

بررسی تغییرات کیفی منابع آب باختر کوهسرخ با استفاده از شاخص کیفی GQI در محیط GIS

سمیه سلیمانی^۱، محمد حسین محمودی قرایی^{۲*}، فرشته قاسمزاده^۳ و علیرضا سیاره^۴

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۲ استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۳ استاد، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۴ کارشناسی ارشد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۱

چکیده

در مناطقی که از منابع آب زیرزمینی برای آشامیدن استفاده می‌شود، ارزیابی کیفیت آب بسیار با اهمیت است. همچنین شناخت نقاط آلوده و آلاینده‌های منطقه به استفاده بهینه و مناسب از آب در مصارف مختلف کمک می‌کند. برای ارزیابی و تهیه نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی منطقه باختر کوهسرخ از شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) در محیط GIS استفاده شد. بدین منظور ۶ متغیر شیمیایی TDS، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Na^+ ، Cl^- ، SO_4^{2-} که در جدول استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) به آنها اشاره شده است مورد استفاده قرار گرفت. مقدار شاخص GQI در منطقه باختر کوهسرخ میان ۸۲/۹ تا ۹۴/۸ درصد تغییر می‌کند و بیانگر این است که در مجموع آب‌های زیرزمینی منطقه از نظر استانداردهای آب آشامیدنی در رده کیفیت مناسب تا قابل قبول قرار می‌گیرند. نقشه کیفیت آب زیرزمینی منطقه باختر کوهسرخ نشان می‌دهد که مقدار شاخص کیفی GQI از پیرامون به سمت مرکز منطقه مورد مطالعه کاهش یافته است که می‌تواند متأثر از عوامل زمین شناسی همچون ترکیب سنگی و جهت جریان و همچنین سامانه گرمایی فعال در منطقه باشد.

کلیدواژه‌ها: کیفیت آب، هیدروترمال، کوهسرخ، شاخص کیفی GQI

*نویسنده مسئول: محمد حسین محمودی قرایی

E- mail: Gharai2000@yahoo.com

۱- پیش‌گفتار

تأمین آب با کیفیت مناسب از مهم‌ترین نیازهای انسان امروزی است. متأسفانه افزون‌بر مسئله کمیت آب در دسترس، کیفیت منابع آبی و آلودگی آنها از مسائل محدودکننده در بحث تأمین آب است و بنابراین ارزیابی کیفیت و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی به ویژه در مناطقی که منابع آب زیرزمینی برای آشامیدن استفاده می‌شود، بسیار با اهمیت است (علیزاده، ۱۳۷۷)؛ از این رو پایش و پهنه‌بندی آب به عنوان یک متغیر مهم در برنامه‌ریزی‌ها باید مد نظر قرار گیرد (مقامی و همکاران، ۱۳۹۰). برای کنترل آلودگی آب ابتدا باید منشأ آلودگی را شناسایی کرد. افزون‌بر فعالیت‌های انسانی، عوامل طبیعی و سنگ‌شناختی نیز می‌توانند آب‌هایی با کیفیت نامناسب ایجاد کنند. به طور کلی، کیفیت منابع آب تحت تأثیر عواملی همچون جنس سازندهای زمین شناسی، بافت و جنس ذرات آبرفت، وضعیت هیدرودینامیک آبخوان و شرایط اقلیمی قرار دارد. از آنجایی که در کیفیت آب آشامیدنی همه یون‌های اصلی سهم هستند، به دست آوردن معیاری که در آن اثر همه این یون‌ها به صورت تلفیقی در نظر گرفته شود، اهمیت دارد. در این راستا می‌توان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به بررسی روند تغییرات و پهنه‌بندی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی پرداخت. به گفته Ng et al. (2005) تعیین یک روش مناسب برای میان‌یابی و پهنه‌بندی داده‌ها به حجم زیادی از داده‌های کیفی و جغرافیایی نیاز دارد. در این میان، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) با ظرفیت ذخیره، سازمان‌دهی، تجزیه، بازیابی، نمایش و تهیه خروجی‌های مناسب، به عنوان ابزاری است که می‌تواند در رسیدن به روش مناسب میان‌یابی و فهم شرایط هیدرولیکی و محیطی به پژوهشگران کمک کند. مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی و حفظ و بالابردن کیفیت آنها نیازمند وجود اطلاعات در زمینه موقعیت، مقدار و پراکنش عامل‌های شیمیایی آب در یک منطقه جغرافیایی معین است. یکی از روش‌های بسیار ساده و دور از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری که می‌تواند شرایط کیفی آب را بازگو کند، استفاده از شاخص‌های کیفی آب است به گونه‌ای که در مدیریت کیفی آب نیز می‌توان از

آن به عنوان یک ابزار مدیریتی قوی برای تصمیم‌گیری‌های مربوطه استفاده کرد (Liou et al., 2003; Simoes et al., 2008). Babiker et al. (2007) شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) Groundwater Quality Index را معرفی کرده و در آبخوان Nasuno، در کشور ژاپن به کار گرفته‌اند. در این شاخص با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، چندین متغیر مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی (Ca^{+2} ، Mg^{+2} ، Na^{+} ، K^{+} ، HCO_3^{-} ، Cl^{-} ، SO_4^{-2}) با یکدیگر تلفیق می‌شوند و امکان پهنه‌بندی و تهیه نقشه کیفیت آب زیرزمینی خواهد بود.

منطقه مورد مطالعه از نظر دیگر مطالعات همچون زمین شناسی، پتانسیل یابی مواد معدنی و ژئوشیمی مورد مطالعه قرار گرفته است. ولی در زمینه مورد مطالعه تاکنون پژوهشی در این منطقه صورت نگرفته است.

۲- موقعیت و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ۳۵ کیلومتری شمال کاشمر و ۹۵ کیلومتری جنوب نیشابور در بخش جنوب و جنوب خاور نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شامکان (نادری میقان، ۱۳۷۷) و در بخش شمال خاوری نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر (افتخار نژاد، ۱۳۵۴) قرار دارد. از نظر تقسیمات کشوری منطقه مورد مطالعه در محدوده شهرستان کاشمر و با مختصات جغرافیایی طول $52^{\circ}25'27''$ تا $58^{\circ}27'33''$ و عرض $35^{\circ}28'41''$ تا $35^{\circ}30'22''$ شمالی قرار گرفته است. کوهسرخ با گسترش ۲۱۹۳ کیلومترمربع، ۲۸ روستا و جمعیتی بالغ بر ۵۰۰۰۰ نفر دارد و مرکز شهر ریوش است (شکل ۱). بخش کوهسرخ منطقه‌ای کوهستانی و فلات مانند است و شامل سه دهستان به نام‌های برکوه، بررود و تکاب است. دهستان بررود دربرگیرنده روستاهای طرق، قراچه، کریز، پایین دره، تجرود، خرو و بندقراست که منابع آبی آنها مطالعه شده است. با توجه به تقسیم‌بندی پهنه‌های رسوبی - ساختاری اصلی ایران (آقاباتی، ۱۳۸۳) منطقه مورد مطالعه در پایانه شمال خاوری پهنه ایران

رستری که در مرحله پیش ایجاد شده بودند، با مقدار استاندارد WHO آن متغیر (CWHO) ارتباط برقرار می‌شود.

$$C = \frac{C_i - C_{WHO}}{C_i + C_{WHO}} \quad \text{رابطه ۱}$$

نتیجه این یکسان‌سازی مقیاس‌ها، تولید ۶ نقشه جدید است که ارزش پیکسل‌های آنها میان ۱- و ۱ تغییر می‌کند. غلظت‌ها در این نقشه‌ها بین ۱ تا ۱۰ درجه‌بندی می‌شوند تا نقشه رتبه‌بندی شده هر متغیر به دست آید. در این نقشه‌ها رتبه ۱ نشانگر کیفیت خوب آب زیرزمینی و رتبه ۱۰ بیانگر کیفیت بد آب زیرزمینی است. در واقع در این تبدیل واحد باید مقدار ۱- در نقشه تولید شده در مرحله پیش به ۱ در نقشه رتبه‌بندی شده و همچنین مقادیر صفر به ۵ و ۱ به ۱۰ در نقشه رتبه‌بندی شده تغییر کند. بدین منظور از رابطه زیر که یک تابع چند جمله‌ای است، برای تبدیل واحد هر پیکسل نقشه پیشین (C) به مقدار جدید (r) استفاده می‌شود (Babiker et al., 2007).

$$r = 0.5 \times c^2 + 4.5 \times c + 5 \quad \text{رابطه ۲}$$

به منظور ایجاد یک نقشه که نماینده همه ۶ متغیر شیمیایی است و کیفیت آب زیرزمینی را از نظر کمی در مقایسه با استاندارد WHO نشان دهد با استفاده از شاخص GQI لایه‌های مربوط به متغیرها تلفیق می‌شوند.

$$GQI = 100 - \left[\frac{r_1 w_1 + r_2 w_2 + \dots + r_n w_n}{n} \right] \quad \text{رابطه ۳}$$

در این فرمول r رتبه هر پیکسل از نقشه‌های رتبه‌بندی شده و w وزن نسبی هر یک از این متغیرها است که برابر با مقدار میانگین غلظت متغیر پیکسل‌ها در نقشه رتبه‌بندی شده آن متغیر است. برای محاسبه GQI در واقع از متغیرهای مختلف میانگین وزنی گرفته می‌شود که متغیرهای با مقدار بیشتر (تفاوت بیشتر با استاندارد) وزن نسبی بیشتر و در نتیجه تأثیرگذاری بیشتری دارند (Hiyama, 2010).

نقشه GQI مربوط به منطقه مورد مطالعه در شکل ۴ و نقشه‌های رتبه‌بندی شده برای هر یک از ۶ متغیر در شکل ۵ آورده شده است. این نقشه‌ها مناطق بحرانی آبخوان را نسبت به هر یک از این متغیرها نشان می‌دهند. نتایج آماری مربوط به مقادیر ۶ نقشه رتبه‌بندی شده و نقشه GQI مربوط به منطقه مورد مطالعه (باختر کوهسرخ) در جدول ۳ قابل مشاهده است.

با توجه به محاسبات انجام شده مقدار شاخص کیفی GQI در منطقه باختر کوهسرخ بین ۸۲/۹ تا ۹۴/۸ درصد متغیر بوده و بیانگر این است که در مجموع آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از نظر استانداردهای آب آشامیدنی با توجه به جدول ۱ در رده کیفیت مناسب تا قابل قبول قرار می‌گیرند (جدول ۴).

نقشه کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که شاخص کیفی GQI از پیرامون به سمت مرکز (از طرف روستای کوشه‌نما در خاور و روستای بندقرا در باختر به سمت روستای قراچه، پایین دره و کریز در مرکز منطقه مورد مطالعه) کاهش یافته است. کیفیت آب‌ها با توجه به طول مسیر طی شده و فراوانی مواد انحلالی در مسیر می‌تواند تفاوت زیادی در نقاط مختلف پیدا کند (مهدوی، ۱۳۸۷). آب زیرزمینی در هنگام عبور از لایه‌ها و مواد سازنده آن، مقداری از املاح موجود در مسیر را حل می‌کند و از آنجا که جهت جریان در منطقه مورد مطالعه از بالادست به طرف پایین دست و از پیرامون به سمت مرکز منطقه است، کیفیت آب در جهت جریان آب زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند.

۵- شیمی آب و سامانه گرمایی در منطقه

شیمی آب‌های زیرزمینی و سطحی به عوامل مختلف زمین‌شناسی منطقه و میزان تغذیه و خروج آب از بسترهای سنگی و رسوبی بستگی دارد. ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی در مناطق گسلی که با سامانه گرمایی ارتباط دارند، می‌تواند متأثر از آب‌های جوی و شورابه‌های NaCl دار و همچنین برهم‌کنش سیال‌های گرمایی با سنگ دیواره باشد، بنابراین ممکن است در آب‌های موجود در یک

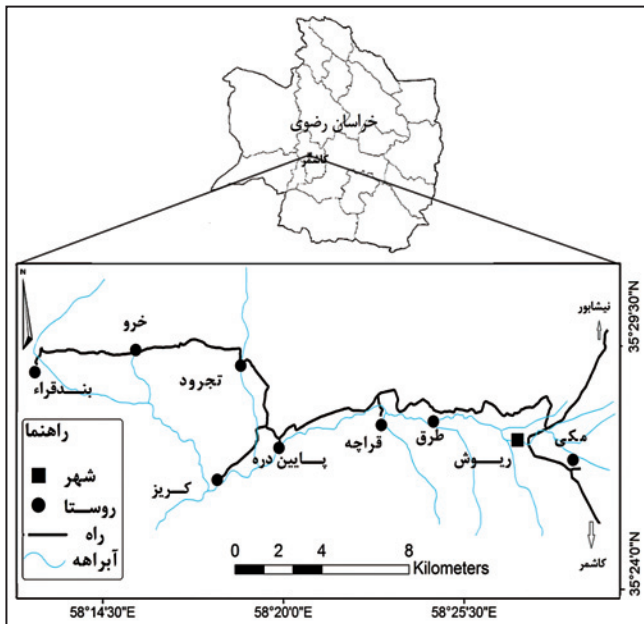
مرکزی قرار دارد. این محدوده میان دو گسل اصلی درونه و تکنار (ریوش) قرار دارد و تحت تأثیر گسل‌های عادی و وارون منطقه به شدت تکنونیزه شده است. در این زمینه دو ویژگی اصلی یکی چین‌خوردگی، دگرگونی و فعالیت نفوذی شدید مزوزوییک و دیگری فعالیت‌های شدید آتشفشانی سنوزوییک در این پهنه حاکم است. منطقه مورد مطالعه مجموعه‌ای از واحدهای آذرین با تنوعی از واحدهای آتشفشانی- نفوذی و نیز واحدهای رسوبی دارد. در سنگ‌های منطقه رگه‌های گرمایی حاصل از فعالیت آتشفشانی (ائوسن-لیگوسن) به مقدار فراوان دیده می‌شود (مظلومی و کریم‌پور، ۱۳۷۴). گسل‌های موجود در منطقه و چشمه‌های آب گرم نشان از وجود یک سامانه گرمایی فعال در منطقه است (سازمان معادن و فلزات استان خراسان، ۱۳۷۷). در باختر کوهسرخ می‌توان رخنمون‌هایی از آمیزه‌های افیولیتی به سن کرتاسه پسین را که در اثر رخداد لارامید در این منطقه جایگزین شده است (Lindenberg & Jacobshagen, 1983)، در شمال گسل ریوش دید. مجموعه نفوذی منطقه با تنوع سنگ‌شناختی گابرو- گابرویدوریت و واحدهای آتشفشانی منطقه از نوع آندزیتی و به مقدار کمتر بازالت دیده می‌شود. همچنین واحدهای گرانودیوریتی با رخنمون بسیار کم در برخی مناطق به چشم می‌خورند. از سنگ‌های رسوبی می‌توان به سنگ‌آهک، دولومیت و سنگ‌آهک دولومیتی اشاره کرد (شکل ۲).

۳- روش مطالعه

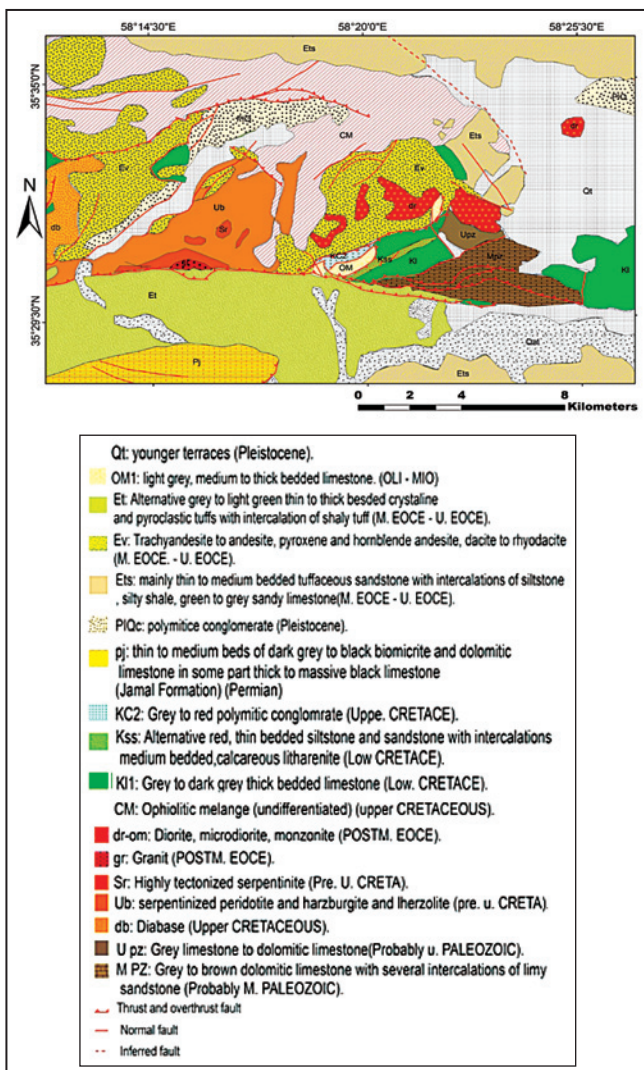
برای اندازه‌گیری متغیرهای شیمیایی آب از هر محل دو نمونه برای اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌ها در بطری‌های پلی اتیلن (۲۵۰ میلی‌لیتری) برداشت شد. نمونه‌های آب مرتبط با کاتیون‌ها توسط فیلتر اندازه ۰/۴۵ میکرومتر فیلتر و برای کاهش pH و جلوگیری از رسوب کاتیون‌ها، اسید نیتریک خالص (به ازای ۱۰۰ میلی‌لیتر آب ۲ میلی‌لیتر اسید) به آن افزوده شد. نمونه‌های آب به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در تهران فرستاده و غلظت کاتیون‌ها به روش ICP-ES اندازه‌گیری شد. همچنین آنیون‌ها به روش تیتراسیون در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه فردوسی مشهد تجزیه شدند. نقشه موقعیت منطقه مطالعاتی و نقاط نمونه‌برداری با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 رسم شد. رسم نمودارهای هیدروژئوشیمیایی پایپر (piper)، سه‌تایی (ternary diagram) و دیورف (Durof) با استفاده از نرم‌افزار RockWare Aq.QA انجام شد.

۴- نتایج و بحث

با توجه به شرایط مختلف شیمیایی، فیزیکی و زیست‌شناختی حاکم بر آب‌های زیرزمینی، متغیرهای زیادی در کیفیت آب زیرزمینی مؤثر هستند که معمولاً همه آنها را نمی‌توان تجزیه و بررسی کرد (Luka & Jonas, 2009). برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از لحاظ آشامیدن شاخص GQI به کار گرفته شده که برای محاسبه آن از نتایج تجزیه شیمیایی ۲۱ نمونه آب مربوط به آبان ماه سال ۱۳۹۰ استفاده شده است (جدول ۲). بدین منظور از ۶ متغیر شیمیایی شامل، Mg^{+2} ، Ca^{+2} ، Na^+ ، Cl^- ، SO_4^{+2} ، TDS (WHO) به آنها اشاره شده است (WHO, 2008) استفاده شد. مقادیر به دست آمده GQI میان صفر تا ۱۰۰ قرار می‌گیرند، در نتیجه با توجه به جدول ۱ کیفیت آب تقسیم‌بندی می‌شود (Babiker et al., 2007). برای محاسبه شاخص GQI و تهیه نقشه کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در باختر کوهسرخ (از روستای کوشه‌نما تا روستای بندقرا در باختری‌ترین بخش منطقه) ابتدا برای هر یک از متغیرهای شیمیایی نقشه رستری غلظت متغیر مربوط در محیط ArcGIS 9.3 با درون‌یابی (Inverse Distance Weighted) داده‌های نقطه‌ای با به کارگیری ابزار spatial analyst تهیه می‌شود و سپس برای اینکه داده‌های متفاوت دارای یک مقیاس و معیار مشترک شوند با استفاده از رابطه ۱ غلظت‌های هر پیکسل (C) در نقشه‌های



شکل ۱- موقعیت روستاها و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شامکان (نادری میقان، ۱۳۷۷)

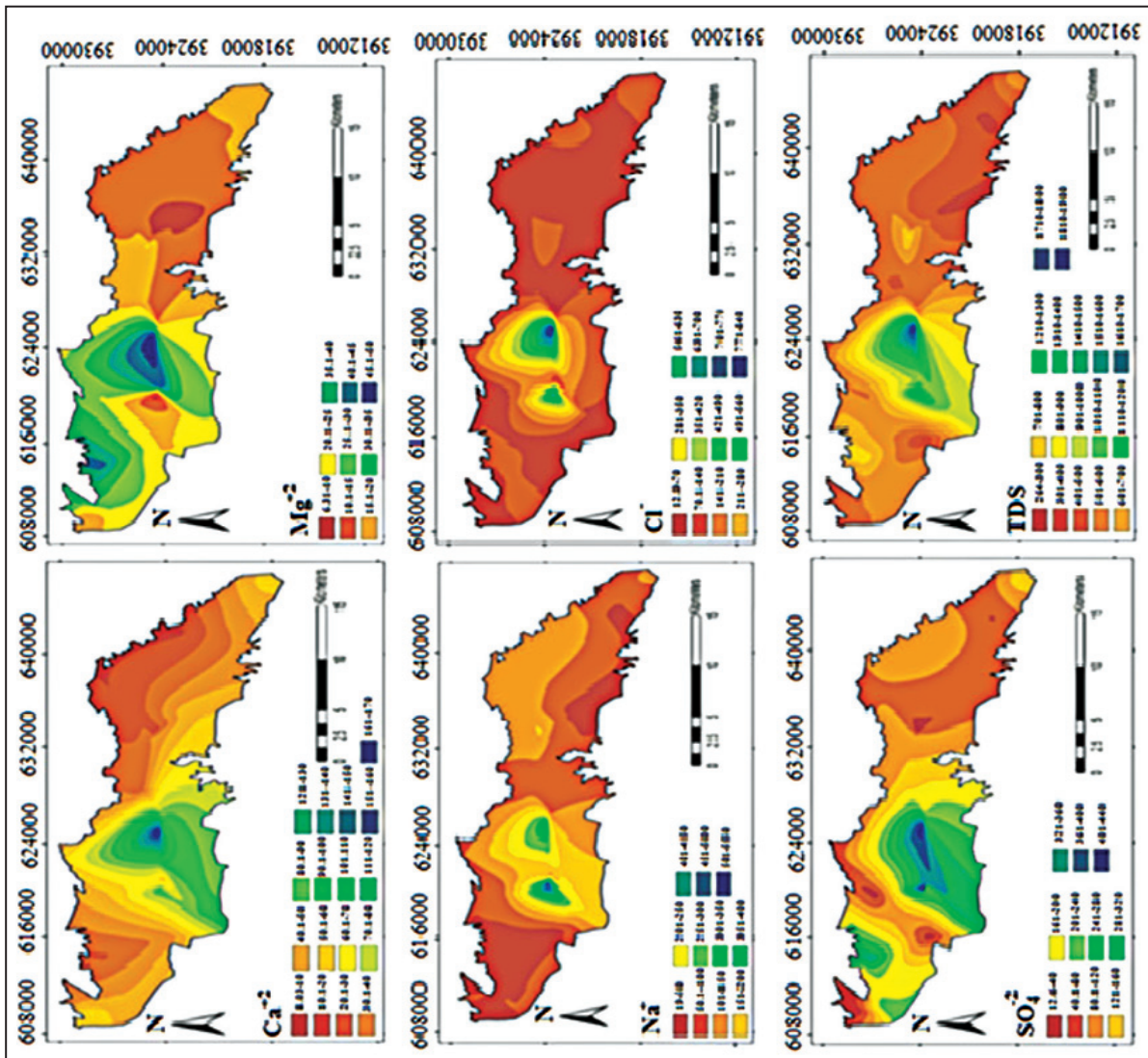
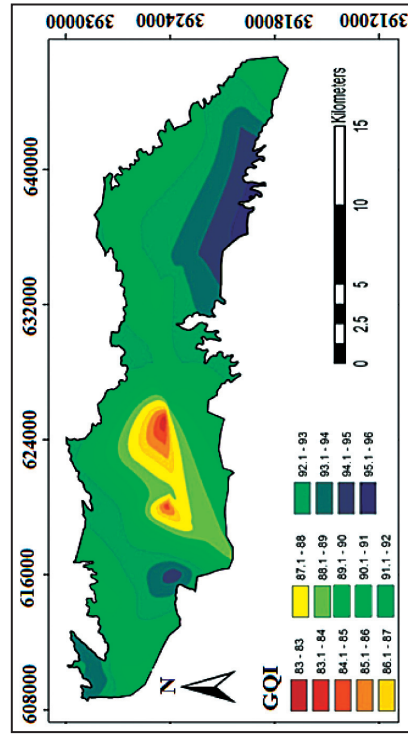
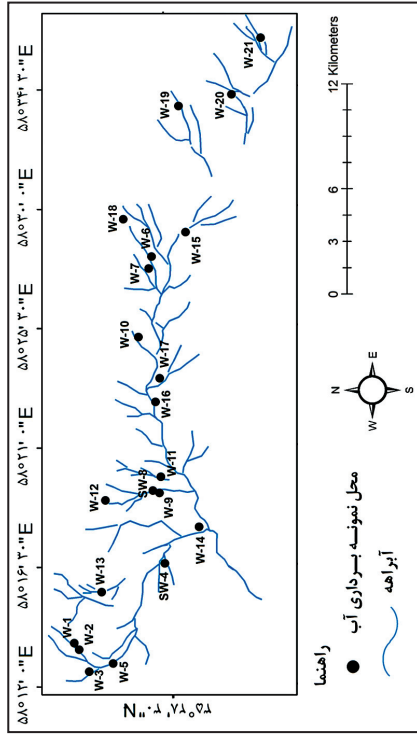
منطقه گسلی، آمیختگی صورت گیرد (Aiuppa et al., 2006). در منطقه مورد مطالعه شواهد صحرایی حضور سامانه‌های زمین‌گرایی جوان وجود دارد که می‌تواند بر کیفیت منابع آب تأثیرگذار باشد. چشمه‌های آب گرم بندقرا (SW-4) و کریز (SW-8) ۲ نمونه آشکار از شواهد صحرایی هستند. برای ارزیابی ویژگی‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه و تعیین نوع آب از نمودار پایپر استفاده شد (Silva-filho et al., 2009). به دلیل تنوع زیاد ترکیب‌سنگی و تکنیزه بودن شدید منطقه نوع آب‌های منطقه متنوع است به گونه‌ای که در هر ۴ میدان نمودار پایپر قرار گرفته‌اند (جدول ۵؛ شکل ۶- الف). چشمه آب گرم بندقرا از نوع بی‌کربناتی کلسیک و چشمه آب گرم کریز از نوع کلری سدیک هستند (شکل‌های ۶- الف و ب). نوع آب در چشمه آب گرم بندقرا بیشتر متأثر از ترکیب‌سنگی سنگ آهک و دولومیتی است که از آن عبور کرده و خارج می‌شود. با توجه به نمودار سه‌تایی کاتیون‌ها (Giggenbach, 1988) چشمه آب گرم کریز در بخش آب‌های آمیخته قرار گرفته است (شکل ۶- ج) که با توجه به شرایط زمین‌شناسی موجود می‌تواند ناشی از سامانه گرمایی و به ویژه گسل‌های فراوان در منطقه باشد (Aiuppa et al., 2006). در واقع شوره‌ها از راه گسل‌ها به سطح زمین نزدیک و با آب‌های نوع بی‌کربناتی که منشأ جوی دارند آمیخته می‌شوند. دیگر نمونه‌های آب منطقه در گوشه Mg مثلث تمرکز یافته‌اند و این امر نشان از آن دارد که آب این چشمه‌ها جزو آب‌های به تعادل نرسیده و نابالغ (Immature Water) است. نمودار سه‌تایی Giggenbach برای آنیون‌ها تمایلی از آب‌های بی‌کربناتی (چشمه‌های قلیایی) به سمت کلری نشان می‌دهند (شکل ۶- ب) که می‌تواند شواهدی بر آمیختگی آب‌های نوع بی‌کربناتی و کلری در منطقه باشد. نمونه چشمه آب گرم کریز در محدوده کلری قرار دارد و می‌توان آن را به سیال‌های گرمایی و شوره‌های NaCl دار نسبت داد. برای تعیین چرخه تکاملی آب‌ها از نمودار دیورف استفاده شد (قره‌محمودلو و همکاران، ۱۳۸۶). بررسی موقعیت نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه در نمودار دیورف نشان می‌دهد که نمونه‌های آب مورد مطالعه دارای روند تقریباً خطی و چرخه تکامل هیدروژئوشیمیایی از رخساره کلسیم بی‌کربناتی به سمت سدیم کلروری هستند (شکل ۷).

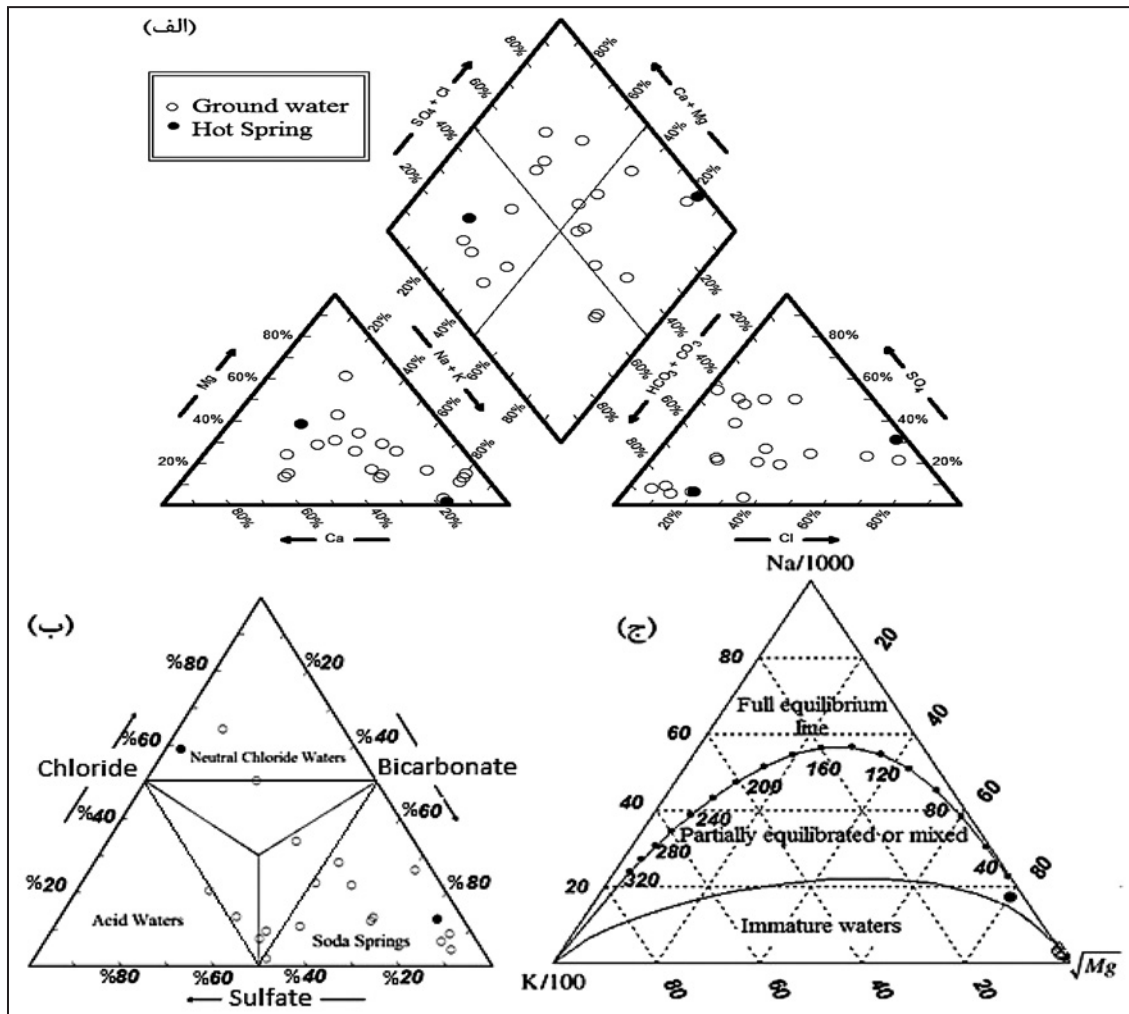
۶- نتیجه‌گیری

با استفاده از ۶ متغیر شیمیایی مؤثر بر کیفیت آب مانند Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , TDS به آنها اشاره شده است، شاخص کیفی GQI برای محدوده باختر منطقه کوهسرخ محاسبه شد. مقدار این شاخص در منطقه مورد مطالعه میان ۸۲/۹ تا ۹۴/۸ درصد متغیر بوده است. نقشه کیفیت آب زیرزمینی منطقه باختر کوهسرخ نشان می‌دهد که کیفیت آب از پیرامون به سمت مرکز (از سوی روستای کوشه‌نما در خاور و روستای بندقرا در باختر به سمت روستای قراچه، پایین دره و کریز در مرکز منطقه مورد مطالعه) کاهش یافته است. ولی در مجموع آب‌های زیرزمینی منطقه باختر کوهسرخ از نظر استانداردهای آب آشامیدنی در رده کیفیت مناسب تا قابل قبول قرار می‌گیرند. میزان بالای سولفات و کلر و سدیم و همچنین رخداد فرایند آمیختگی (Mixing Water) در نمونه آب SW-8 منطقه به احتمال بسیار زیاد در ارتباط با سامانه گرمایی و شوره‌های موجود است که از طریق گسل‌ها انتقال می‌یابند. بنابراین کیفیت آب در منطقه کوهسرخ به شدت تحت تأثیر سنگ‌شناسی و آلودگی این منابع به صورت زمین‌زاد است.

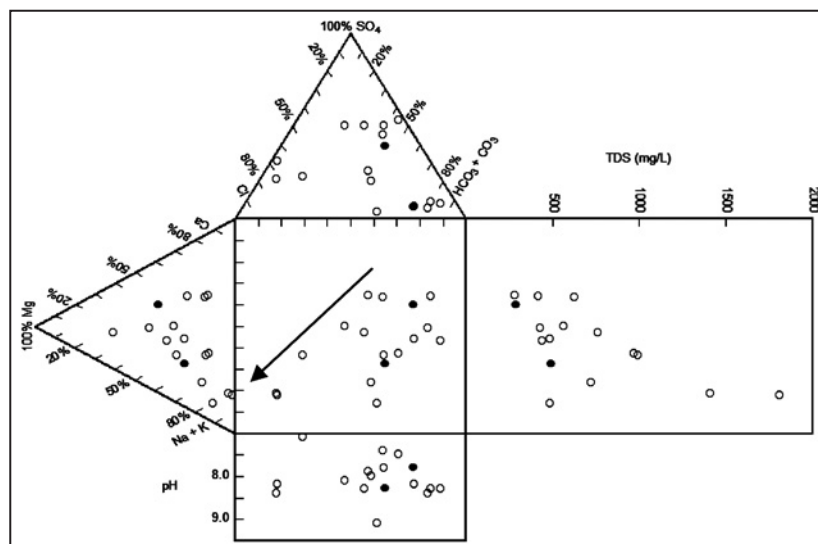
سپاسگزاری

از آقای مهندس ناصر ناصری برای همکاری در تهیه نقشه‌های GIS و از سرکار خانم اعظم گرایلی و آقای محمدعلی اصلاح‌جو کارشناسان محترم سازمان آب مشهد سپاسگزاریم.





شکل ۶- الف) نمودار پایپر؛ ب) نمودار مثلثی $Cl-HCO_3-SO_4$ (Giggenbach, 1988)؛ ج) نمودار مثلثی $Na^+-K^+-Mg^{2+}$ (Giggenbach, 1988) نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه



شکل ۷- موقعیت نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه در نمودار دیورف

جدول ۱- تقسیم‌بندی کیفیت آب بر پایه GQI (Babiker et al., 2007)

میزان GQI	کیفیت آب
۱۰۰-۹۱	مناسب
۹۰-۷۱	قابل قبول
۷۰-۵۱	متوسط
۵۰-۲۶	نامناسب
۲۵-۰	کاملاً نامطبوع

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب منطقه باختر کوهسرخ در آبان ماه ۱۳۹۰ به همراه شاخص‌های آماری و حد استاندارد آنها بر حسب میلی‌گرم بر لیتر.

کد نمونه	X-UTM	Y-UTM	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	TDS	T(C°)
W-1	۶۱۰۹۵۴/۴۷۱	۳۹۳۱۷۱۷/۳۹۵	۳۳/۸	۳۱/۷	۴۰/۶	۲۷/۸	۱۵/۴	۴۲۵	۱۶/۳
W-2	۶۱۰۸۹۱/۸۰۹	۳۹۳۱۶۹۱/۹۶۶	۳۴	۲۷/۱	۵۹/۵	۱۳/۹	۲۱/۸	۴۳۷	۱۶/۶
W-3	۶۰۹۶۴۶/۷۲۴	۳۹۳۱۱۲۸/۱۱۸	۸/۵۶	۱۶	۳۰/۲	۲۰/۹	۲۳/۶	۴۲۰	۱۲/۵
SW-4	۶۱۵۸۲۶/۹۳۶	۳۹۲۶۸۱۸/۰۲۷	۳۲/۲	۱۸/۶	۱۸/۷	۲۷/۷	۱۱/۵	۲۸۶	۲۶/۷
W-5	۶۱۰۱۱۴/۴۴۶	۳۹۲۹۷۶۵/۷۲۲	۴۴/۵	۲۴/۳	۵۱/۶	۹۰/۵	۲۲۴/۵	۵۶۴	۱۴/۹
W-6	۶۳۳۲۸۱/۴۲۲	۳۹۲۷۵۸۴/۷۱۷	۱۲/۳	۱۰/۳	۱۳۹	۸۳/۵	۱۱/۵	۴۸۴	۱۲/۵
W-7	۶۳۲۶۰۶/۰۵۶	۳۹۲۷۷۴۴/۱۸۱	۳۰/۷	۲۰/۵	۱۵۸/۳	۱۱۱/۲	۹۸/۶	۷۲۱	۱۶/۶
SW-8	۶۱۹۸۶۲/۴۸۵	۳۹۲۷۱۸۸/۵۳۴	۹۵	۵/۶	۵۱۹	۶۹۳/۸	۴۴۴/۲	۱۳۶۴	۲۸/۵
W-9	۶۱۹۸۳۷/۸۱۶	۳۹۲۷۱۲۹/۶۵۵	۸۲/۹	۹/۳	۴۴۱	۵۵۶/۶	۲۲۴/۵	۱۴۰۵	۱۷/۸
W-10	۶۲۸۷۰۶/۰۰۲	۳۹۲۸۳۲۵/۱۵۹	۲۰	۱۵/۹	۶۴/۷	۴۱/۸	۱۴۰	۳۵۰	۱۶/۲
W-11	۶۲۰۷۵۴/۱۸۸	۳۹۲۷۰۴۳/۳۵۸	۵۳/۷	۴۳/۸	۱۳۷/۵	۵۵/۶	۳۴۹/۸	۹۹۱	۲۰
W-12	۶۱۹۴۰۱/۳۸۲	۳۹۳۰۱۹۹/۱۷۹	۴۹/۲	۲۴/۳	۷۶/۷	۴۱/۸	۱۸/۴	۴۸۴	۱۲/۸
W-13	۶۱۴۱۷۵/۴۵۰	۳۹۳۰۴۱۴/۴۳۶	۱۸/۴	۴۲	۲۸/۳	۹۰/۵	۳۲۵/۶	۷۶۳	۱۳/۶
W-14	۶۱۷۸۹۸/۵۳۱	۳۹۲۴۸۶۹/۹۹۱	۹۲/۸	۲۴/۳	۱۹۶/۳	۱۲/۸	۳۱۲	۹۷۰	۱۵
W-15	۶۳۴۶۸/۸۲۴	۳۹۲۵۶۴۶/۰۴۹	۴۹	۷	۲۸	۴۳	۵۱	۲۷۶	۱۸
W-16	۶۲۵۰۱۹/۴۹۵	۳۹۲۷۳۵۴/۵۸۹	۱۶۴	۵۰	۳۶۸	۸۳۹	۴۲۷	۱۸۱۰	۱۷/۳
W-17	۶۲۶۳۵۱/۶۵۰	۳۹۲۷۱۱۹/۶۷۵	۸۶	۱۴	۵۱	۴۴	۲۰۳	۵۲۱	۱۹/۲
W-18	۶۳۵۴۱۹	۳۹۲۹۱۹۷	۱۰	۱۲/۲	۱۴۲/۵	۵۳/۲	۷۶/۹	۴۵۴	۱۸/۱
W-19	۶۴۱۸۶۶	۳۹۲۶/۵۱	۸	۱۴/۶	۱۴۹/۴	۷۶/۹	۱۱۳/۴	۴۸۷	۱۷
W-20	۶۴۲۵۳۰	۳۹۲۳/۴۹	۳۴/۱	۱۴/۶	۲۹/۹	۵۷/۶	۳۵/۵	۲۶۳	۱۴/۶
W-21	۶۴۵۷۴۵	۳۹۲۱۴۰۴	۵۴/۱	۱۸/۲	۱۰۵/۸	۱۰۵/۷	۱۴۱/۸	۵۳۷	۱۸/۶
بیشینه			۱۶۴	۵۰	۵۱۹	۸۳۹	۴۴۴/۲	۱۸۱۰	۲۸/۵
کمینه			۸	۵/۶	۱۸/۷	۱۲/۸	۱۱/۵	۲۶۳	۱۲/۵
میانگین			۵۰/۵	۲۱/۱	۱۳۵	۱۴۷	۱۵۵/۷	۶۶۷/۲	۱۷/۳
انحراف از استاندارد			۳۷/۱	۱۲/۱	۱۴۰/۷	۲۳۵/۸	۱۴۳/۵	۴۱۶/۷	-
استاندارد (WHO)			۳۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۲۵۰	۱۰۰۰	-

جدول ۳- متغیرهای آماری لایه ۲ به دست آمده از متغیرهای شیمیایی برای ایجاد نقشه GQI

منطقه مورد مطالعه

متغیر	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف از استاندارد
Ca	۱/۲	۳/۷	۲	۰/۶
Mg	۱/۱	۲/۰۴	۱/۵	۰/۲
Na	۱/۶	۷/۱	۳/۶	۱/۶
Cl	۱/۴	۷/۶	۳	۱/۸
SO ₄	۱/۳	۶/۳	۳/۵	۱/۷
TDS	۲/۵	۶/۳	۴	۱/۱
GQI	۸۲/۹	۹۴/۸	۹۰/۸	-

جدول ۴- میزان GQI محاسبه شده برای نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه

کد نمونه	میزان GQI	کیفیت آب از نظر آشامیدن	کد نمونه	میزان GQI	کیفیت آب از نظر شرب
W-1	۹۴	مناسب	W-12	۹۲/۹	مناسب
W-2	۹۳/۷	مناسب	W-13	۹۰/۳	مناسب
W-3	۹۴	مناسب	W-14	۸۸/۷	قابل قبول
SW-4	۹۴/۸	مناسب	W-15	۹۴	مناسب
W-5	۹۰/۸	مناسب	W-16	۸۲/۹	قابل قبول
W-6	۹۲/۳	مناسب	W-17	۹۱/۳	مناسب
W-7	۹۰/۱	مناسب	W-18	۹۱/۸	مناسب
SW-8	۸۳/۶	قابل قبول	W-19	۹۱/۱	مناسب
W-9	۸۴/۹	قابل قبول	W-20	۹۴	مناسب
W-10	۹۲/۴	مناسب	W-21	۹۰/۵	مناسب
W-11	۸۸/۶	قابل قبول	-	-	-

جدول ۵- نوع آب و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه

کد نمونه	غلظت کاتیون‌ها	غلظت آنیون‌ها	تیپ آب
W-1	Mg > Na+K > Ca	HCO ₃ > Cl > SO ₄	Mg-Na-Ca-HCO ₃
W-2	Na+K > Mg > Ca	HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Na-Mg-Ca-HCO ₃
W-3	Ca > Na+K > Mg	HCO ₃ > Cl > SO ₄	Ca-Na-Mg-HCO ₃
SW-4	Ca > Mg > Na+K	HCO ₃ > Cl > SO ₄	Ca-Mg-Na-HCO ₃
W-5	Na+K > Ca > Mg	SO ₄ > Cl > HCO ₃	Na-Ca-Mg-SO ₄ -Cl-HCO ₃
W-6	Na+K > Mg > Ca	HCO ₃ > Cl > SO ₄	Na-HCO ₃ -Cl
W-7	Na+K > Mg > Ca	HCO ₃ > Cl > SO ₄	Na-HCO ₃ -SO ₄
SW-8	Na+K > Ca > Mg	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na-Cl-SO ₄
W-9	Na+K > Ca > Mg	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na-Cl-SO ₄
W-10	Na+K > Mg > Ca	HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄
W-11	Na+K > Mg > Ca	SO ₄ > HCO ₃ > Cl	Na-Mg-SO ₄ -HCO ₃
W-12	Na+K > Ca > Mg	HCO ₃ > Cl > SO ₄	Na-Ca-Mg-HCO ₃
W-13	Mg > Na+K > Ca	SO ₄ > HCO ₃ > Cl	Mg-SO ₄ -HCO ₃ -Cl
W-14	Na+K > Ca > Mg	SO ₄ > HCO ₃ > Cl	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃
W-15	Ca > Na+K > Mg	HCO ₃ > Cl > SO ₄	Ca-Na-HCO ₃ -Cl-SO ₄
W-16	Na+K > Mg > Ca	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na-Ca-Cl-SO ₄
W-17	Ca > Na+K > Mg	SO ₄ > HCO ₃ > Cl	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
W-18	Ca > Na+K > Mg	HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄
W-19	Na+K > Mg > Ca	HCO ₃ > Cl > SO ₄	Na-HCO ₃ -Cl
W-20	Na+K > Mg > Ca	HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Na-HCO ₃ -SO ₄ -Cl
W-21	Na+K > Ca > Mg	Cl > HCO ₃ > SO ₄	Na-Ca-Cl-HCO ₃ -SO ₄

کتابنگاری

- آفانباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- افتخارنژاد، ج.، ۱۳۵۴- نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ کاشمر، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- سازمان معادن و فلزات استان خراسان، ۱۳۷۷- گزارش ژئوشیمیایی منطقه ی چلیو (کوهسرخ کاشمر) کانی سازی Sb-As. عزیزاده، ا.، ۱۳۷۷- اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، ۶۲۲ صفحه.
- قره محمودلو، م.، رقیمی، م. و طهماسبی، ا.، ۱۳۸۶- استفاده از مطالعات هیدروژئوشیمی برای تشخیص نفوذ آب شور در چاه های آب (مطالعه موردی شهر ساری)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، شماره چهار.
- مظلومی، ع. و کریم پور، م. ح.، ۱۳۷۴- مطالعه زمین شناسی و ژئوشیمی کانسار آتیموان طلادار چلیو در شمال کاشمر، مجموعه مقالات دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران.
- مقامی، ی.، قضاوی، ر.، عباسعلی، و. و شرفی، س.، ۱۳۹۰- ارزیابی روش های مختلف درون یابی به منظور پهنه بندی کیفیت آب با استفاده از GIS، مطالعه موردی شهرستان آباد، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۰، ص ۱۸۲-۱۷۱.
- مهدوی، م.، ۱۳۸۷- هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، جلد دوم، ۳۰۴ ص.
- نادری میقان، ن.، ۱۳۷۷- نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ شامکان، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Aiuppa, A., Avino, R., Brusca, L., Caliro, V., Chiodini, G., Alessadro, W. D., Favara, R., Federico, C., Ginevra, W., Inguaggiato, S., Longo, M., Pecoraino, G. & Valenza, M., 2006- Mineral control of arsenic content in thermal waters from volcano- hosted hydrothermal systems: insights from island of Ischia and Phlegrean Fields (Campanian Volcanic Province, Italy), *Chemical Geology*, Vol: 229, pp: 313-330.
- Babiker, S., Mohamed, M. A. A. & Hiyama, T., 2007- Assessing groundwater Quality using GIS, *water Resour Manage*, 21, pp. 699-715.
- Giggenbach, W. F., 1988- Geothermal solute equalibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators, *Geochemica a Cosmochimica Acta*. Vol: 52, pp: 2749-2765.
- Hiyama, T., 2010- Evaluation of groundwater vulnerability (and susta inability). 20th UNESCO. IHP training course DOI 10. 1007/S 11269-006-9059-6.
- Lindenberg, H. & Jacobshagen, V., 1983- Post Paleozoic geology of the taknar zone and adjacent area (NE Iran Khorasan) *Geol. Surv. Iran*. Issn 0075-0484, Rep. No. 51: 145-163, Freine Univ. Berlin inst. Geol. Dtsch.
- Liou, S. M., Lo, S. L. & Hu, C. Y., 2003- Application of twostagefuzzy set theory to river quality evaluationin Taiwan. *Water Res*, 37: 1406-1416.
- Luka, F. & Jonas, L., 2009- *Groundwater: Modeling, Management and Contamination*. Nova Science Publishers, Inc.
- Ng, S. M. Y., Wail, O. W. H., Xul, Z. H., Lil, Y. S. & Jiang, Y. W., 2005- Application of GIS for Retrieval and Display of Hydrodynamic and water Quality Data for the Pearl River Estuary. *Environmental Informatics Archives*, Vol. 3, pp: 372-378.
- SilvaFilho, V., SobralBarcellos, R., Emblanch, C., Blavoux, B., Mariasella, S., Daniel, M., Simler, R. & Cesar Wasserman, J., 2009- Ground Water chemical characterization of a Rio de Janeiro coastal aquifer SEBrazil, *Journal South American Earth Sciences*; Vol: 27, pp: 100-108.
- Simoes, F., Moreira, A. B., Bisinoti, M. C., Gimenez, S. & Santos, M., 2008- Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological Indicators*, 38: 476-480.
- WHO (World Health Organization), 2008- Guidelines for drinking water quality, chemical fact sheets, First Addendum to Third Edition, pp: 296-405.