هیدروژئوشیمی و بررسی کیفیت آب چشمه‌ها و آب‌های آشامیدنی روستاهای واقع در حوضه آبریز رودخانه آغ‌دره، شمال باختر تکاب، استان آذربایجان غربی

یوسف رحیم‌سوری[1*]، عبدالمجید یعقوب‌پور[2] و سروش مدبری[3]

[1] گروه زمین‌شناسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
[2] گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران، تهران، ایران.
[3] دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۹/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۵/۲۴

چکیده

مقایسه متغیرهای فیزیکوشیمیایی(pH، Eh، EC، TDS، TH، TA، دما و شوری) اندازه‌گیری شده و تجزیه‌های شیمیایی نمونه‌های آب چشمه‌ها و آب‌های آشامیدنی روستاهای واقع در حوضه آبریز رودخانه آغ‌دره در شمال‌باختری شهرستان تکاب تفاوت‌های چشمگیری را نشان داده است. بر اساس این نتایج، در میان چشمه‌های آب نمونه‌برداری شده کمترین مقادیر pH و بیشترین مقادیر TDS، EC، شوری، سختی کل، قلیائیت کل، غلظت کاتیون‌ها، آنیون‌ها و عناصر بالقوه سمناک As وSb به چشمه واقع در پایین‌دست معدن متروکه آنتیموان آغ‌دره بالا (چشمه Aq.D1-1) و چشمه واقع در پایین‌دست سدهای باطله واحد استحصال طلای آغ‌دره (چشمه Aq.D5) تعلق دارد. غلظت کل As وSb در چشمه Aq.D1-1 به‌ترتیب ۳۷۵۳ µg/l و ۳۲۰ µg/l و در چشمه Aq.D5 به‌ترتیب ۱۶۲ µg/l و ۳ µg/l است. در میان نمونه‌های آب آشامیدنی روستاهای محدوده مورد مطالعه بالاترین غلظت As به‌آب آشامیدنی روستای آغ‌دره پایین با غلظت کل ۲۹ µg/l As و در مورد Sb به آب آشامیدنی روستای آغ‌دره وسط با غلظت کل ۵ µg/l Sb تعلق دارد. بر اساس مقادیر مجاز اشاره شده در استانداردهای بین‌المللی، غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی (به غیر از سختی کل) نمونه‌های آب چشمه‌ها و آب‌های آشامیدنی روستاهای محدوده مورد مطالعه در دامنه مقادیر مجاز تعیین شده قرار دارند. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته مشخص شده است که آلودگی As وSb چشمه Aq.D1-1 منشأ زمین‌زاد (geogenic) دارد و از شیل‌های سیاه با غلظت بالایی از عناصرAs وSb ناشی شده است. در حالی که آلوده شدن آب چشمه Sp.5 منشأ انسان‌زاد (anthropogenic) دارد و از نشت پساب ذخیره شده در پشت سدهای باطله واحد استحصال طلای آغ‌دره و نفوذ آن به‌آب چشمه‌های پایین‌دست ایجاد شده است.

کلیدواژه‌ها: کیفیت آب آشامیدنی، آلودگی آرسنیک و آنتیموان آب، حوضه آبریز رودخانه آغ‌دره، تکاب، استان آذربایجان‌غربی.

***نویسنده مسئول:** یوسف رحیم سوری
E-mail: rahimsouri@yahoo.com

۱- مقدمه

حوضه آبریز رودخانه آغ‌دره میان طول‌های جغرافیایی ′۵۸ °۴۶ تا ′۰۶ °۴۷ خاوری و عرض‌های جغرافیایی ′۳۸ °۳۶ تا ′۴۷ °۳۶ شمالی در شمال‌باختری شهر تکاب از توابع استان آذربایجان غربی واقع شده است (شکل ۱). در این حوضه معدن فعال طلا- جیوه آغ دره بالا، معدن متروکه آنتیموان آغ‌دره بالا و اندیس جیوه شاخ‌شاخ وجود دارند (شکل ۱). ناحیه تکاب اقلیم نیمه خشک با تابستان‌های معتدل و زمستان‌های خیلی سرد با میانگین درجه حرارت سالیانه °۹ دارد. میانگین بارش سالیانه آن حدود ۴۰۰ mm گزارش شده است که بیشتر به‌صورت بارش برف است (Modabberi & Moore, 2004).

مطالعات یعقوب‌پور و همکاران (۱۳۸۸) نشان داده است که آب و رسوبات بستر شاخه اصلی رودخانه آغ‌دره (شکل ۲- الف) از نظر عناصر بالقوه سمناک و جزئی بدون هر نوع آلودگی است. در مقابل، آب شاخه فرعی رودخانه آغ‌دره (پایین‌دست معدن متروکه آنتیموان آغ‌دره بالا) از نظر عناصر بالقوه سمناک As وSb و رسوبات بستر آن از نظر عناصر As، Sb و Hg آلودگی بالایی دارند، لذا در مطالعه فعلی تنها چشمه‌های واقع در پایین‌دست معدن متروکه آنتیموان و معدن طلای آغ‌دره و چشمه‌های تأمین‌کننده آب آشامیدنی روستاهای موجود مورد شناسایی و مطالعه قرار گرفته‌اند. بر این اساس تعداد ۹ چشمه آب شناسایی شدند که از این تعداد سه چشمه با اسامی D.W.B ، D.W.V و D.W.P مورد استفاده برای آب آشامیدنی روستاهای آغ‌دره بالا، آغ‌دره وسط و آغ‌دره پایین هستند و در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته‌اند (شکل ۲-الف).

۲- زمین‌شناسی حوضه آبریز رودخانه آغ‌دره

محدوده مورد مطالعه بر اساس تقسیمات زمین‌شناسی ایران در زون ساختاری سنندج- سیرجان (Stocklin, 1968) واقع شده (شکل ۱) و جزیی از کمربند آتشفشانی موسوم به ارومیه- دختر است. با توجه به نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (شکل ۲-ب) و بر اساس مطالعات چینه‌شناسی، واحدهای سنگ‌شناسی این محدوده از قدیم به‌جدید به‌شرح زیر هستند:

- شیل‌های سیاه با رخنمون اصلی در امتداد و طرفین دره معدن متروکه آنتیموان آغ‌دره بالا.
- تناوب مارن آهکی سبز متمایل به زرد تا خاکستری منتسب به اولیگو- میوسن (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۴).
- تناوب توف سبز تا خاکستری روشن (با ترکیب آندزیتی) و مارن خاکستری.
- گدازه‌های آندزیتی با بافت پورفیری به رنگ‌های سبز، قهوه‌ای و گاه بنفش.
- سنگ‌آهک توده‌ای به رنگ‌های کرم، خاکستری تا قهوه‌ای با میان لایه‌هایی از مارن سبز متمایل به زرد منتسب به میوسن زیرین. این سنگ‌آهک‌ها در بخش‌هایی سنگ میزبان طلا و عناصر همراه در کانسار طلا- جیوه آغ‌دره بالا هستند.
- تناوب مارن و ماسه‌سنگ‌های سرخ منتسب به میوسن بالایی.

از دیگر واحدهای سنگ‌شناسی در حوضه آبریز رودخانه آغ‌دره می‌توان به نهشته‌های تراورتن، خاک‌های سطحی و کشاورزی و رسوبات آبرفتی اشاره کرد. از سنگ‌های نفوذی موجود در محدوده حوضه آبریز رودخانه آغ‌دره نیز می‌توان به توده گرانیت تا گرانودیوریتی موسوم به گرانیت آغ‌دره منتسب به ژوراسیک اشاره کرد.

۳- روش مطالعه

متغیرهای فیزیکوشیمیایی pH ، Eh ، EC ، TDS، دما (T) و شوری(Salinity) آب هر چشمه در محل، توسط یک دستگاه چند متغیر کالیبره شده مدل

Sension 156 اندازه‌گیری شده‌اند. پس از اندازه‌گیری متغیرهای یاد شده، نمونه‌برداری از آب چشمه‌ها صورت گرفته است. از هر چشمه تعداد ۲ نمونه آب طبق اصول اشاره شده توسط Wilde et al. (1998) و با رعایت اصول بهداشتی برداشت شده است. نمونه اول برای تجزیه کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب شامل Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^{+}، K^{+}، CO_3^{2-}، HCO_3^{-}، SO_4^{2-} و Cl^{-} و نمونه دوم برای تعیین غلظت کل (Total Concentration) عناصر جزیی و تعدادی از عناصر اصلی و فرعی برداشت شده‌اند. در مورد چشمه‌های Aq.D1-1 و Sp.5 با توجه به‌رنگ غیر طبیعی، کدورت (Turbidity) بالا و وجود فازهای ذره‌ای (Particulate) در آب آنها نمونه‌های سومی نیز برای تعیین غلظت عناصر در فاز حل‌شده (Dissolved phase concentration) برداشت شده‌اند. با توجه به تعداد ۹ چشمه شناسایی شده و توضیحات بالا و ۳ نمونه تکراری در مجموع ۲۳ نمونه آب (شامل ۹ نمونه برای تجزیه کاتیون‌ها و آنیون‌ها، ۱۲ نمونه فیلتر نشده برای تعیین غلظت کل و ۲ نمونه فیلتر شده برای تعیین غلظت عناصر در فاز حل‌شده) مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفته‌اند. در مورد نمونه‌های اول از بطری‌های پلی‌اتیلنی ۱۲۰CC و در مورد نمونه‌های دوم و سوم از بطری‌های پلی‌اتیلنی ۲۵۰CC برای نمونه‌برداری استفاده شده است. به نمونه‌های دوم پس از برداشت بلافاصله ۲/۵CC اسید نیتریک خالص مرک (Merck) به عنوان عامل نگهدارنده (Preservative) برای اسیدی کردن محیط و جلوگیری از انجام واکنش‌های شیمیایی میان عناصر اضافه و به‌اصطلاح نمونه‌ها اسیدی شده‌اند. نمونه‌های سوم نیز، پس از برداشت و انتقال سریع به‌آزمایشگاه بلافاصله توسط فیلترهای با منافذ ۰/۴۵µ از جنس نیترات سلولز با مارک Schleicher & Schuell (S&S) آلمان و استفاده از پمپ خلا، فیلتر و در ادامه به هر نمونه ۲/۵CC اسید نیتریک برای اسیدی شدن اضافه شده است. نمونه‌های اول پس از برداشت برای تجزیه کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و متغیرهای سختی کل (Total hardness) و قلیائیت کل (Total alkalinity) به آزمایشگاه هیدروژئوشیمی سازمان زمین‌شناسی ایران ارسال و در کمتر از ۴ روز مورد تجزیه قرار گرفته‌اند.

نمونه‌های دوم و سوم نیز پس از درج ویژگی‌های کامل هر نمونه به آزمایشگاه شرکت ACME در ونکوور کانادا ارسال شده‌اند. نمونه‌های ارسالی با نگهداری در محیط مناسب در کمتر از ۱/۵ ماه، مورد تجزیه شیمیایی ۷۲ عنصری به روش ICP-MS قرار گرفته‌اند. خطاهای تجزیه‌ای (صحت و دقت) بر اساس محلول استاندارد WASTE WATER D3 به‌کار گرفته شده در آزمایشگاه ACME و نمونه‌های تکراری به‌طور تصادفی انتخاب شده برای بیشتر عناصر بویژه Sb، As زیر ۵ درصد برآورد شده است. نتایج متغیرهای فیزیکوشیمیایی و تجزیه شیمیایی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در جدول ۱ و نتایج تجزیه‌های شیمیایی تعدادی از عناصر اصلی و جزیی نمونه‌های آب چشمه‌ها و آب‌های آشامیدنی روستاهای محدوده مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده‌اند.

۴- بحث

با اندازه‌گیری متغیرهای فیزیکوشیمیایی(pH، Eh، EC، TDS، TH، TA، دما و شوری) و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب می‌توان نوع آب، گونه چیره عنصر آلاینده مورد نظر محلول در آب و کیفیت آب از نظر آشامیدن و آبیاری را تعیین نمود (یعقوب‌پور و همکاران، ۱۳۸۸). در شکل ۳ - الف نوع آب و در شکل ۳-ب ارتباط میان محتوای فلزی و pH نمونه‌های آب آشامیدنی و آب چشمه‌های محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول ۱ می‌توان دریافت که کیفیت آب چشمه‌های محدوده مورد مطالعه از نظر متغیرهای فیزیکوشیمیایی تفاوت‌های چشمگیری با هم دارند. از میان چشمه‌های موجود، آب چشمه Aq.D1-1 رنگ سرخ روشن دارد و میزان گازهای محلول در آن به نسبت بالا است. نمونه آب چشمه SP.5 نیز رنگ آبی روشن متمایل به شیری دارد. دیگر نمونه‌ها بدون رنگ و بوی خاصی هستند. چشمه‌های Aq.D1-1 و Sp.5 در مقایسه با سایر چشمه‌ها کمترین مقادیر pH و بالاترین مقادیر EC ، TDS ، شوری، Ca^{2+}، Mg^{2+}، CO_3^{2-}، HCO_3^{-}، SO_4^{2-}، Cl^{-}، K^{+} ، TH و TA را دارند. نتایج محاسبه ضرایب همبستگی میان متغیرهای فیزیکوشیمیایی نیز گویای همین واقعیت است به‌گونه‌ای که pH، همبستگی منفی معنادار بالایی را با Eh، TDS، EC، شوری، HCO_3^{-}، CO_3^{2-}، K^{+}، TA و همبستگی متوسطی را با Cl^{-} و TH نشان داده است (یعقوب‌پور و همکاران، ۱۳۸۸).

اگرچه pH تأثیر مستقیمی روی سلامتی انسان ندارد اما رابطه نزدیکی با متغیرهای فیزیکوشیمیایی آب دارد (Garg et al., 2009). با اندازه‌گیری مقادیر EC که رابطه مستقیمی با مقدار مجموع نمک‌های محلول در آب دارد می‌توان به‌طور نسبی آلودگی معدنی (غیرآلی) آب را مشخص ساخت. مقادیر EC بالا معمولاً به‌شوری بالا و محتوای کانیایی محل برداشت نمونه نسبت داده شده است (Garg et al., 2009). همچنین مقادیر بالای EC می‌تواند از تبادل یونی و پدیده انحلال در آبخوان ناشی شود (Sanchez-Perez and Tremolieres, 2003). مقادیر TDS آب نیز رابطه مستقیمی با شوری آب دارد (Garg et al., 2009). بر اساس گزارش مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI)، TDS نقش مستقیمی در ایجاد خطرات بهداشتی ندارد اما باعث می‌شود جذب و دفع نمک‌های محلول در آب در بدن انسان به تأخیر افتد و زمینه ایجاد سنگ کلیه بالا برود. غلظت بالای TDS می‌تواند ضمن کاهش دلپذیری (Palatability) آب، باعث ایجاد سوزش معده و روده (Gastrointestinal irritations) در انسان شود. سازمان بهداشت جهانی بالاترین غلظت قابل قبول (Maximum acceptable concentration) TDS آب زیرزمینی را برای مصارف خانگی ۱۵۰۰ mg/l تعیین کرده است (WHO, 2007).

قلیائیت (Alkalinity) بالای آب آشامیدنی نیز افزون بر این که مزه آب را ناخوشایند می‌سازد در صورت بالا بودن مقادیر TDS، TH و pH به‌سلامتی انسان صدمه می‌زند. سختی کل (TH) بالای آب آشامیدنی نیز باعث افزایش ریسک رسوب آهک در شریان‌ها، سفت شدن مجاری ادراری، ایجاد بیماری‌های کلیوی و اختلالاتی در مثانه و معده می‌شود(Garg et al., 2009). مقدار مجاز سختی کل(به‌صورت $CaCO_3$) که یکی از مهم‌ترین خواص آب مورد استفاده برای مصارف خانگی است بر طبق استانداردهای WHO ، ۱۰۰mg/l و طبق استانداردهای کشور هند(BIS, 1991)، ۲۰۰ mg/l تعیین شده است(Garg et al., 2009). در جدول ۳ پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب آشامیدنی روستاهای آغ‌دره با مقادیر استاندارد مقایسه شده است.

برای بررسی کیفیت آب چشمه‌های محدوده مورد مطالعه از نظر شرب و آبیاری از نمودارهای Scholler (شکل ۴- الف) و Wilcox (شکل۴- ب) نیز استفاده شده است(مقیمی، ۱۳۸۵). در مورد آب‌های آشامیدنی افزون بر متغیرهای فیزیکوشیمیایی و نوع آب(بر اساس ترکیب شیمیایی آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی)، غلظت عناصر بالقوه سمناک نیز در نظر گرفته شده است(جدول ۲).

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به شکل ۳- الف نوع آب‌های محدوده مورد مطالعه بیشتر از نوع کلسیم- کربناتی است و از نظر محتوای فلزی و pH (شکل ۳- ب) به‌استثنای نمونه‌های آب چشمه‌های Aq.D1-1 و Sp.5 (در محدوده کم و بیش خنثی با محتوای فلزی بالا)دیگر نمونه‌ها در محدوده تقریباً خنثی با محتوای فلزی پایین قرار گرفته‌اند. در مورد آب‌های آشامیدنی روستاهای محدوده مورد مطالعه نیز با توجه به‌نتایج جدول ۱ می‌توان دریافت که آب روستای آغ‌دره پایین(تامین شده از چشمه D.W.P) پایین‌ترین مقادیر pH و Eh در میان آب‌های آشامیدنی روستاهای منطقه و بالاترین مقادیر TDS، EC، شوری، Ca^{2+}، HCO_3^{-}، CO_3^{2-}، SO_4^{2-}، Cl^{-} ، TH و TA را دارد. بر اساس استانداردهای WHO آب چشمه‌های محدوده مورد مطالعه مقادیر سختی کل حدود۲ تا ۵ برابر حد مجاز دارند (جدول ۳). بر اساس استاندارد BIS، نیز آب

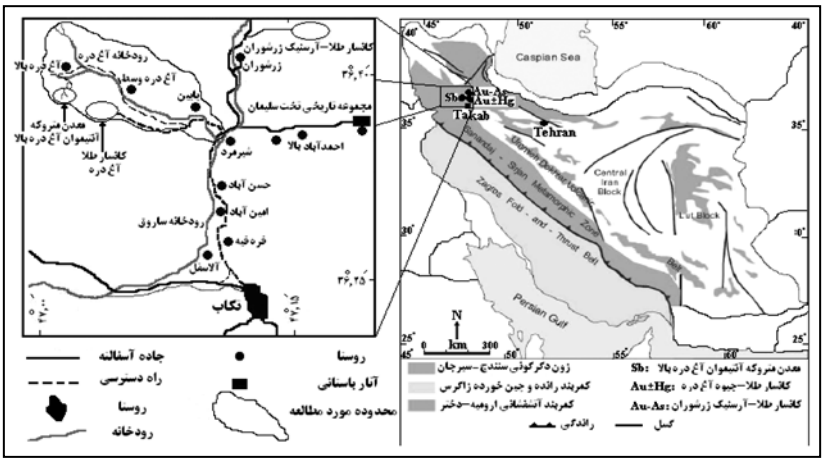
چشمه‌های Aq.D1-1 ، Sp.5 و D.W.P (آب آشامیدنی روستای آغ‌دره پایین) مقادیر سختی کل بالاتری از حد مجاز دارند. با توجه به این که آب با سختی کل بالای ۱۵۰ mg/l را آب سنگین و کمتر از ۶۰ mg/l را آب سبک می‌خوانند(صداقت، ۱۳۷۲) آب‌های آشامیدنی روستاهای محدوده مورد مطالعه از نوع سنگین به‌شمار می‌روند.

با مقایسه مقادیر قلیائیت کل(TA) آب‌های آشامیدنی روستاهای محدوده مورد مطالعه با مقادیر اشاره شده در استانداردهای BIS می‌توان نتیجه گرفت که آب‌های آشامیدنی روستاهای محدوده مورد مطالعه بدون مشکل هستند. با توجه به‌نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب چشمه‌های محدوده مورد مطالعه(جدول ۲) و مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر استاندارد، مشخص شده است که آب بعضی از چشمه‌های موجود از نظر عناصر بالقوه سمناک As و Sb آلوده می‌باشند. مقادیر غلظت مجاز As و Sb در آب آشامیدنی به‌ترتیب ۱۰ µg/l(ppb) و ۵ µg/l(ppb) تعیین شده است (WHO, 1997 & 2007). بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که فقط آب آشامیدنی روستای آغ‌دره پایین (چشمه W.D.P) دارای غلظت As حدود ۳ برابر حد مجاز است. دلیل بالا بودن غلظت As در آب این چشمه جنس سنگ‌های مسیر عبور تا ظهور آب چشمه (تراورتن‌های کانی‌سازی شده) می‌باشد(شکل ۲- ب). حال آن که جنس سنگ‌های محل پیدایش چشمه D.W.B (تأمین کننده آب آشامیدنی روستای آغ‌دره بالا) گرانیت و آهک کانی‌سازی نشده و چشمه D.W.V (تأمین کننده آب آشامیدنی روستای آغ‌دره وسط) مارن و شیل‌های سبز کانی‌سازی نشده می‌باشد. از نظر Sb آب‌های آشامیدنی روستاهای محدوده مورد مطالعه بدون آلودگی هستند. بالاترین غلظت عناصر As و Sb در میان چشمه‌های محدوده مورد مطالعه به‌چشمه‌های Aq.D1-1 و Sp.5 تعلق دارد. در مورد چشمه Aq.D1-1 با مقایسه غلظت نمونه فیلتر شده (Aq.D1-1.F) با نمونه فیلتر نشده آن (Aq.D1-1.T) (جدول ۲) می‌توان دریافت که حدود۵ درصد از غلظت کل آرسنیک و ۲/۵ درصد از غلظت کل آنتیموان در فاز حل‌شده موجود می‌باشند، مابقی غلظت این عناصر به‌صورت فاز ذره‌ای حضور دارند. این چشمه از شیل‌های سیاه حاوی کانی‌های پیریت آرسنیکی، آرسنوپیریت، اسکرودیت و استیبنیت که در مطالعات یعقوب‌پور و همکاران (۱۳۸۸) به‌عنوان یکی از سنگ‌های منشأ اصلی آلودگی As و Sb آب و رسوبات بستر رودخانه آغ‌دره در محدوده مورد مطالعه معرفی شده‌اند، بیرون زده است(شکل‌های ۲- الف و ب) به‌همین دلیل آلودگی آب چشمه Aq.D1-1 منشأ زمین‌زاد دارد و مکانیسم بالا رفتن غلظت عناصر آلاینده As و Sb در آب این چشمه اکسایش و انحلال بخشی از محتوای As و Sb موجود در کانی‌های منشأ این عناصر در شیل‌های سیاه می‌باشد. چشمه Sp.5 نیز که از نظر As و Sb آلودگی پایین‌تری نسبت به‌چشمه Aq.D1-1 دارد در پایین‌دست سدهای باطله واحد استحصال طلای آغ‌دره واقع شده است. بر اساس بررسی‌های به‌عمل آمده مشخص شده است که بالا بودن غلظت عناصر As و Sb و رنگ شیری آب چشمه Sp.5 به‌دلیل نشت پساب ذخیره شده در پشت سدهای باطله واحد استحصال طلای آغ‌دره (شکل ۲- الف) است که غلظت بالایی از عناصر As و Sb به‌صورت گونه‌های محلول دارد (سمیعی، ۱۳۸۴) و نفوذ آن به‌آب چشمه‌های واقع در پایین‌دست می‌باشد بنابراین منشأ آلودگی آب چشمه Sp.5 انسان زاد تعیین می‌شود.

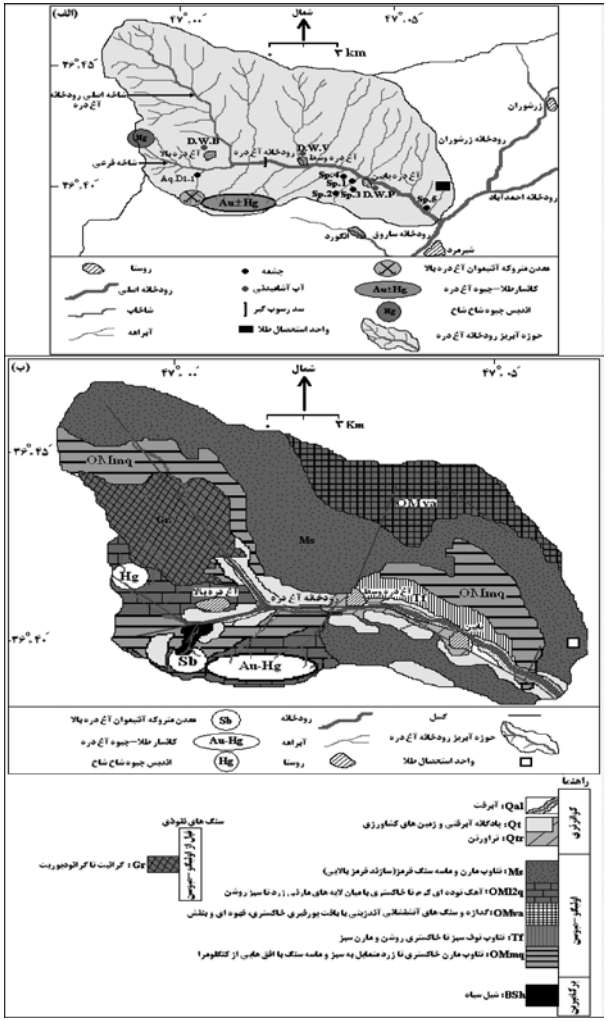
در نمودارهای Wilcox و Scholler (شکل‌های ۴- الف و ب) نیز نمونه‌های آب همه چشمه‌ها به‌غیر از چشمه‌های Aq.D1-1 و Sp.5 در محدوده با خطر شوری متوسط برای آبیاری و از نظر کیفی قابل قبول برای آشامیدن و نمونه‌های آب چشمه‌های Aq.D1-1 و Sp.5 در محدوده با خطر شوری بالا(نامناسب برای آبیاری زمین‌های کشاورزی) و کیفیت آب متوسط قرار گرفته‌اند که البته با توجه به‌بالا بودن غلظت عناصر سمناک As و Sb در آب آنها نباید برای آشامیدن استفاده شوند.

سپاسگزاری

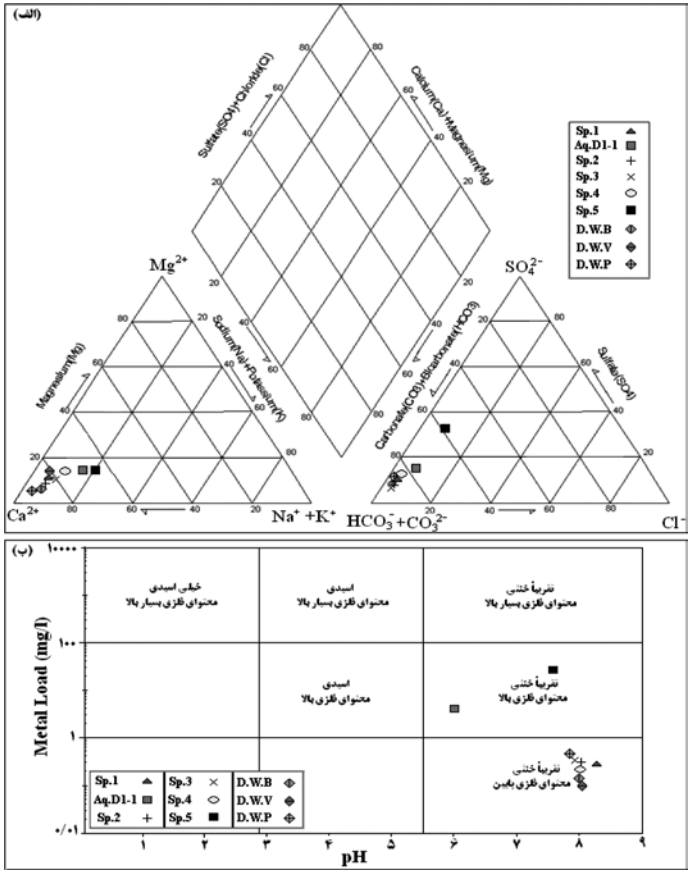
بدین وسیله از حمایت مالی معاونت محیط زیست انسانی سازمان حفاظت محیط‌زیست، همکاری معاون محترم معدنی سازمان صنایع و معادن استان آذربایجان‌غربی(آقای مهندس اکبر طاهری) و مدیریت محترم شرکت پویا زرکان آغ‌دره (بهره‌بردار معدن و واحد استحصال طلای آغ‌دره- تکاب) سپاسگزاری می‌شود.



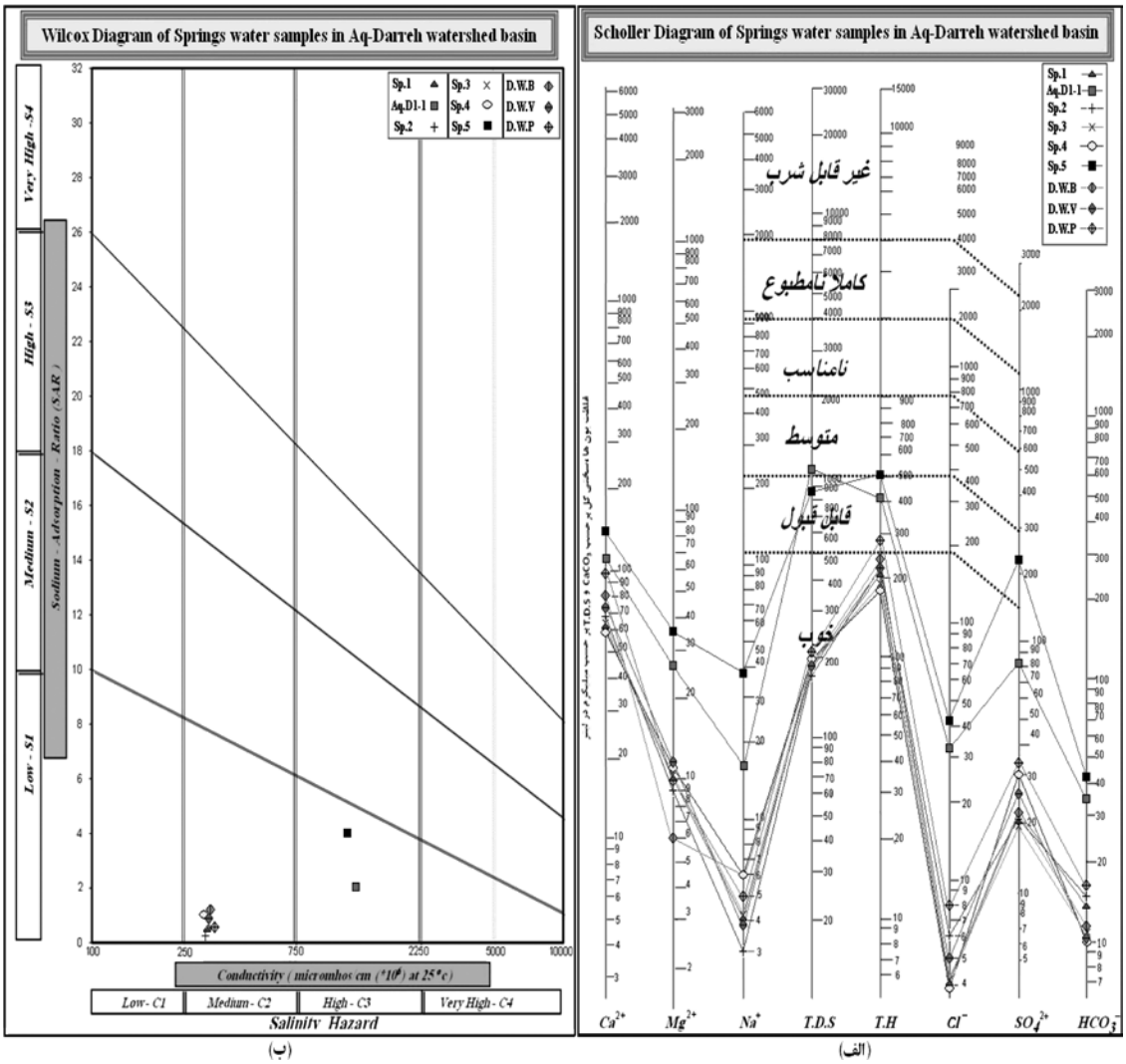
شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در نقشه ساده شده زمین‌شناسی ایران.



شکل ۲- الف) محل‌های نمونه‌برداری از محدوده مورد مطالعه، ب)نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز رودخانه آغ‌دره (D.W.B: آب آشامیدنی روستای آغ‌دره بالا، D.W.V: آب آشامیدنی روستای آغ‌دره وسط، D.W.P: آب آشامیدنی روستای آغ‌دره پایین، Sp.: آب چشمه).



شکل ۳ - الف) نوع آب چشمه‌های محدوده مورد مطالعه بر اساس ترکیب شیمیایی آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در نمودار Piper، ب) ارتباط بین محتوای فلزی (As+Cd+Co+Cr+Cu+Pb+Se+Sb+Sr+U+V+Zn) و pH نمونه‌های آب آشامیدنی و آب چشمه‌های محدوده مورد مطالعه (Milu et al., 2002).



شکل ۴- موقعیت نمونه‌های آب؛ الف) در نمودار نیمه لگاریتمی کیفیت آب از نظر آشامیدن (نمودار Scholler) ب) در نمودار گروه‌بندی آب از نظر آبیاری (نمودار Wilcox).

جدول ۱- نتایج اندازه‌گیری متغیرهای فیزیکوشیمیایی و کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی نمونه‌های آب چشمه‌های محدوده مورد مطالعه (Sp : چشمه آب؛ T : نمونه آب فیلتر نشده؛ D.W.B : آب آشامیدنی روستای آغ‌دره بالا؛ D.W.V : آب آشامیدنی روستای آغ‌دره وسط؛ D.W.P: آب آشامیدنی روستای آغ‌دره پایین).

ایستگاه نمونه‌برداری	pH	Eh (mV)	TDS (mg/l)	EC (µS/cm)	شوری (٠/٠٠)	دما (°C)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	K^{+} (mg/l)	Na^{+} (mg/l)	CO_3^{2-} (mg/l)	HCO_3^{-} (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	سختی کل (TH) (mg/l)	قلیائیت کل (TA) (mg/l)
Sp.1.T	۸/۲۶	-۵۷/۵	۱۸۴	۳۱۸	۰/۱	۱۶/۶	۶۴	۱۰	۱	۴	۱۶۹	۱۴	۲۲	۴	۲۰۱	۱۸۹
Aq.D1-1.T	۶/۱۴	-۵۶/۴	۱۰۰۷	۱۴۷۱	۱/۱	۱۱/۴	۱۱۶	۲۷	۸	۱۷	۳۶۱	۳۶	۸۱	۳۲	۴۰۱	۴۲۲
D.W.B	۸/۰۶	-۵۳/۷	۱۸۷	۳۲۵	۰/۱	۱۲/۴	۸۱	۶	۲	۵	۱۷۲	۱۲	۲۱	۴	۲۲۷	۱۷۸
D.W.V	۸/۱۱	-۵۱/۴	۱۹۲	۳۱۸	۰/۱	۱۱/۳	۶۹	۱۱	۱	۴	۱۶۶	۱۰	۲۶	۵	۲۱۷	۱۸۱
D.W.P	۷/۸۶	-۴۳/۶	۲۱۱	۳۴۳	۰/۲	۱۲/۲	۹۸	۱۰	۱	۵	۲۲۱	۱۷	۳۳	۸	۲۸۶	۲۴۵
Sp.2.T	۸/۰۲	-۵۰/۳	۱۸۱	۳۰۹	۰/۱	۱۰/۷	۶۶	۹	۱	۳	۱۷۲	۱۵	۲۱	۶	۲۰۲	۱۹۳
Sp.3.T	۷/۹۸	-۵۲/۱	۱۹۳	۳۲۲	۰/۱	۱۱/۱	۶۲	۱۰	۱	۴	۱۶۷	۱۲	۱۹	۴	۱۹۶	۱۸۳
Sp.4.T	۸/۰۴	-۴۹/۴	۱۹۷	۳۰۴	۰/۱	۱۰/۶	۶۰	۱۱	۲	۶	۱۶۴	۱۰	۳۰	۴	۱۹۵	۱۷۸
Sp.5.T	۷/۷۴	-۳۱/۴	۸۹۸	۱۳۲۷	۰/۷	۱۲/۴	۱۴۱	۳۶	۹	۳۸	۳۷۱	۴۱	۲۳۵	۴۱	۵۰۰	۴۳۲

جدول ۲- نتایج تجزیه‌های شیمیایی تعدادی از عناصر اصلی و جزیی نمونه آب چشمه‌های محدوده مورد مطالعه (در تمامی نمونه‌های آب غلظت Hg کمتر از ۰/۲µg/l، Cr کمتر از ۰/۵µg/l، Bi، Sn، Ag، Th کمتر از ۰/۰۵µg/l بوده است).

عناصر	As	Ba	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Pb	S	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
حد تشخیص	۰/۵ µg/l	۰/۰۵ µg/l	۰/۰۵ µg/l	۰/۰۲ µg/l	۰/۱ µg/l	۱۰ µg/l	۰/۰۵ µg/l	۰/۱ µg/l	۱ µg/l	۰/۰۵ µg/l	۰/۵ µg/l	۰/۰۱ µg/l	۰/۰۲ µg/l	۰/۲ µg/l	۰/۵ µg/l
Sp.1.T	۳/۰	۱۲۱/۷۳	۰/۱۰	۰/۱۲	۶/۸	۵۰	۱۷/۹۱	۱/۵	۱۲	۰/۷۸	۰/۵	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۲	۱۳/۳
Aq.D1-1.T	۳۷۵۳/۰	۱۰۱/۱۳	۰/۲۸	۲۶/۸۲	۴/۹	۵۸۰۲۸	۱۰۹۰/۰۰	۸/۵	۱۵۹	۳۱۹/۸۴	۱/۶	۱/۸۷	۸/۲۶	۵/۶	۳۴/۵
Aq.D1-1.F	۱۸۷/۰	۳۷/۹۵	۰/۱۳	۲۳/۱۱	۱/۹	۱۵۷۸۶	۱۰۳۰/۳۷	۱/۱	۱۴۹	۸/۶۳	۱/۳	۰/۰۳	۶/۸۰	۰/۲	۱۵/۳
D.W.B	۷/۰	۲۵۳/۴۹	۰/۰۸	۰/۷۶	۳/۳	۳۴	۵۵۶/۲۶	۰/۵	۴	۱/۱۲	۰/۵	۰/۰۷	۱/۶۹	۰/۲	۱۰/۰
D.W.V	۱۱/۸	۱۴/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۳	۳/۴	۱۶۷	۱۳/۳۸	۲/۸	۱۳	۵/۰۱	۱/۶	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۲	۷/۸
D.W.P	۲۹/۵	۷۸/۲۲	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۴	۱۰	۰/۰۵	۰/۳	۵	۰/۷۳	۰/۵	۰/۰۱	۰/۵۸	۰/۲	۷/۰
Sp.2.T	۳/۱	۱۱۵/۶۸	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۷	۱۷۱	۴۱/۵۴	۱/۱	۱۸	۲/۳۷	۰/۵	۰/۰۱	۰/۷۳	۰/۲	۱/۴
Sp.3.T	۱/۳	۱۰۷/۴۴	۰/۲۹	۰/۰۷	۰/۵	۸۲	۱۶/۱۶	۳/۶	۱۶	۰/۸۹	۰/۵	۰/۰۱	۰/۸۴	۰/۲	۰/۵
Sp.4.T	۲۲/۰	۱۰۴/۸۸	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۴	۲۶	۰/۱۴	۰/۴	۳	۰/۵۶	۰/۵	۰/۰۱	۰/۴۷	۰/۲	۰/۵
Sp.5.T	۱۶۱/۹	۴۰/۱۷	۱/۶۲	۳۵۸/۸۷	۲۰/۶	۳۰۶۹	۱۴۲۶/۸۳	۲۶/۰	۷۲۷	۳/۰۴	۶/۹	۱/۰۰	۵/۲۸	۱/۱	۱۱۹/۲
Sp.5.F	۱۱۲/۷	۱۲/۶۱	۰/۴۲	۲۹۶/۳۹	۱۰/۷	۸۸	۱۰۵۳/۷۸	۳/۰	۶۸۳	۲/۰۶	۵/۹	۰/۶۰	۴/۱۳	۰/۹	۶۳/۵

(T: نمونه آب فیلتر نشده؛ F: نمونه آب فیلتر شده)

جدول ۳ - مقایسه متغیرهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب آشامیدنی روستاهای آغ‌دره با مقادیر استاندارد (غلظت کاتیون‌ها، آنیون‌ها و دیگر متغیرها به غیر از pH بر حسب mg/l هستند).

متغیر	روستاها			استانداردهای BIS (۱۹۹۱)		استانداردهای WHO (۱۹۹۷ و ۲۰۰۷)
-------	آغ‌دره بالا	آغ‌دره وسط	آغ‌دره پایین	حدود قابل قبول	بیشینه مجاز	--------
pH	۸/۰۶	۸/۱۱	۷/۸۶	۷/۰-۸/۵	۶/۵-۹/۲	۶/۵-۹/۲
TDS	۱۸۷	۱۹۲	۲۱۱	۵۰۰	۱۵۰۰	۵۰۰
TH	۲۲۷/۱	۲۱۷/۶	۲۸۶/۰	۲۰۰	۶۰۰	۱۰۰
TA	۱۷۸	۱۸۱	۲۴۵	۲۰۰	۶۰۰	–
Na^+	۶	۴	۵	۵۰	–	–
K^+	۲	۱	۱	--------	–	–
Ca^{2+}	۸۱	۶۹	۹۸	۷۵	۲۰۰	۷۵
Mg^{2+}	۶	۱۱	۱۰	۳۰	۱۰۰	۱۵۰
HCO_3^-	۱۲	۱۰	۱۷	۳۰	–	۱۵۰
Cl^-	۴	۵	۸	۲۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰
SO_4^{2-}	۲۱	۲۶	۳۳	۲۰۰	۴۰۰	۲۰۰

کتابنگاری

باباخانی، ع. و قلمقاش، ج.، ۱۳۷۴- نقشه زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰: ۱ تخت‌سلیمان. چاپ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

سمیعی، ع.، ۱۳۸۴- بهینه‌سازی پارامترهای موثر در فرایند جذب و بازیافت سیانید از آب سد باطله کارخانه فرآوری طلای آغ‌دره بر روی کربن فعال. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مهندسی معدن-فرآوری مواد معدنی، دانشگاه تربیت مدرس.

صداقت، م.، ۱۳۷۲- زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)، انتشارات دانشگاه پیام نور.

مقیمی، ه.، ۱۳۸۵- هیدروژئوشیمی، انتشارات دانشگاه پیام نور.

یعقوب‌پور، ع.، رحیم‌سوری، ی.، و شهریاری، م.، ۱۳۸۸- ژئوشیمی زیست‌محیطی محدوده معدنی آغ دره-تکاب، یافتن منشأ عناصر آلاینده آرسنیک، آنتیموان و جیوه و بررسی تأثیر فعالیت‌های معدن‌کاری و صنایع معدنی در ایجاد آلودگی منابع آب، رسوبات و خاک منطقه. گزارش نهایی طرح پژوهشی، سازمان حفاظت محیط زیست.

References

BIS (Bureau of India Standards), 1991- Indian standard specification for drinking water. IS, 10500, pp 2-4.

Garg, V. K., Suthar, S., Singh, S., Sheoran, A., Meenakshi, G., & Jain, S., 2009- Drinking water quality in villages of southwestern Haryana, India: assessing human health risks associated with hydrochemistry, Environmental Geology, 58: 1329-1340.

Milu, V., Leroy, J. L. & Peiffert, C., 2002- Water contamination downstream from a copper mine in the Apuseni Mountains, Romania. Environmental Geology, 42: 773-782.

Modabberi, S. & Moore, F., 2004- Enviromental geochemistry of Zarshuran Au-As deposit, NW Iran. Environmental Geology, 46: 796-807.

Sanchez-Perez, J. M. & Tremolieres, M., 2003- Changes in groundwater chemistry as a consequence of suppressions of floods. Rhine floodplains case. Journal of Hydrolgy, 270:89-04.

Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonic of Iran, a review, American Association of Petroleum Geology Bulletin. K52(7): 1229-1258.

WHO, 1997- Guideline for drinking water quality health criteria and other supporting information,Vol. 2, 2nd edition. Geneva.

WHO, 2007- Chemical safety of drinking water: assessing priorities for risk managements. Geneva.

Wilde, F. D., Radtke, D. B., Gibs, J. & Iwatsubo, R. T., 1998- National field manual for the collection of water quality Data- Selection of equipment for water sampling. U.S. Geological Survey Techniques of water resources investigations, Book 9, Chap. A2, variously paged.