Ed. John Wiley and Sons Inc, New York. 535p.

Zarvash N, Vaezihir A, Karimi H and Asghari Moghaddam A, 2014. Comparison of groundwater flow system for Sarab and Abdanan Siahcow (Ilam province). Pp 1-8. 13th Iranian Hydraulic Conference, 1 March, University of Tabriz, Tabriz. (In Persian).