دانش مخاطرات/ دورهٔ ۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۴/ ص ۸۵-۱۰۴

ارزیابی مخاطرات آلودگی شیمیایی آب کارستی غار قوری‌قلعه

سعید خضری*
دانشیار دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه کردستان؛ سنندج، ایران

مهوش مروتی
دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی دانشگاه کردستان؛ سنندج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۸- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱/۳۰)

چکیده

مطالعهٔ کیفیت آب‌های زیرزمینی مناطق کارستی اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش، آلودگی شیمیایی آب‌های کارستی غار قوری‌قلعه ارزیابی و سعی شد از طریق آزمایش و نمونه‌برداری‌های اصولی، نتایج آلودگی‌ها مشخص و تحلیل شده و از طریق بازدیدهای میدانی و مصاحبه با کارشناسان مرتبط، نقش عوامل دخیل در آلودگی آب غار شناسایی شود. نمونه‌برداری از آب مدخل غار و بخش انتهایی آن طی دورهٔ شش‌ماهه صورت گرفت و غلظت فلزات سنگین و کاتیون‌های اصلی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته یا قلیایی بودن (Ph)، نرخ مصرف اکسیژن در داخل آب توسط ارگانیسم‌ها (BOD) و نیترات (No_3) نیز سنجیده شد. آرسنیک و سرب به روش جذب اتمی؛ آهن، منیزیم و منگنز به روش شعله‌ای؛ و لیتیوم، سدیم، کلسیم و پتاسیم به روش فتومتری اندازه‌گیری شد. Ph با Phمتر، EC با ECمتر، BOD با BODمتر و نیترات به روش یون کروماتوگرافی IC سنجیده شده و نتایج آزمایشگاهی غلظت‌ها با معیارهای استاندارد آب آشامیدنی مقایسه شد. براساس نتایج، غلظت برخی عناصر آب غار مانند آرسنیک و سرب از حد مجاز آب آشامیدنی بیشتر است و مخاطره‌ای جدی برای سلامت انسان محسوب می‌شود. براساس ارزیابی‌ها، منشأ این نوع آلودگی‌ها عامل زمین‌شناسی و وجود رگه‌های معدنی در منطقه، سوخت ناشی از کوره‌های آهک‌پزی و فاضلاب‌ها تشخیص داده شد. دلیل غلظت زیاد عناصر آهن، منگنز و منیزیم، عبور آب از خاک‌ها و سنگ‌های سطح زمین و نفوذ آن به درون غار است. عناصر اخیر سبب تغییر رنگ، کدورت و طعم آب غار شده‌اند. میزان BOD زیاد است که دلیل آن عملکرد فاضلاب‌ها و ریختن مواد زاید بازدیدکنندگان غار در داخل آب غار تشخیص داده شد. براساس داده‌های به‌دست‌آمده از نتایج آزمایشگاهی، رابطه‌ای با تأخیر یک‌ماهه بین حداکثر زمان بارندگی ماهیانه و بیشترین مقدار عناصر پتاسیم، منگنز، نیترات و سدیم وجود دارد. یک ماه پس از نزول حداکثر بارش یعنی در فروردین، عناصر مذکور به بیشترین مقدار خود می‌رسند. این زمان تأخیری برای بروز حداکثر مقدار سرب دو ماه، و برای حداکثر مقدار لیتیوم و کلسیم سه ماه نسبت به حداکثر بارش است. بر پایهٔ حداقل بارش دوره، تنها مقدار حداقل سرب تابع رواناب حاصل از بارندگی است و رابطه‌ای بین حداقل‌های ثبت‌شدهٔ عناصر دیگر با حداقل بارندگی دورهٔ زمانی دیده نمی‌شود. با توجه به موارد بالا، نظارت مستمر و دقیق بر غار، استفاده از استانداردها و تجارب بین‌المللی در مدیریت آن، ارتقای سطح آگاهی عمومی بازدیدکنندگان و محدود کردن تعداد آنها، خارج کردن مواد زاید و تأسیسات آلوده‌کنندهٔ محیط غار و رفع مخاطرات طبیعی و انسانی سطح بیرونی حوضهٔ آبگیر غار جزو اقدامات الزامی به‌منظور رفع مخاطرات تهدیدکنندهٔ آب کارستی غار قوری‌قلعه است.

واژه‌های کلیدی: آب کارست، آلودگی، تجزیهٔ شیمیایی، غار قوری‌قلعه، مخاطره.

* نویسنده مسئول
Email: skhezri@uok.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

علاوه بر کمبود منابع آب که معضل اساسی جوامع بشری است، آلودگی آب‌ها نیز مشکلات را دوچندان می‌کند [۴]. بخش اساسی آب شرب ایران از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود [۲]. سازمان‌های زیست‌محیطی امروزه محافظت از آب‌های زیرزمینی را در اولویت قرار داده‌اند. فقدان آب شیرین چالشی جهانی را به‌وجود خواهد آورد [۱۰]. اهمیت آب‌های زیرزمینی به‌عنوان منابع تأمین آب شرب میلیون‌ها نفر پوشیده نیست و تأمین آب شرب مراکز جمعیتی کوچک، چالشی مهم در بهداشت جهانی شناخته شده است [۲۱،۱۲]. نگرانی اصلی در سلامت عمومی استفاده از سفره‌های آبدار آسیب‌پذیر به‌عنوان آب شرب است [۱۱،۱۴]. کیفیت آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر نحوهٔ استفاده از آنهاست [۱۸]. کیفیت آب‌های زیرزمینی ممکن است در طول زمان بهره‌برداری تغییر کند یا تحت تأثیر فعالیت‌های بشری قرار گیرد که این اثر همیشه دارای شواهد سریعی نیست. منشأ آلودگی آب زیرزمینی رابطهٔ بسیار نزدیکی با استفادهٔ انسان از آب دارد [۱۵]. آلودگی می‌تواند نحوهٔ استفاده از آب را تحت تأثیر قرار دهد و از طریق انتشار بیماری‌ها، مخاطراتی را برای بهداشت عمومی ایجاد کند [۲۰]. آب سطحی همراه با فاضلاب ممکن است به داخل آب‌های زیرزمینی نفوذ کند و سبب شیوع بیماری‌های گوارشی شود [۱۷].

آلودگی‌های مختلف در آب‌های زیرزمینی، زیان‌های زیست‌محیطی فراوانی دارد و تأثیرات آلاینده‌های مختلف بر محیط زیست نیز متفاوت‌اند [۱۶]. ازاین‌رو لازمهٔ هر گونه اقدام برای کنترل و کاهش آلاینده‌های آب‌های زیرزمینی، آگاهی کامل از نحوهٔ توزیع و پراکندگی آلاینده‌هاست [۳]. حفاظت کیفی از آب زیرزمینی از اهمیت زیادی برخوردار است و رفع آلودگی آن بسیار پرهزینه و فرایند آن طولانی است [۲]. اطلاع از کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب، این امکان را فراهم می‌کند که ضمن استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده در مواقع لزوم بتوان راهکارهای مدیریتی نیز اتخاذ کرد تا کمترین آسیب به این منابع مهم و حیاتی وارد شود [۵].

در چند سال اخیر مسئلهٔ تخریب و آلودگی محیط‌های کارستی کشور و اکوسیستم‌های وابسته به آن در مجامع علمی طرح شده است، اما اغلب در قالب توصیف و بیشتر، حول محور اطلاع‌رسانی بوده است. برنامه‌ریزی‌های جامع و درازمدتی نیز برای حفظ، نگهداری، بهره‌برداری و احیای اکوسیستم‌های کارستی کشور وجود نداشته است و در بسیاری از موارد، به‌صورت محدود و در یک دورهٔ زمانی کوتاه به موضوع نگریسته شده و بررسی‌های همه‌جانبه‌ای صورت نگرفته یا دامنهٔ آنها محدود بوده است [۱].

Archive of SID

www.SID.ir

غار قوری‌قلعه در یک منطقهٔ کارستی واقع است. اهمیت آب مناطق کارستی بسیار زیاد است. آلودگی آب غار قوری‌قلعه می‌تواند تبعات زیست‌محیطی فراوانی داشته باشد. آب‌های زیرزمینی به‌طور معمول از طریق فرایندهای طبیعی (مانند شست‌وشوی خاک و اختلاط با منابع آب زیرزمینی آلوده) یا از طریق فعالیت‌های انسانی (دفع مواد زاید، معدن‌کاوی، فعالیت‌های کشاورزی و ...) در معرض آلودگی قرار می‌گیرند [۲۲].

آلودگی منابع آب زیرزمینی توسط آلاینده‌های مختلف از جمله فاضلاب‌های صنعتی و شهری باعث تقلیل کیفیت این منابع آبی گردیده و حتی در بعضی از مناطق احتمال غیر قابل استفاده شدن آنها را موجب شده‌اند. براساس مطالعات، آب‌های زیرزمینی در مناطق کارستی و غیر کارستی در سال‌های اخیر آلوده شده‌اند. برای نمونه مقایسهٔ غلظت آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت تهران نشان داده که مقادیر کل و قابل جذب فلزات سمی در آب‌های زیرزمینی مربوطه در سال‌های تحقیق رو به افزایش بوده است [۱۹]. همچنین تحقیقی دربارهٔ آب مصرفی شهر همدان (که از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شد) انجام گرفت، نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین در آب آشامیدنی مزبور بیش از حد استاندارد آب شرب بوده است. نتایج نمونه‌برداری از ۹۰ نمونه آب در پژوهشی دیگر نشان داد که میانگین غلظت عناصر سرب، مس، کادمیوم و کروم از مقدار استاندارد بیشتر است [۱۳].

در زمینهٔ جنبه‌های مخاطره‌آمیز غارها و مناطق کارستی منابع آبی زاگرس نیز نتایج خوبی به‌دست‌آمده است. موسایی و همکاران مهم‌ترین عامل آلایندهٔ آبخوان‌های زردکوه را برخی فعالیت‌های انسانی و نیز عوامل طبیعی مانند تغییرات جوی می‌دانند [۸]. رشد صنعت گردشگری از عمده‌ترین راه‌های آلودگی آبخوان‌هاست. مسئلهٔ مهم‌تر افزایش گردوغبار محلی و ذرات معلق هواست که از مناطق همجوار وارد شده‌اند و با ورود به سیستم درز و شکاف‌ها و نیز نشستن بر روی لایه‌های برفی در فصل ذوب برف‌ها به لایه‌های زیرین انتقال یافته‌اند و وارد جریان آب زیرزمینی شده‌اند. نتیجهٔ این پدیده، افزایش کدورت آب چشمه‌های کارستی منطقه بوده است [۸]. به استناد موارد بالا و منابع مطالعاتی داخلی و خارجی دیگر در خصوص آلودگی آب‌های مناطق کارستی، بررسی و ارزیابی مخاطرات آب‌های زیرزمینی از جمله آب غارهای کارستی زاگرس ضروری است.

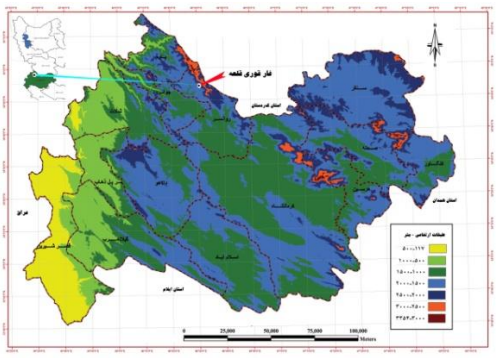
ویژگی‌های جغرافیایی غار

غار قوری‌قلعه در ۸۶ کیلومتری شهر کرمانشاه در مسیر جادهٔ روانسر - پاوه در موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۵ دقیقهٔ عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۲۹ دقیقهٔ طول شرقی، در دامنهٔ

Archive of SID

www.SID.ir

کوه شاهو واقع است. طول تقریبی غار ۱۳ کیلومتر است و مسیر ورودی غار از جنوب به شمال امتداد دارد. غار در منطقه‌ای کوهستانی واقع است و کوهی که غار در دامنهٔ آن جای دارد، بیش از ۳۰۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت غار در روی نقشه سطوح ارتفاعی استان کرمانشاه

بیشترین مساحت ارتفاعی این حوضه به طبقهٔ ارتفاعی ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ متر و کمترین مساحت به طبقهٔ ارتفاعی بیش از ۲۸۰۰ متر اختصاص دارد (جدول ۱). از نظر شیب در حوضهٔ آبگیر غار بیشترین مساحت شیب به طبقهٔ شیب ۳۰ تا ۶۰ درصد و کمترین مساحت به طبقهٔ شیب بالاتر از ۶۰ درصد اختصاص دارد (جدول ۲، شکل ۲).

جدول ۱. درصد مساحت طبقات ارتفاعی حوضهٔ آبگیر غار قوری‌قلعه

طبقات ارتفاعی	۱۳۴۳–۱۶۰۰	۱۶۰۰–۱۸۰۰	۱۸۰۰–۲۰۰۰	۲۰۰۰–۲۲۰۰	۲۲۰۰–۲۴۰۰	۲۴۰۰–۲۶۰۰	۲۶۰۰–۲۸۰۰	۲۸۰۰–۳۰۵۴
درصد مساحت	۸/۵۴	۳۵/۴۶	۱۴/۳۵	۹/۷۲	۸/۲۴	۱۵/۹	۶/۹	۰/۹

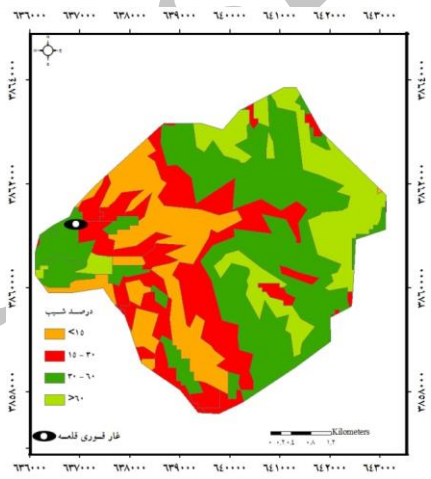
جدول ۲. درصد مساحت شیب حوضهٔ آبگیر غار قوری‌قلعه

طبقات شیب (درصد)	۱۵>	۱۵–۳۰	۳۰–۶۰	۶۰<
درصد مساحت	۱۸/۴۴	۲۵/۱۰۴	۳۹/۷۳	۱۶/۷۱

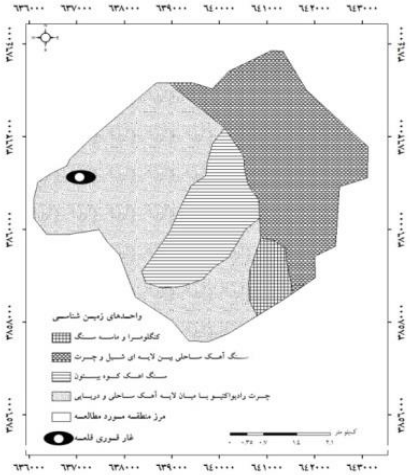
Archive of SID

www.SID.ir

غـار قـوری‌قلعـه و حوضـهٔ آبگیـر آن در زون زاگـرس رورانـده واقـع اسـت. براسـاس نقشـهٔ زمین‌شناسی منطقه، این غار در سازند آهکی بیستون قرار دارد. این سازند از نظر سـن بـه تریـاس پیشین- کرتاسهٔ پسین تعلق دارد. این سازند شـامل آهـک پلاژیـک و دارای فسـیل گلوبوترانکانـا است. سازند دربرگیرندهٔ غار شامل واحد زیرین آهک‌های رسیفی بیستون بـا سـن تریـاس بـالایی، ردیف‌های دولومیتی با سن ژوراسیک زیرین میانی، آهک‌های ضخیم لایهٔ سازند بیسـتون بـا سـن ژوراسیک بالایی- کرتاسهٔ بالایی و آهک‌های کرتاسهٔ زیرین و بالایی است [۶]. در مقیاس بزرگ‌تـر واحدهای زمین‌شناسی منطقهٔ مورد مطالعه شامل کنگلومرا و ماسه‌سـنگ، سـنگ بسـتر نـازک تـا ضخیم خاکستری، سنگ آهک ساحلی بین لایه‌ای شیل و چـرت، سـنگ آهـک سـازند بیسـتون، سنگ بستر نازک ارغوانی تا قرمز چرت با میان لایهٔ آهک ساحلی و دریایی است (شکل ۳).



شکل۲. نقشهٔ شیب حوضهٔ آبگیر غار



شکل۳. نقشهٔ زمین‌شناسی حوضهٔ آبگیر غار

از نظر طبقه‌بندی اقلیمی براساس روش سیلیانیف، محدودهٔ مطالعاتی نیمه‌مرطـوب اسـت. تعـداد روزهای یخبندان ۷۷/۵ روز است و سرعت متوسط باد سالیانه ۵/۵ نات و سـرعت بـاد غالـب سـالیانه ۱۰/۷ نات برآورد شده است. جهت باد میانگین و باد غالب سالیانه شمال غربی است. بیشترین تبخیـر ماهیانه در تیر و مرداد و کمترین آن در دی و بهمن است. تبخیر سالیانه در نزدیک‌ترین ایستگاه‌هـای سینوپتیک جوار غار ۲۱۴۵/۹ میلـی‌متـر بـرآورد شـده اسـت. براسـاس آمـار درازمـدت بارنـدگی در ایستگاه‌های هواشناسی روانسر و پاوه، متوسط بارندگی سـالیانه، بـه‌ترتیـب ۵۴۳/۹ و ۶۴۰ میلـی‌متـر است. حداکثر بارش ماهیانه مربوط به اسفند و حداقل آن، مربوط به تیر است [۷].

www.SID.ir

بر پایهٔ برداشت داده‌های هواشناسی از بهمن۱۳۹۲ تا مرداد ۱۳۹۳، میانگین دمای خشک داخل غار ۱۳/۸۸ و دمای تر ۱۴/۳۳ درجهٔ سانتی‌گراد است. طی این بازهٔ زمانی رطوبت نسبی داخل غار بالغ بر ۹۵ درصد بوده است. از نظر هیدروگرافی بر پایهٔ رتبه‌بندی آبراهه‌ای استراهلر، بالاترین رتبهٔ حوضهٔ آبگیر غار مورد مطالعه رتبهٔ ۳ است. تعداد آبراهه‌های درجهٔ یک، ۱۹ عدد و طول آنها در مجموع ۱۸/۰۷ کیلومتر؛ تعداد آبراهه‌های درجهٔ دو، سه عدد و طول آنها در مجموع ۵/۴۰ کیلومتر؛ و تعداد آبراهه‌های درجهٔ سه ۱ عدد و طول آن در مجموع ۴/۰۹ کیلومتر است. تعداد کل آبراهه‌های آبگیر غار ۲۳ عدد و طول آنها در مجموع ۲۷/۵۶۱ کیلومتر است. تراکم زهکشی ۱/۰۵۵ و نسبت انشعاب ۴/۷ است. مقادیر ضرایب محاسبه‌شدهٔ حوضهٔ آبگیر به‌ترتیب زیر است: ضریب فرم حوضه ۳/۶، ضریب فشردگی یا گرالیوس۱/۱۶، ضریب گردی ۰/۷۳۹۱۷ و ضریب کشیدگی حوضه ۰/۸۰۲ است.

از نظر کاربری، اراضی جنگل با تاج‌پوشش متوسط با ۶۴/۸ درصد بیشترین، و مراتع خوب با ۰/۱۹ درصد از مساحت حوضه کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. اگر از جنگل با تاج‌پوشش متوسط بگذریم، از نظر درصد مساحت به‌ترتیب کاربری‌ها عبارتند از: ۱. جنگل با تاج‌پوشش کم؛ ۲. مرتع با تاج‌پوشش فقیر؛ ۳. زراعت دیم؛ ۴. زراعت آبی؛ ۵. اراضی باغی؛ ۶. مراتع خوب.

با مقایسهٔ آبخوان آب غار قوری‌قلعه با آبخوان چشمه‌های کارستی همجوار به‌ترتیب بالاترین آبخوان به چشمهٔ کارستی پالنگان و پایین‌ترین آبخوان به چشمهٔ کارستی قلوز اختصاص دارد. آبخوان چشمه‌های کارستی تولکسان و روانسر نیز در حد متوسط قرار دارند [۹]. آبخوان آب غار قوری‌قلعه نسبت به چشمه‌های مذکور در حد بسیار پایین‌تری قرار دارد و وسعت آبخوان آن در حدود یک‌سوم چشمهٔ کارستی قلوز است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه بر روش آزمایشگاهی و تجزیه‌وتحلیل شیمیایی مخاطرهٔ آلودگی آب متکی است. در طی دوازده مرحله در محدودهٔ زمانی شش‌ماهه (دی، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد) سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در غار قوری‌قلعه در دو ایستگاه ابتدا و انتهای فاز قابل بازدید نمونه‌برداری شد. دلیل اصلی انتخاب بازهٔ زمانی یادشده، مقدار زیاد بارش در طی دورهٔ آماری در دو ایستگاه سینوپتیک روانسر و پاوه در اسفند (به‌ترتیب با ۱۰۱/۵ و ۱۲۱/۵ میلی‌متر) و همچنین روند کاهشی بارندگی سالیانه از خرداد با ۱/۳ میلی‌متر در ایستگاه روانسر و روند کاهشی آن به حداقل بارش ماه تیر (با ۰/۳ میلی‌متر) در همان ایستگاه است. البته این روند در ایستگاه پاوه نیز از ۱۱/۳ میلی‌متر به حداقل بارش ۱/۵ میلی‌متر در تیر ادامه داشته است. البته با توجه به اینکه فرض اصلی این پژوهش،

Archive of SID

www.SID.ir

دخالت دو عامل طبیعی و انسانی در آلودگی محیط غار و آب آن بوده است، براساس دورهٔ حداقل تعداد گردشگران در دی و روند افزایشی تعداد بازدیدکنندگان از فروردین به بعد و اوج‌گیری آن در مرداد، این بازهٔ زمانی انتخاب شده است. شایان ذکر است که اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی داخل غار از بهمن ۱۳۹۲ تا مرداد ۱۳۹۳ صورت گرفت و بر پایهٔ آن میانگین دمای خشک غار ۱۳/۸۸ و میانگین دمای تر ۱۴/۳۳ درجهٔ سانتی‌گراد به‌دست‌آمد و طی این بازهٔ زمانی رطوبت نسبی داخل غار بالغ بر ۹۵ درصد بود. گفتنی است که نتایج حاصل نیز برای این دوره ملاک عمل بوده و با وجود صحت زیاد نتایج براساس تجزیه‌وتحلیل‌های آماری (حاصل روش پرسشنامه‌ای کارشناسان دست‌اندرکار و مرتبط با غار) از تعمیم نتایج به کل سال پرهیز شده است.

برای ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب کارستی غار کیفیت‌سنجی سیزده عنصر و پارامتر شامل:Mg, Na, Ca, K, Fe, Li, Mn, As, Pb,Na_3,BOD,EC و Ph در آزمایشگاه گروه محیط زیست دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه کردستان و آزمایشگاه دانشگاه علوم پزشکی کردستان اندازه‌گیری شد (جدول‌های ۳ و ۴). قبل از تزریق نمونه‌های مجهول (نمونه‌های آب) به دستگاه، استانداردسازی با محلول استوک ۱۰۰۰ppm هر کدام از عناصر انجام گرفت. برای حفاظت و نگهداری، نمونه‌ها با اسید نیتریک ۱ درصد فیکس و در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد تا زمان قرائت نگهداری شدند. برای اندازه‌گیری آرسنیک و سرب از کورهٔ گرافیتی دستگاه جذب اتمیک و برای اندازه‌گیری آهن، منیزیم و منگنز از روش شعله‌ای بهره گرفته شد. اندازه‌گیری لیتیوم، سدیم، کلسیم و پتاسیم نیز به روش فتومتری انجام گرفت. در اندازه‌گیری پارامتر Ph از Phمتر دیجیتال استفاده شد. برای کالیبراسیون Phمتر از بافرهای Ph=4، Ph=7 و Ph =9 و برای اندازه‌گیری EC (هدایت الکتریکی) از دستگاه ECمتر بهره‌گیری شد. به‌منظور ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب زیرزمینی غار BOD (یا نرخ مصرف اکسیژن در داخل آب توسط ارگانیسم‌ها) با BOD متر و نیترات به روش یون کروماتوگرافیIC سنجیده شد. دستگاه‌های اندازه‌گیری عناصر و پارامترهای یادشده در جدول آورده شده است (جدول ۳).

جدول۳. نام دستگاه‌ها یا کشور سازنده برای آزمایش عناصر یا محاسبهٔ پارامترها

عناصر	دستگاه	مدل یا کشور سازنده
As,Mg,Fe,Mn,Pb	Atomic Absorption Spectrophotometer	Phoenix- 986
Na,K,Li,Ca	Flame photometer	BWB
Ph	Ph meter	BW_3
EC	EC meter	Metrohm
BOD	BOD meter	OXiDirect/ Germany
No_3	Chromatography	Switzerland

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

تجزیه‌وتحلیل شیمیایی نمونه‌ها

برای ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب کارستی غار، میانگین هر پارامتر در طول دوره محاسبه شد. نتایج تجزیهٔ نمونه‌های آزمایش‌شدهٔ دو ایستگاه (ورودی غار و ابتدای فاز دوم) در جدول آمده است (جدول ۴). نتایج آزمایش‌ها با معیارهای استاندارد آب آشامیدنی سازمان جهانی بهداشت و وزارت بهداشت ایران مقایسه شده‌اند. همچنین روند افزایشی یا کاهشی هر پارامتر در دو ایستگاه در مقایسه با اختلاف فاصلهٔ دو ایستگاه (۵۰۰ متر) محاسبه و براساس آن تغییرات مقدار عناصر و پارامترها در بالادست غار (۱۳کیلومتر) برآورد شده است. با توجه به ممکن نبودن برآورد دبی در بخش بالادست ایستگاه دوم وجود نوسانات دبی با توجه به افزایش یا کاهش آب در سیستم این غار کارستی، بر میانگین عناصر در دورهٔ تحقیق تکیه شده است. برای برآورد رابطهٔ بین مقدار دبی رواناب مجرای غار با تغییرات مقدار عناصر، مقدار بارش ماهیانهٔ دوره ملاک قرار گرفته و در دورهٔ زمانی مربوط نوسانات نشان داده شده‌اند (جدول ۵). براساس نتایج آزمایشگاهی رابطه‌ای با تأخیر یک‌ماهه بین حداکثر زمان بارندگی ماهیانه و حداکثر عناصر پتاسیم، منگنز، نیترات و سدیم وجود دارد. یک ماه پس از نزول حداکثر بارش در فروردین، عناصر مذکور به بیشترین حد می‌رسند. این زمان تأخیری برای بروز حداکثر مقدار سرب دو ماه و برای حداکثر مقدار لیتیوم و کلسیم سه ماه نسبت به زمان حداکثر بارش اختلاف دارد. براساس حداقل بارش دوره تنها مقدار حداقل سرب تابع رواناب حاصل از بارندگی است و رابطه‌ای بین حداقل‌های ثبت‌شدهٔ عناصر دیگر با حداقل بارندگی دورهٔ زمانی دیده نمی‌شود.

نتایج حاصل از میانگین آزمایش‌ها طی دورهٔ زمانی شش‌ماهه در جدول ۵ نشان داده شده و به‌ترتیب بررسی شده‌اند.

آرسنیک

در راستای ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب کارستی غار مقادیر آرسنیک به‌دست آمد. براساس میانگین‌گیری از نتایج حاصل دورهٔ زمانی نمونه‌برداری، مقدار آرسنیک در آب‌های زیرزمینی غار قوری‌قلعه در بازهٔ زمانی پژوهش در دو ایستگاه (الف- ورودی غار و ب- ابتدای فاز دوم غار) به‌ترتیب ۸/۸۸ و۷/۷۲ میلی‌گرم بر لیتر است. حد مجاز این عنصر براساس جدول سازمان جهانی بهداشت برای آب آشامیدنی حدود ۰/۰۱ است که در نمونه‌های برداشتی بیشتر از حد مجاز است. مقدار آرسنیک در طول فاصلهٔ دو محل نمونه‌برداری با حدود ۵۰۰ متر افزایشی حدود ۱/۱۶ گرم در لیتر را نشان می‌دهد (شکل ۴). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده براساس

Archive of SID

www.SID.ir

محاسبهٔ افزایش ۱/۱۶ گرم در لیتر در طی مسیر ۵۰۰ متری بین دو ایستگاه نمونه‌برداری براساس طول مسیر (با فرض یکسان بودن شرایط مسیر) مخاطرهٔ آلودگی به آرسنیک در فاصلهٔ ۳/۸۲ کیلومتری از دهانهٔ غار کمترین مقدار را نشان می‌دهد. آرسنیک ممکن است به‌وسیلهٔ تجزیهٔ رسوبات و سنگ‌های معدنی و ته‌نشینی ذرات آرسنیک موجود در گردوغبار هوا و باران یا برف وارد آب‌های زیرزمینی غار شده یا به صورت آلی سبب آلودگی آب شده باشد. منشأیابی عناصر به مطالعات بیشتری نیاز دارد و از حیطهٔ این پژوهش خارج است.

جدول۴. نتایج میانگین‌گیری عناصر و پارامترهای دورهٔ مطالعاتی آب غار و مقایسهٔ آن با آب قابل شرب

ردیف	آنیون‌ها و کاتیون‌ها	علامت اختصاری	نمونهٔ آب ایستگاه ورودی غار برحسب Mg/L	نمونهٔ آب ایستگاه ابتدای فاز دوم(۵۰۰ متری فاصله از دهانهٔ غار) بر حسب Mg/L	حد مطلوب بر حسب Mg/L	حد مجاز بر حسبMg/L
۳	آهن	Fe	۲/۲۷	۲/۲۴	۰/۳	–
۴	منگنز	Mn	۰/۵۳	۰/۵	۰/۱	۰/۴
۵	منیزیم	Mg	۵۳/۳۲	۵۳/۳۷	۳۰	-
۱	آرسنیک	As	۸/۸۸	۷/۷۲	-	۰/۰۱
۶	سدیم	Na	۱/۷۵	۰/۴۳	-	۲۰۰
۸	پتاسیم	K	۳/۴۳	۰/۹۴	-	۲۰
۱۰	لیتیوم	Li	۱/۳۸	۰/۵۴	-	-
۷	کلسیم	Ca	۱۲/۱۴	۲۵/۴۶	-	۳۰۰
۲	سرب	Pb	۰/۰۲۱	۰/۰۲	–	۰/۰۱
۱۱	نیترات	No_3	۷/۷۳	۷/۸۵	–	۵۰

جدول ۵. سری زمانی داده‌های عناصر در دورهٔ دی۱۳۹۲ تا خرداد۱۳۹۳در ایستگاه نمونه‌برداری ورودی غار برحسب میلی‌گرم در لیتر و رابطهٔ آن با میانگین بارندگی ماهیانه

عنصر	Na	Mn	Pb	No_3	Mg	As	Ca	Li	K	میانگین بارندگی پاوه	میانگین بارندگی روانسر
دی	۰/۶۰۳	۰/۵۴۱	۰/۰۲	۶/۱	۵۱/۰۴۷	۱۲/۹۱۵	۸/۶۵۳	۰/۲۲۲	۱/۲۲۳	۷۱/۱	۸۰/۷
بهمن	۰/۴۱۸	۰/۵۸	۰/۰۲۱	۸/۹	۵۲/۰۹۸	۹/۰۴۵	۹/۷۱۵	۰/۳۴۴	۰/۷۳۹	۱۰۰/۹	۷۱/۷
اسفند	۰/۵۸۱	۰/۵۲۲	۰/۲	۶/۲	۵۲/۸۳۴	۷/۸۱۸	۸/۸۴۶	۰/۱۷۷	۴/۵۴۷	۱۲۱/۹	۱۰۱/۵
فروردین	۵/۰۱۶	۰/۵۲۲	۰/۰۲۲	۱۰/۱	۵۶/۸۴۲	۵/۴۵۷	۹/۰۳۸	۳/۰۴۳	۹/۰۵۸	۱۱۸	۷۷/۱
اردیبهشت	۰/۴۳۷	۰/۴۸۳	۰/۰۲۴	۶/۳	۵۳/۸۸۷	۹/۰۴۵	۱۱/۴۸	۰/۴۴۴	۱/۲۶	۵۱	۳۶/۲
خرداد	۳/۴۵۵	۰/۵۶۱	۰/۰۱۹	۸/۸	۵۴/۴۱۴	۹/۰۴۵	۲۵/۱۵	۳/۵۰۵	۳/۷۸۶	۱۱/۳	۱/۳
میانگین	۱/۷۵۱	۰/۵۳۴	۰/۰۲۱	۷/۷۳	۵۳/۵۲	۸/۸۸	۱۲/۱۴	۱/۲۸۹	۳/۴۳	∑ ۴۷۴/۲	∑ ۳۶۸/۵
Max	۵/۰۱۶	۰/۵۸	۰/۰۲۴	۱۰/۱	۵۶/۸۴۲	۱۲/۹۱۵	۲۵/۱۵	۳/۵۰۵	۹/۰۵۸	۱۲۱/۹	۱۰۱/۵
Min	۰/۴۱۸	۰/۴۸۳	۰/۰۱۹	۶/۱	۵۱/۰۴۷	۵/۴۵۷	۸/۶۵۳	۰/۱۷۷	۰/۷۳۹	۱۱/۳	۱/۳

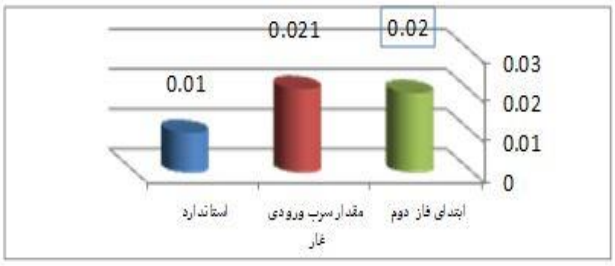
Archive of SID

www.SID.ir

سرب

برای ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب زیرزمینی غار مقادیر میانگین سرب به‌دست آمد. براساس نتایج حاصل مقدار سرب در آب زیرزمینی غار قوری‌قلعه در ورودی و ابتدای فاز دوم به‌ترتیب ۰/۰۲۱ و ۰/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر است که حد مجاز این عنصر براساس جدول استاندارد سازمان بهداشت جهانی حدود ۰/۰۱ است که در نمونه‌های برداشتی بیشتر از حد مجاز دیده می‌شود. نکتهٔ شایان توجه کاهش ۰/۰۰۱ میلی‌گرم در لیتر در طول مسیر ۵۰۰ متری داخل غار است (شکل ۵). براساس برآورد مقدار سرب طی دورهٔ زمانی شش‌ماهه بین حداقل بارش دوره و مقدار حداقل سرب ثبت‌شده رابطه وجود دارد. یعنی حداقل مقدار سرب در خرداد (با حداقل بارندگی دوره) به‌دست آمده است، ولی بین حداکثر بارش و حداکثر سرب ثبت‌شده رابطهٔ منطقی وجود ندارد. حداکثر سرب به‌دست‌آمده در اردیبهشت بوده است.

شکل ۴. مقدار آرسنیک موجود در نمونهٔ آب‌های کارستی غار قوری‌قلعه



شکل ۵. مقدار سرب در آب کارستی غار قوری‌قلعه برحسب میلی‌گرم در لیتر

آهن

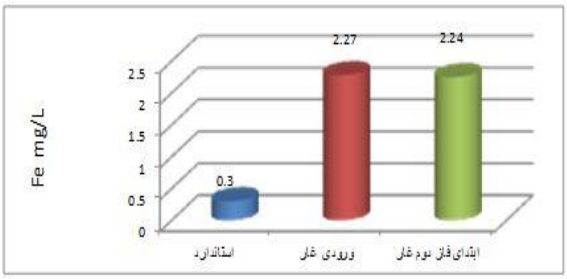
برای ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب زیرزمینی غار مقادیر آهن به‌دست آمد. بر پایهٔ نتایج حاصل از میانگین دوره مقدار آهن در آب‌های زیرزمینی غار قوری‌قلعه در دو ایستگاه ورودی و ابتدای فاز

www.SID.ir

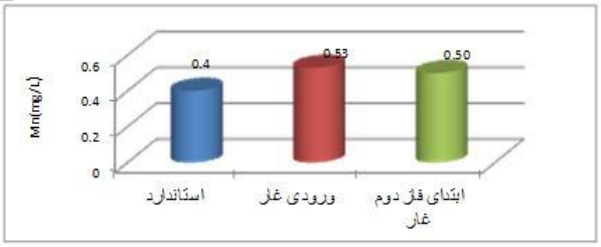
دوم غار به‌ترتیب ۲/۲۷ و ۲/۲۴ میلی‌گرم بر لیتر است. مقدار آهن نمونه‌ها بیشتر از حد مجاز آب آشامیدنی سازمان بهداشت جهانی یعنی ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر است. به‌طور معمول زیاد بودن مقدار آهن سبب تغییر رنگ، کدورت و تغییر طعم آب می‌شود. مقدار آهن در طی مسیر ۵۰۰ متری مجرای آب غار ۰/۰۳ میلی‌گرم در لیتر افزایش داشته است (شکل ۶).

منگنز

به منظور ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب زیرزمینی غار مقادیر منگنز به‌دست آمد. براساس نتایج آزمایش‌ها، مقدار منگنز در آب‌های زیرزمینی غار قوری‌قلعه در ورودی و ابتدای فاز دوم غار به‌ترتیب (۰/۵۳ و ۰/۵۰) میلی‌گرم بر لیتر است. مقدار منگنز، بیشتر از حد مجاز آب آشامیدنی سازمان بهداشت جهانی با استاندارد ۰/۴ میلی‌گرم بر لیتر است. زیاد بودن مقدار منگنز نیز به‌طور معمول سبب تغییر رنگ، کدورت و تغییر طعم آب می‌شود (شکل ۷). مقدار منگنز در طول ۵۰۰ متری مجرای آب غار ۰/۰۳ میلی‌گرم در لیتر افزایش داشته است. بنابر برآورد مقدار منگنز طی دورهٔ زمانی شش‌ماهه بین مقدار بارش دوره و مقدار حداکثر منگنز ثبت‌شده رابطه وجود دارد. یعنی مقدار حداکثر منگنز مربوط به بهمن است. حداقل منگنز ثبت‌شده نیز مربوط به اردیبهشت است.



شکل۶. مقدار آهن در آب‌های زیرزمینی غار قوری‌قلعه



شکل۷. مقدار منگنز در نمونهٔ آب‌های غار قوری‌قلعه

Archive of SID

www.SID.ir

منیزیم

برای ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب زیرزمینی غار مقادیر منیزیم به‌دست آمد. براساس نتـایج حاصـل از نمونهٔ آب‌های غار کارستی قوری‌قلعه، مقدار منیزیم در ورودی غار و ابتدای فاز دوم بـه‌ترتیـب ۵۳/۵۲ و ۵۷/۳۷ میلی‌گرم بر لیتر است که بیشتر از حد مجاز آب‌های آشـامیدنی سـازمان بهداشـت جهـانی بوده که ۳۰ میلی‌گرم در لیتر است. زیاد بودن این کاتیون تغییراتی در ترکیبات آب، طعم، بو و رنـگ آب ایجاد کرده است (شکل ۸). براساس داده‌های به‌دست‌آمده از نتایج آزمایشگاهی رابطه‌ای با تـأخیر یک‌ماهه بین حداکثر زمان بارندگی ماهیانه و حداکثر منگنز وجود دارد؛ یعنی یک مـاه پـس از نـزول حداکثر بارش یعنی در فروردین، منیزیم به حداکثر خود در دورهٔ زمانی می‌رسد.

سدیم

در راستای ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب زیرزمینی غار مقادیر سدیم به‌دست آمد. مقدار سدیم آب غـار بسیار کم است. مقدار سدیم در طول مسیر ۵۰۰ متری محل نمونه‌برداری‌ها ۱/۳۲ میلی‌گرم در لیتـر افزایش را نسبت به پایین‌دست نشان می‌دهد. در واقع با نفوذ به درون غار با کاهش چشـمگیر سـدیم آب مواجهیم (شکل ۹). براساس داده‌های بـه‌دسـت‌آمـده از نتـایج آزمایشـگاهی رابطـه‌ای بـا تـأخیر یک‌ماهه بین حداکثر زمان بارندگی ماهیانه و حداکثر سدیم وجود دارد؛ یعنی یک مـاه پـس از نـزول حداکثر بارش یعنی در فروردین سدیم به حداکثر خود در دورهٔ زمانی می‌رسد.

شکل ۸. مقدار منیزیم موجود در آب کارستی غار

شکل ۹. مقدار سدیم موجود در آب کارستی غار

Archive of SID

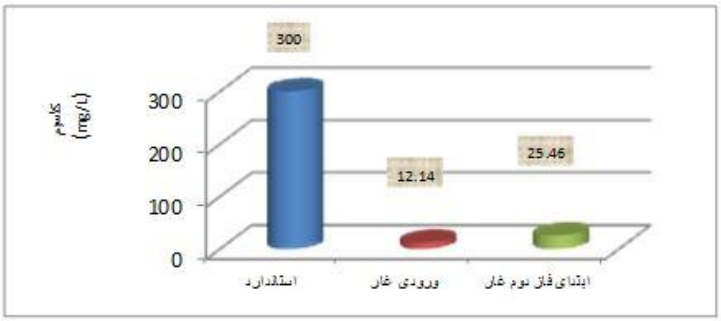
www.SID.ir

کلسیم

به‌منظور ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب کارستی غار مقادیر کلسیم به‌دست آمد. مقدار کلسیم آب‌های زیرزمینی غار قوری‌قلعه اندک است، ولی در طول ۵۰۰ متری مجرای آب در دو ایستگاه نمونه‌برداری ۱۳/۳۲ میلی‌گرم کاهش نشان می‌دهد (شکل ۱۰). یعنی در واقع در هر کیلومتر فاصله از ورودی غار به درون آن ۲۶/۶۴ میلی‌گرم کلسیم به آب غار اضافه می‌شود و در فاصلهٔ ۱۲ کیلومتری غار از دهانهٔ آن ۳۱۹/۶۸ میلی‌گرم در لیتر کلسیم در آب وجود دارد. بر این مبنا وجود کلسیم بیشتر، بیانگر فعالیت غارزایی بیشتر و ایجاد لندفرم‌های تیپیک‌تر در بخش بالادست غار است. بدین معنا که هرچه از ورودی غار به درون آن نفوذ کنیم گسترش اشکال سنگ غار بیشتر است. از نظر شرب مقدار کلسیم طول ۱۲ کیلومتری از دهانهٔ غار از حد معمول آب شرب تجاوز می‌کند (شکل ۱۰).

پتاسیم

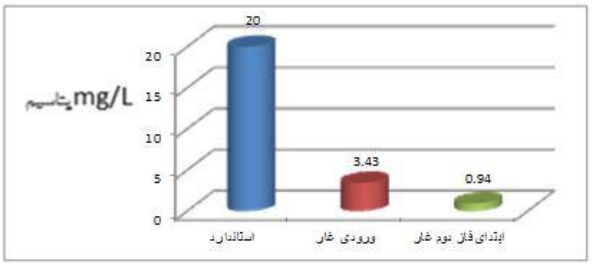
برای ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب زیرزمینی غار مقادیر پتاسیم به‌دست آمد. مقدار پتاسیم موجود در آب غار در محل‌های برداشت‌شده متفاوت است و از ورودی دهانهٔ غار به سمت داخلی آن در طول ۵۰۰ متری ۲/۴۹ میلی‌گرم در لیتر افزایش نشان می‌دهد. با فرض صحت این روند در طول ۱۲ کیلومتری غار مقدار آن به حدود ۶۰ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد و از حد مجاز آب قابل شرب می‌گذرد (شکل ۱۱). براساس داده‌های به‌دست‌آمده از نتایج آزمایشگاهی رابطه‌ای با تأخیر یکماهه بین حداکثر زمان بارندگی ماهیانه و حداکثر پتاسیم وجود دارد؛ یعنی یک ماه پس از نزول حداکثر بارش یعنی در فروردین پتاسیم به حداکثر خود در دورهٔ زمانی می‌رسد.



شکل ۱۰. مقدار کلسیم موجود در آب کارستی غار

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۱. مقدار پتاسیم درآب کارستی غار

نیترات

به‌منظور ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب زیرزمینی غار مقادیر نیترات به‌دست آمد. نیترات ماده‌ای است که می‌تواند آب‌های زیرزمینی و سطحی را به‌طور گسترده‌ای آلوده کند. تجمع نیترات در محیط می‌تواند ناشی از هرزاب‌های کشاورزی باشد که به‌علت مصرف بیش از حد کودهای نیتراتی یا آلودگی‌های ناشی از فاضلاب‌های انسانی و گاه سوخت‌های فسیلی سبب ایجاد اسیدنیتریک و آمونیاک می‌شود و هوا، آب و سطح اشکال آهکی را آلوده می‌کند. براساس نمونه‌برداری و آزمایش آب غار بین ورودی غار و ابتدای فاز دوم غار اختلاف نیترات کمی دیده می‌شود و با حداکثر مجاز (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) تفاوت زیادی دارد. از این نظر آب غار کارستی قوری‌قلعه مشکل‌آفرین نیست (شکل ۱۲). براساس نتایج آزمایشگاهی رابطه‌ای با تأخیر یک‌ماهه بین حداکثر زمان بارندگی ماهیانه و حداکثر نیترات وجود دارد؛ یعنی یک ماه پس از نزول حداکثر بارش یعنی در فروردین نیترات به حداکثر خود در دورهٔ زمانی می‌رسد.

لیتیوم

در راستای ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب کارستی غار مقادیر لیتیوم به‌دست آمد. مقدار لیتیوم نمونهٔ آب‌های آزمایش‌شدهٔ غار در حد خیلی کمی قرار دارد و از بالادست غار به پایین‌دست، افزایش نشان می‌دهد (شکل ۱۳). حداکثر لیتیوم با حداقل بارش در دوره مطابق است. بیشترین مقدار لیتیوم در خرداد با کمترین مقدار بارش در دوره مطابق است.

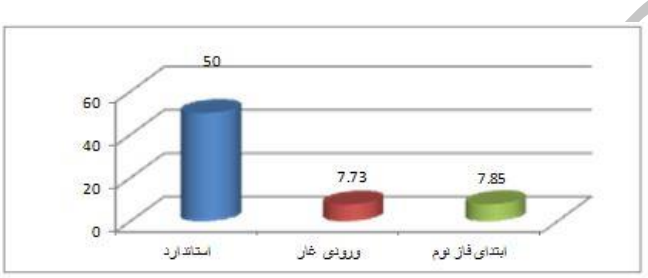
هدایت الکتریکی (EC)

برای ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب زیرزمینی غار وضعیت هدایت الکتریکی آب به‌دست آمد. هدایت الکتریکی (EC) شاخص قابلیت آب در هدایت یک جریان الکتریکی است و از این نظر که قابلیت هدایت الکتریکی ویژه، نسبت معین و مستقیمی با مواد محلول موجود در آب (TDS) دارد، اندازه‌گیری آن به‌منظور کنترل کیفیت آب از اهمیت زیادی برخوردار

Archive of SID

www.SID.ir

است. هدایت ویژه با عکس مقاومت الکتریکی نسبت مستقیمی دارد. آب خالص دارای مقاومت الکتریکی زیاد و هدایت ویژهٔ اندک است. در دهانهٔ ورودی غار (ایستگاه نمونه‌برداری اول)، هدایت الکتریکی ۵/۱۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و میزان آن در ایستگاه نمونه‌برداری ابتدای فاز دوم ۵/۹۶ میکروزیمنس است. هدایت ویژهٔ ضعیف آب غار نشان‌دهندهٔ خالص بودن آب است (شکل ۱۴). هدایت الکتریکی نمونهٔ آب‌ها اختلاف خیلی کمی دارد و کمتر از حد مجاز استانداردهاست و تغییراتی را برای آب‌ها و اشکال آهکی ایجاد نمی‌کند (جدول ۶).



شکل ۱۲. مقدار نیترات آب غار بر حسب میلی‌گرم در لیتر

شکل ۱۳. مقدار لیتیوم موجود در آب کارستی غار

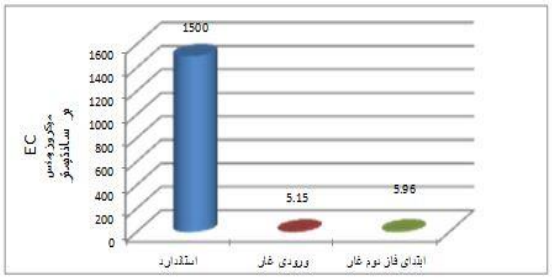
جدول۶. نتایج آزمایش نمونه‌های آب غار شامل: EC، PH, BOD و مقایسهٔ آن با آب قابل شرب

پارامتر	اختصار	نمونهٔ آب ورودی غار	نمونهٔ آب ابتدای فاز دوم	حد مطلوب در آب شرب	حد مجاز در آب شرب
هدایت الکتریکی	EC	۵/۱۵	۵/۹۶	۵۵۰	۱۵۰۰
اسیدی یا قلیایی بودن(Ph)	Ph	۸/۴	۸/۳۴	-	۶/۵-۹
نرخ مصرف اکسیژن در داخل آب توسط ارگانیسم‌ها	BOD	۳/۳۳	۴	در آب موجود نباشد.	-

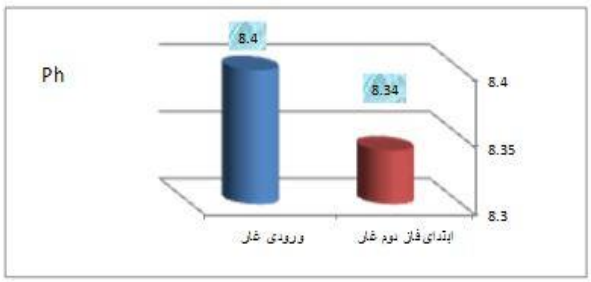
www.SID.ir

اسیدی و قلیایی بودن (Ph)

در راستای ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب زیرزمینی غار وضعیت اسیدیته و قلیایی بودن آب به‌دست آمد. میزان Ph بیانگر اسیدی و قلیایی بودن آب‌هاست که بین نمونهٔ آب‌های برداشتی ایستگاه‌های ورودی غار و ابتدای فاز دوم اختلاف خیلی کمی دیده می‌شود. حد معمول Ph آب‌های زیرزمینی بین ۶/۵ تا ۹ است و آب غار از این نظر در بازهٔ آب استاندارد قابل شرب (۹-۶/۵) قرار دارد و قلیایی محسوب می‌شود. مقدار کلسیم در دو ایستگاه نمونه‌برداری ۱۳/۳۲ میلی‌گرم نسبت به بالادست افزایش نشان می‌دهد (شکل ۱۰). یعنی در واقع در هر کیلومتر فاصله از ورودی غار به درون آن ۲۶/۶۴ میلی‌گرم کلسیم به آب غار اضافه می‌شود. همچنین مقدار منیزیم در ورودی غار و ابتدای فاز دوم به‌ترتیب ۵۳/۵۲ و ۵۷/۳۷ میلی‌گرم بر لیتر است و با حرکت به سمت بالادست غار کاتیون‌های یون‌های کلسیم و منیزیم افزایش پیدا کرده و موجب قلیایی‌تر شدن آب غار می‌شوند (جدول ۶). با استناد به موارد بالا و نمونه‌های آزمایش‌شده با نفوذ به درون غار میزان Ph آب افزایش می‌یابد و آب قلیایی‌تر می‌شود (شکل ۱۵).



شکل ۱۴. میزان هدایت الکتریکی در آب کارستی غار



شکل ۱۵. میزان Ph آب کارستی غار

Archive of SID

www.SID.ir

نرخ مصرف اکسیژن در داخل آب توسط ارگانیسم‌ها(BOD)

برای ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب زیرزمینی غار، نرخ مصرف اکسیژن در داخل آب توسط ارگانیسم‌ها (BOD) به‌دست آمد. میزان BOD در ایستگاه دوم نمونه‌برداری (در طول ۵۰۰ متری از ورودی غار) بیشتر از میزان آن در دهانهٔ ورودی غار است. در میزان BOD در دو نمونهٔ ورودی غار و ابتدای فاز دوم تفاوت وجود دارد (جدول ۶). اگر مقدار BOD آب کم باشد، آب پاک و فاقد ارگانیسم است یا اینکه ارگانیسم‌های داخل آب مرده‌اند و به مصرف اکسیژن نیاز ندارند. مقدار BOD آب داخل غار در ورودی و ابتدای فاز دوم به‌ترتیب۳/۳۳ و ۴ میلی‌گرم بر لیتر است که مخاطرهٔ آلودگی این نمونه‌ها از این نظر می‌تواند ناشی از فاضلاب‌های خانگی و فضولات حیوانی دامداران در بخشی از سطح آبگیر غار باشد. قبلاً در بخش بالادست غار مناطق و ساختمان‌های مسکونی موجود نبود، ولی اکنون علاوه بر وجود اماکن موقت دامداران چند ساختمان مسکونی پراکنده در بازدیدهای میدانی شناسایی شدند. البته نقش مخاطرهٔ آلودگی‌های ناشی از بازدیدکنندگان نیز در این زمینه تأثیرگذار است. میزان BOD در مسیر ۵۰۰ متری مجرای غار ۰/۷۷ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری

غار قوری‌قلعه و اشکال آن و منابع آب کارستی آن کمتر مورد توجه محققان بوده است. این منبع آبی بزرگ تأمین‌کنندهٔ آب شرب روستای قوری‌قلعه است. در راستای ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب زیرزمینی غار مقادیر عناصر داخل آب به‌دست آمد.

براساس ارزیابی مخاطرهٔ آلودگی آب زیرزمینی غار مقادیر عناصر به‌دست آمد. بنابر نتایج آزمایشگاهی مقدار آرسنیک و سرب در آب‌های کارستی غار قوری‌قلعه در ایستگاه نمونه‌برداری ورودی غار و ایستگاه نمونه‌برداری ابتدای فاز دوم غار، اختلاف معناداری با استاندارد آب آشامیدنی سازمان بهداشت جهانی و ایران دارد، به‌طوری که مقدار این دو عنصر بیش از حد مجاز آب آشامیدنی است. از این لحاظ براساس آزمایش‌ها آب غار قابل شرب نیست. آهن، منگنز و منیزیم از حد مجاز آب آشامیدنی بیشتر است و از این لحاظ نیز براساس آزمایش‌ها آب غار غیرقابل شرب است. سدیم آب غار بسیار کم است و در طول مسیر ۵۰۰ متری محل نمونه‌برداری‌ها ۱/۳۲ میلی‌گرم در لیتر مقدار آن افزایش می‌یابد. کلسیم موجود در آب کارستی غار نیز اندک است، ولی مقدار آن در طول ۵۰۰ متری مجرای آب در دو ایستگاه نمونه‌برداری ۱۳ /۳۲ میلی‌گرم کاهش نشان می‌دهد. یعنی در واقع در هر کیلومتر فاصله از ورودی غار به درون آن ۲۶/۶۴ میلی‌گرم کلسیم به آب غار اضافه می‌شود و در فاصلهٔ ۱۲ کیلومتری از دهانهٔ

Archive of SID

www.SID.ir

غار به داخل آن در هر لیتر ۳۱۹/۶۸ میلی‌گرم کلسیم وجود دارد. از این لحاظ براساس آزمایش‌ها آب قابل شرب است. مقدار پتاسیم موجود در آب غار در محل‌های برداشت‌شده متفاوت است و از ورودی دهانهٔ غار به‌سمت داخل آن در طول ۵۰۰ متر ۲/۴۹ میلی‌گرم در لیتر افزایش نشان می‌دهد. بر پایهٔ نمونه‌برداری و آزمایش‌ها آب غار بین ورودی و ابتدای فاز دوم غار اختلاف نیترات کمی دیده می‌شود و با حداکثر مجاز (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) تفاوت زیادی دارد. از این لحاظ براساس آزمایش‌ها آب قابل شرب است. مقدار لیتیوم نمونهٔ آب‌های آزمایش‌شدهٔ غار نیز بسیار اندک است و از بالادست غار به پایین‌دست مقدار آن افزایش می‌یابد. در دهانهٔ ورودی غار (ایستگاه نمونه‌برداری اول) میزان هدایت الکتریکی ۵/۱۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و در طول ۵۰۰ متری، ۵/۹۶ میکروزیمنس است. هدایت ویژهٔ ضعیف آب غار نشان‌دهندهٔ خالص بودن آب است. میزان Ph که بیانگر اسیدی یا قلیایی بودن آب است بین ایستگاه ورودی و ابتدای فاز دوم غار اختلاف خیلی کمی دارد. آب غار در بازهٔ آب استاندارد قابل شرب (۹-۶/۵) قرار دارد و قلیایی محسوب می‌شود. نمونه‌های آزمایش‌شده نشان می‌دهند که با نفوذ به درون غار، Ph آب افزایش می‌یابد و آب قلیایی‌تر می‌شود. فعالیت‌های انسانی خارج غار (از جمله وجود فاضلاب‌های ناشی از مراکز پراکندهٔ مسکونی دائمی و موقتی انسانی در بخش خارجی آبگیر غار) و فعالیت‌های انسانی بازدیدکنندگان درون غار سبب افزایش میزان BOD (نرخ مصرف اکسیژن در داخل آب توسط ارگانیسم‌ها) در آب غار شده است.

با توجه به نتایج پژوهش و موارد مخاطره‌آمیز مربوط، لازم است نکات زیر در این غار مورد نظر قرار گیرد:

نظارت مستمر و دقیق بر غار، استفاده از استانداردها و تجارب بین‌المللی در مدیریت آن، ارتقای سطح آگاهی عمومی بازدیدکنندگان از غار از طریق آموزش مقدماتی قبل از بازدید در زمینهٔ اهمیت و جایگاه اشکال کارستی و منابع آبی آن، محدود کردن تعداد بازدیدکنندگان غار در ایام مختلف سال، خارج کردن مواد و تأسیسات آلوده‌کنندهٔ محیط، ایجاد دستشویی‌هایی با مخازن غیرقابل نفوذ و خروج آنها از محیط کارستی بیرونی غار، ایجاد سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب و تصفیهٔ آن و نظارت دقیق و علمی بر آن و رفع مخاطرات طبیعی و انسانی در سطح خارجی آبگیر غار در حد مطلوب.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

[۱]. توسلی، عباس (۱۳۹۰). عوامل مخرب اکوسیستم‌های کارستی، فصلنامهٔ کوه، شمارهٔ ۶، تابستان ۱۳۹۰: ۳۶.

[۲]. خدائی، کمال؛ شهسواری، علی‌اکبر؛ اعتباری، بهروز؛ ۱۳۸۵. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوین به روشهای GODS وDRASTIC ، فصلنامهٔ زمین‌شناسی ایران، سال دوم، شمارهٔ چهارم، بهار ۱۳۸۵: ۸۷-۷۳.

[۳]. عبدالقادری بوکانی، نازنین؛ حجت، سیدعلی؛ آل شیخ، علی‌اصغر (۱۳۸۷). مدلسازی آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق آنالیزهای زمین آماری (مطالعهٔ موردی: شهرستان شیراز)، همایش ژئوماتیک ایران، سازمان نقشه‌برداری ایران.

[۴]. قاسمی زیارانی، الهام؛ فریادی، شهرزاد؛ شیخ‌کاظمی، شهاب (۱۳۸۵). پهنه‌بندی آلودگی حوضهٔ آبخیز سد کرج با استفاده از نرم‌افزار GIS، اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، دانشکدهٔ فنی.

[۵]. کریمیان، آرزو؛ جعفرزاده حقیقی، نعمت‌الله؛ افخمی، مهران (۱۳۸۵). کاربرد تصاویر ماهواره‌ی در پایش کیفیت آبهای سطحی، نهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان: ۲۸- ۲۰.

[۶]. کریمی، باوندپور(۱۳۷۸). نقشهٔ زمین‌شناسی کرمانشاه مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

[۷]. مهندسین مشاور رویان فرانگار سیستم (۱۳۸۶). طرح جامع منطقهٔ نمونهٔ گردشگری غار قوری‌قلعه، ۲۲۰ صفحه.

[۸]. موسایی، فیروز؛ نخعی، محمد؛ امیری، وهاب (۱۳۸۹). ضرورت حفاظت کیفی از آبخوان‌های کارستی زردکوه. همایش ملی آب با رویکرد آب پاک، دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباس‌پور.

[۹]. مینویی، ارسطو؛ کرمی، غلام‌حسین؛ امیدی، پرویز (۱۳۸۹). هیدرولوژی و هیدروژئوشیمی چشمه‌های کارستی قلوز و تلوکسان در کوه‌های شاهو، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ۲۱ تا ۲۲ اردیبهشت ۱۳۸۹، کرمانشاه، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه: ۹۸-۸۹.

[10]. Appelo,C.A.J.,Postma D., 2005.Geochemistry, groundwater and pollution. 2nd ed., Balkema publishers, Great Britain, p 650.

Archive of SID

www.SID.ir

[11]. Cool, G., et al, 2010, Evaluation of the vulnerability to contamination of drinking water systems for rural regions in Que´bec, Canada, Journal of Environmental Planning and Management, 53: 615–638.
[12]. Hulsmann, A., 2005, Small systems large problems-A European inventory of small water systems and associated problems, WEKNW(Web-based European Knowledge Network on Water) / End ware Report, 1June 2005.
[13]. James CS., 1999, Analytical chemistry of foods, New York, Springer, pp., 136-40.
[14]. Joerin, F., et al, 2010, Using multi-criteria decision analysis to assess the vulnerability of drinking water utilities, Environmental Monitoring and Assessment, 166: 313–330.
[15]. Kalantari, N., Pawar, N.J., Keshavarzi, M. R., 2009, Water resource management in the intermountain Izeh plain, southwest of Iran, Journal of mountain science, Vol. 6, No. 1, 25-41.
[16]. Kathy Pond, 2005, Water Recreation and Disease plausibility of Associated Infections: Acute Effects, .Squeal and Mortality, World Health Organization (WHO), London, UK.
[17]. Pitkanen,T., P., Karinen, T., Miehinen, 2010, Microbial contamination of groundwater at small community water supplies in Finland, Royal Swedish academy of sciences, AMBIO DOI 10.1007/s13280-010-0102-8, www.kva.se/en.
[18]. Rahnama MB., Barani GM., Moradi M. ,2000 ,The Anticipation of Pollutant Spread Process in Groundwater Aquifer Proceedings of the 3rd National Conference on Environmental Health; 2000 Nov 10-12; Kerman, Iran.
[19]. Razeghi Khamse B., Karamoz M., Jafarzadeh NA., 2003, A Survey Effect of Transition Surface Water on Groundwater Quality. Journal of Water and Wastewater; 16(46):pp., 29-40.
[20]. Todd, D.K , Mays, L.W., 2005, Groundwater hydrology, 3nd, John Wiley and sons publishers, p. 636.
[21]. WHO, 1997, Guidelines for drinking water quality, Volume 3: Surveillance and control of community supplies, 2nd edn, Geneva, Switzerland: World Health Organization.
[22]. Yong, S., Hamidi, A., 1998, Groundwater and Surface Water Pollution3rd National Conference on Environmental Health.150 p.

Archive of SID

www.SID.ir