

## اثرهای زیست محیطی آرسنیک در منطقه چشمه زرد، جنوب غربی نیشابور، استان خراسان رضوی

فرشته قاسم‌زاده<sup>۱\*</sup>، آزاده ملک‌زاده شفارودی<sup>۲</sup>

۱- گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۸۹/۶/۱۵، نسخه نهایی: ۸۹/۱۰/۱)

**چکیده:** از منطقه‌ی معدنی طلا- آرسنیک- آنتیموان چشمه زرد که در جنوب غربی شهرستان نیشابور واقع شده است، تعداد ۲۱ نمونه خاک از محل‌های کانی‌سازی و مناطق اطراف آن، آبراهه‌ها و زمین‌های کشاورزی و تعداد ۷ نمونه آب از آب‌های آشامیدنی روستاهای حسن آباد و ارغش و چشمه‌های اطراف به منظور ارزیابی ژئوشیمیایی- زیست محیطی برداشت شدند. در مناطق کانی‌سازی رگه‌ای و آبراهه‌های مجاور آنها دو منطقه مهم از نظر بالابودن عناصر آلاینده آرسنیک و آنتیموان شناسایی شدند: (۱) کانی‌سازی رگه‌ای طلا- آرسنیک ± آنتیموان در روستای متروکه‌ی چشمه زرد و (۲) کانی‌سازی رگه‌ای آنتیموان- آرسنیک در جنوب شرقی روستای ارغش. بنابراین، این منطقه می‌تواند خاستگاه هرگونه آلودگی احتمالی بوده و اکوسیستم ناحیه را تحت تاثیر قرار دهد. مقدار آرسنیک و آنتیموان زمین‌های کشاورزی در مقایسه با استاندارد USEPA کمتر از حد مجاز و مطلوب است. اما متاسفانه آب آشامیدنی روستای حسن آباد از نظر آرسنیک حدود ۲۳ برابر و آنتیموان حدود ۳ برابر حد استاندارد است. این میزان بالای آرسنیک و آنتیموان اثرهای نامطلوبی روی انسان دارد. این مسئله می‌تواند عامل سرطان‌های خطرناک و ضایعات پوستی شدید باشد که نیاز به بررسی تفصیلی روی علل مرگ و میر افراد این روستا دارد. لذا ضروری است تا تمهیداتی برای تامین آب آشامیدنی این روستا از منابع دیگری صورت پذیرد.

**واژه‌های کلیدی:** اثرهای زیست محیطی؛ آرسنیک؛ آب؛ خاک؛ منطقه معدنی چشمه زرد.

### مقدمه

گیاهان، جانوران و انسان از طریق استفاده از این منابع دارند و موجب ایجاد مسمومیت، بیماری و در مواردی مرگ می‌شوند. آرسنیک یکی از مهمترین عناصر سمی در طبیعت است که به صورت ترکیب‌های آلی و غیرآلی حضور دارد. خاستگاه انتشار آرسنیک در طبیعت به دو دسته طبیعی و دست ساز بشر تقسیم می‌شوند. مهمترین موارد بشرساز آرسنیک‌دار، عبارتند از علف‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها، مواد خشک‌کننده، عوامل محرک رشد برای گیاهان و حیوانات و به خصوص مواد محافظ چوب. مقادیر کمتری نیز در صنایع شیشه‌سازی و نساجی و در تهیه بعضی از داروهای پزشکی و دامپزشکی مورد استفاده قرار

امروزه مسایل زیست محیطی معادن به عنوان یک مسئله مهم در همه‌ی کشورها به ویژه کشورهای پیشرفته مدنظر قرار گرفته و قوانین زیست محیطی روز به روز سخت‌تر می‌شوند. معادن علاوه بر اینکه شکل منطقه‌ی بهره‌برداری را بر هم می‌زنند، با آزاد سازی یکسری عناصر مضر و سمی از طریق فراوری ماده‌ی معدنی و انباشته‌های مواد باطله آن به داخل سیستم هیدرولوژیکی منطقه (آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی) وارد می‌شود، موجب آلودگی آب‌های منطقه و خاک می‌شوند. این آلاینده‌ها اثرهای نامطلوب زیست محیطی بر

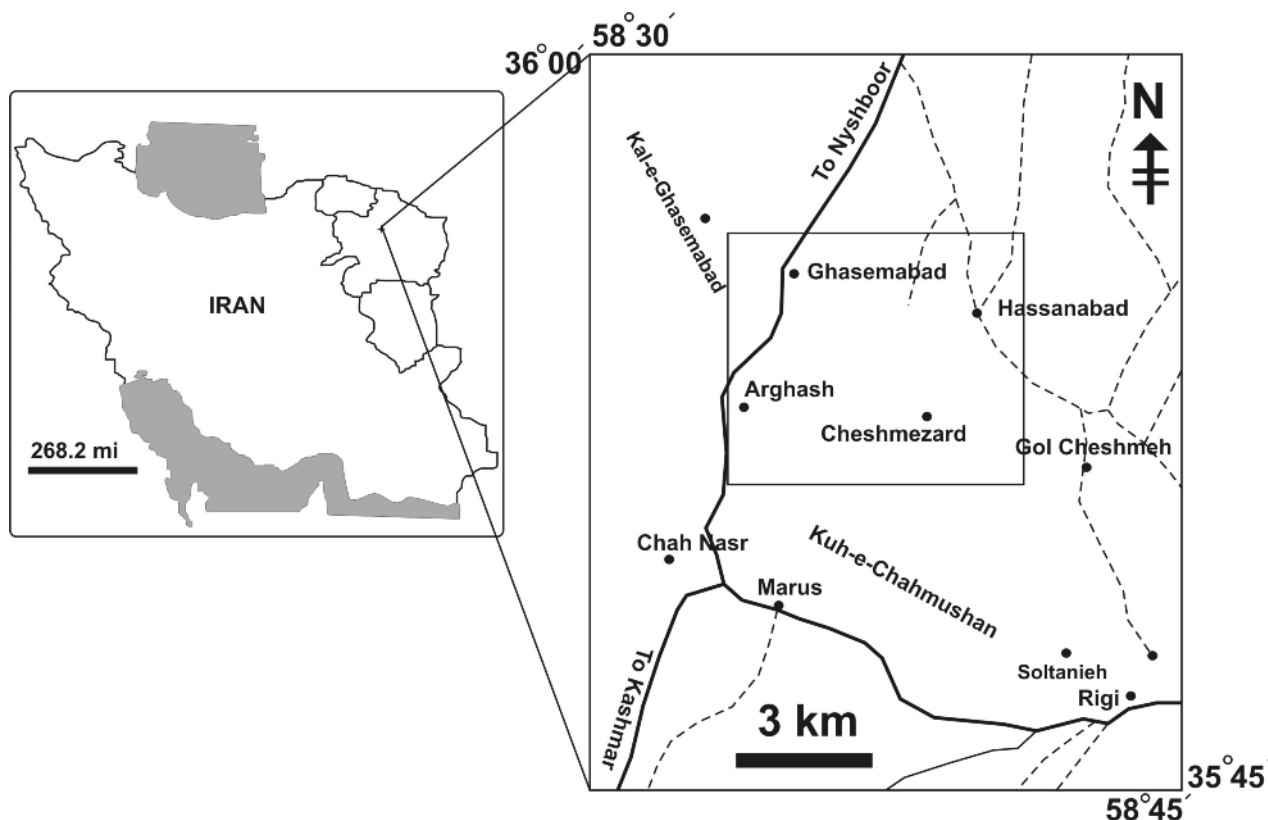
\* نویسنده مسئول، تلفن-نمبر: ۸۷۶۲۲۲۷ (۰۵۱۱)، پست الکترونیکی: ghasemzd@um.ac.ir

شده است (شکل ۱). کانی‌سازی در زون‌های گسلی به صورت رگه‌ای صورت گرفته است. زون‌های گسلی حاوی کانی‌سازی در منطقه‌ای به وسعت تقریباً ۱۰۰ کیلومتر مربع دیده می‌شوند. پی‌جوئی‌های ژئوشیمیایی رسوب‌های رودخانه‌ای در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن از سوی شرکت جیانگ‌کسی [۱۰]، آنومالی آرسنیک، آنتیموان، طلا، سرب، روی و مس را در منطقه نشان می‌دهد. حوضه‌ی آبریز روستای حسن‌آباد و ارغش از این منطقه تامین می‌شود و منطقه‌ای به وسعت ۲ تا ۵ کیلومتر به کشاورزی دیم از جمله هندوانه، گندم، جو، بادام، گردو و غیره اختصاص داده شده است. بنابراین امکان آلودگی آب و خاک به آرسنیک و نیز آثار نامطلوب زیست محیطی روی مردم منطقه و نیز اجزای این اکوسیستم از جمله گیاهان و حیوانات وجود دارد.

هدف از این پژوهش بررسی آثار زیست محیطی آرسنیک و دیگر عناصر همراه از جمله آنتیموان در آب (به ویژه در آب آشامیدنی روستاهای منطقه) و خاک و بررسی اثرهای زیست محیطی آن در منطقه است.

می‌گیرد [۱]. آرسنیک به عنوان جزء اصلی در بیش از ۲۰۰ کانی، به شکل سولفید، اکسید، آرسنات و آرسنیت وجود دارد که منابع طبیعی آرسنیک را می‌سازند [۲]. آرسنیک غیرآلی مهمترین شکل آرسنیک در آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی، خاک و غذاست [۳]. آرسنیک در آب، هوا و غذای آلوده و از طریق پوست، سیستم تنفسی و سیستم گوارشی جذب بدن شده و سپس به صورت گسترده‌ای در جریان خون آشکار می‌شود و در حجم زیادی از بافت‌های بدن پخش شده و موجب بیماری‌های مختلف از جمله سرطان می‌شود. آرسنیک در آب برخی نقاط جهان مثل آمریکا، چین، شیلی، بنگلادش، تایوان، آرژانتین، اتریش، کانادا، ویتنام، ژاپن و نپال [۴، ۵] و اخیراً ایران [۶-۸] گزارش شده است. میلیون‌ها نفر از مردم جهان در معرض آلودگی آرسنیک از طریق آب آشامیدنی قرار دارند [۹].

کانی‌سازی طلا، آرسنیک و آنتیموان در منطقه‌ی کانسار چشمه زرد در ۴۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان نیشابور و در حد فاصل طول جغرافیایی  $58^{\circ} 41' 20''$  تا  $58^{\circ} 31' 12''$  و عرض‌های جغرافیایی  $35^{\circ} 53' 30''$  تا  $35^{\circ} 48' 30''$  واقع



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی کانسار چشمه زرد، گستره‌ی مورد بررسی و راه دسترسی به آن.

## زمین‌شناسی

منطقه‌ی معدنی چشمه زرد از نظر زمین‌شناسی در شمال غربی نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن [۱۱] قرار گرفته است. ماگماتیسم در گستره‌ی این نقشه به دنبال فعالیت آتشفشانی ائوسن رخ داده و دارای ترکیب اسیدی تا قلیایی در گستره‌ی کانسار است. از جمله سنگ‌های آذرین نفوذی موجود در منطقه می‌توان به گرانیت، میکروگرانیت و لوکوگرانیت خاکستری روشن در جنوب غربی روستای حسن آباد، گرانودیوریت غرب روستای قاسم آباد و دیوریت و میکرودیوریت پیرامون روستای قاسم آباد و ارتفاعات کدکن اشاره کرد [۱۱]. بررسی دقیق‌تر زمین‌شناسی گستره‌ی کانسار، با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه که توسط پورلطیفی [۱۲] تهیه شده است، انجام گرفت. قدیمترین سنگ‌های منطقه را کربنات‌های پالئوسن تشکیل داده‌اند. بر روی سنگ‌های پالئوسن، رسوب‌های ائوسن قرار گرفته است که بخش زیرین آن را کنگلومرای ناجور و ماسه سنگ خاکستری تا سبز با قلوه سنگ‌های گرد شده، سنگ‌های آتشفشانی، کوارتزیت و ماسه سنگ‌هایی با میان لایه‌های مارن تشکیل داده است. دگرسانی شدیدی روی این واحد اثر گذاشته که اغلب رنگ زرد آن و گاهی دگرگونی مجاورتی، سرشتی روشن آن در تمایز از واحدهای دیگر کنگلومرای منطقه است. همچنین سنگ‌های آتشفشانی تخریبی زیادی همراه با یک رشته سنگ‌های دگرگون به سن ائوسن در منطقه مشاهده می‌شوند. مجموعه‌ای از سنگ‌های پیروکلاستیک، توف، آندزیت، آندزیت بازالت، ماسه سنگ، سنگ آهک نومولیت دار، ماسه سنگ و کنگلومرای ریز نقش و سنگ‌های دگرگون شده مانند مرمر، کوارتزیت، هورنبلند هورنفلس، کوارتزشیست، آمفیبولیت و سنگ‌های اسیدی و حدواسط دگرگون شده از آن جمله‌اند. به نظر می‌رسد در طول زمان ائوسن فعالیت آتشفشانی شدیدی همراه با گرانیت‌زایی در این منطقه حاکم بوده است [۱۲].

در بخش‌های کم ارتفاع جنوبی و غرب منطقه، بیرون زدگی‌های جدا از هم از لایه‌های سبز و سرخ نئوژن وجود دارند. رخساره‌ی غالب را مارن با میان لایه‌هایی از ماسه سنگ و مارن ماسه‌ای تشکیل داده و آغشتگی‌هایی از گچ نیز دیده می‌شوند [۱۲].

فعالیت‌های پلوتونیک منطقه بیشترین رخمون را در شمال و شمال غربی روستای متروکه چشمه زرد و در شمال روستای ارغش دارند. بعلاوه اینکه زائده‌های دیگری از این فعالیت‌ها را می‌توان در بخش‌های دیگر منطقه مشاهده کرد. در رابطه با فعالیت پلوتونیسم منطقه به نظر می‌رسد، که در

نتیجه‌ی پیشرفت جدایش ماگمای گرانیتی، فاز پایانی ماگمای غنی از مواد فرار و عناصر کانه ساز شده و از مسیر شکستگی‌ها، سنگ میزبان را دگرسان و در پاره‌ای از موارد نیز در محل گسله‌ها و درز و شکاف‌ها، رگه‌های سیلیسی و کلسیتی و دیگر رگه‌های معدنی را به وجود آورده است. رگه و رگچه‌های آنتیموان-آرسنیک چشمه زرد و رگه‌های متعدد سیلیس طلا دار در منطقه از این جمله‌اند [۱۳].

## روش بررسی

بررسی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی و تهیه نقشه‌های مختلف با مقیاس ۱:۱۰۰۰ در بخش‌های مختلف منطقه‌ی معدنی چشمه زرد (کانسار طلای ارغش) در حال اجراست که منجر به شناخت کاملی از ویژگی‌های کانی-سازی طلا، آرسنیک و آنتیموان چشمه زرد (ارغش) در منطقه شده است [۱۲-۲۲]. در این پژوهش به منظور بررسی اثرهای زیست محیطی، وجود این کانی‌سازی بر آب و خاک ناحیه و روستاهای اطراف ۲۱ ایستگاه برای نمونه‌برداری خاک و ۷ ایستگاه برای نمونه‌برداری از آب در نظر گرفته شد که از آب و خاک هر یک از ایستگاه‌ها سه نمونه برداشت گردید.

نمونه‌های خاک از رگه‌های کانی‌سازی، آبراهه‌های نشات گرفته از ارتفاعات دارای کانی‌سازی و زمین‌های کشاورزی روستاهای حسن آباد و ارغش (دو روستای مهم و پرجمعیت منطقه) جمع آوری شدند. هنگام برداشت نمونه‌های خاک سعی شد تا با کندن گودالی به عمق حدود ۵۰ سانتیمتر از جمع-آوری مواد هوازده سطحی و ریشه‌ی گیاهان جلوگیری شود. نمونه‌ها هنگام برداشت از الک درشت (۲۰ مش) عبور داده شدند تا ذرات درشت دانه و قلوه‌ها در نمونه نباشد. وزن نمونه-ها در حد ۵ تا ۶ کیلوگرم بودند. این نمونه‌ها در آزمایشگاه از الک ۸۰ مش (تفکیک کننده‌ی ذرات کوچکتر از ماسه‌ی دانه ریز) عبور داده شدند و ذرات عبور کرده از الک، برای نمایش به شرکت طیف کانساران بینالود ارسال شدند. پس از نمایش نمونه‌ها در حد ۲۰۰ مش، آنها را بسته‌بندی کرده و برای تجزیه با دستگاه ICP-MS و به روش 1F01 (۳۷ عنصری) به آزمایشگاه ACME کانادا فرستاده شدند. در این روش ۰/۵ گرم از نمونه در Aqua Regia حل و تجزیه شدند.

نمونه‌های آب از آب آشامیدنی روستاهای حسن آباد و ارغش (DW) و آب چشمه‌های موجود در محل‌های کانی‌سازی (SW) برداشت شدند. این نمونه‌ها در بطری‌های تمیز ۵۰ میلی لیتری که قبلاً اسیدشویی شده بودند جمع‌آوری شدند و پس از برداشت، ۲ تا ۳ قطره اسید نیتریک به آنها اضافه شدند تا از

و طلا همخوانی کامل دارد. میانگین عیار آرسنیک در این زون ۱۲۴ گرم در تن است [۱۵]. مقدار آنتیموان بین ۰/۰۷ تا ۹۱ گرم در تن با عیار میانگین ۴/۳ گرم در تن گزارش شده است. همبستگی شدیدی بین آرسنیک و آنتیموان وجود دارد [۱۵].

همچنین بی‌هنجاری‌هایی از عناصر سرب، روی، نقره، بیسموت، تنگستن و جیوه در این گستره دیده می‌شوند. مقدار جیوه بین ۰/۰۱ تا ۰/۵۶ گرم در تن با عیار میانگین ۰/۲۲۱ گرم در تن گزارش شده است. مهمترین زون‌های بی‌هنجاری این عنصر بر بی‌هنجاری آرسنیک و آنتیموان همخوانی دارد و نیز بی‌هنجاری‌های مستقلى در جنوب شرقی و جنوب غربی منطقه پی جویی مشاهده می‌شوند [۱۵].

#### بحث و بررسی

##### بررسی مقدار آرسنیک و آنتیموان در نمونه‌های خاک

جدول (۱) موقعیت و ویژگی نمونه‌برداری از خاک منطقه‌ی معدنی چشمه زرد و جدول (۲) نتایج تجزیه آرسنیک و چهارده عنصر مهم همراه را در خاک نشان می‌دهد. از آنجا که هدف اصلی این پروژه عنصر آرسنیک است، تغییرات عنصر آرسنیک و نیز آنتیموان به عنوان مهمترین عنصر همراه با آن بررسی می‌شوند که هر دوی آنها از نظر اثرهای زیست محیطی اهمیت بسیاری دارند.

حد استاندارد آرسنیک در خاک ۱ تا ۵۰ گرم در تن یا میانگین ۵ گرم در تن است [۲۴، ۲۵]. ۸ نمونه از نمونه‌های خاک ناحیه معدنی چشمه زرد از محل‌های کانی‌سازی رگه‌های منطقه و یا خاک‌های مجاور برداشت شدند که بالاترین مقدار آرسنیک در نمونه‌ها ۱۰۳۴ گرم در تن است (جدول ۲ و شکل ۲ الف). این بخش به کانی‌سازی رگه‌ای در واحد گرانیتی در روستای متروکه‌ی چشمه زرد وابسته است که رنگ خاک آن نیز بر اثر حضور کانی‌های آرسنیک‌دار مثل زرنیک زرد رنگ است (شکل ۳ الف). پس از آن نمونه‌های SA-1 که به همان گستره وابسته است، ۷۰۲ گرم در تن آرسنیک نشان می‌دهد. رگه‌ی کانی‌سازی آنتیموان - آرسنیک در مرتبه سوم از نظر میزان آرسنیک با مقدار ۵۴۳ گرم در تن قرار دارد. رگه‌ی شماره‌ی سه طلای معدن چشمه زرد نیز از میزان آرسنیک قابل توجهی برخوردار است، در حالیکه نمونه‌ی مجاور آن و خاک‌های منطقه چشمه یاقوت دارای مقدار آرسنیک کمتری از حد استاندارد خاک از نظر محیط زیست دارند (جدول ۲ و شکل ۲ الف). این مسئله نشان می‌دهد که آرسنیک به میزان قابل توجهی در کانی‌سازی‌های رگه‌ای موجود در منطقه حضور دارد

ته‌نشست عناصر جلوگیری شود. میزان pH آب هنگام برداشت اندازه‌گیری و یادداشت شد. نمونه‌های آب برای تجزیه ۷۲ عنصری با دستگاه ICP-MS به روش 2C به آزمایشگاه ACME کانادا ارسال شدند.

##### کانی‌سازی و ژئوشیمی کانسار

از نظر کانی‌سازی در کانسار چشمه زرد کانی‌سازی‌های متعدد طلا، آنتیموان، آرسنیک، مس و دیگر عناصر مشاهده شدند. ۵ ناهنجاری طلا- آرسنیک، ۴ ناهنجاری مس، یک ناهنجاری آنتیموان-آرسنیک و معادن متروکه‌ای از سیلیس و کائولن در منطقه وجود دارد [۱۲-۲۲].

کانی‌سازی‌ها در زون‌های گسلی همراه با رگه‌های سیلیس و کلسیت دیده می‌شوند. سنگ میزبان رگه‌ها سنگ‌های آتشفشانی- درونی و نیز رسوبی منطقه است. ضخامت رگه‌های کانی‌سازی متغیر بوده و گاه تا ۴۰ متر نیز می‌رسد. دگرسانی- های سیلیسی، آرژیلیک و پروپلیتیک در اطراف اغلب رگه‌ها از مرکز به حاشیه مشاهده می‌شود. پیریت مهمترین کانه اصلی این گسترده است که در برخی نقاط همراه با کالکوپیریت دگرسان شده، استیبنیت، والتیت و ذراتی شبیه به رآلگار، کانی‌های منگنز و اکسیدهای آهن ثانویه دیده می‌شود [۱۴]. خویی [۲۳] عقیده دارد که کانی‌سازی چشمه زرد یک کانی- سازی مزوترمال وابسته به پلوتونیک است. به نظر کوثری [۱۵] منشأ کانی‌سازی و نوع آن در منطقه چشمه زرد نشان می‌دهد که عناصر طلا، آرسنیک، آنتیموان و جیوه دارای رابطه‌ی زایش شدیدی هستند و برعکس مس و بیسموت معرف فاز دیگری از کانی‌سازی هستند که هیچگونه رابطه‌ای زایشی با گروه عناصر طلا ندارند. بر این اساس نوع کانی‌سازی در منطقه را از نوع اپی ترمال معرفی می‌کند.

پی‌جویی‌های ژئوشیمی ناحیه‌ای [۱۰] و پس از آن ژئوشیمیایی نیمه تفصیلی سازمان زمین‌شناسی [۱۵] نشان می‌دهد که مقدار طلا در منطقه بین ۰/۵ تا ۲۷ گرم در تن و با عیار میانگین ۵/۲۴ گرم در تن است. مقدار مس در منطقه بین ۵ تا ۲۵۵ گرم در تن و با عیار میانگین ۱۴۳ گرم در تن گزارش شده است [۱۵].

مقدار آرسنیک در زون‌های کانی‌سازی بین ۲/۵ تا ۲۷۰ گرم در تن و با عیار میانگین ۳۷/۶ گرم در تن است [۱۵]. گستره‌های بی‌هنجاری آرسنیک در سه زون مستقل از یکدیگر شکل گرفته‌اند. بی‌هنجاری شماره‌ی یک هم از نظر گستردگی و هم از نظر شدت غنی‌شدگی نسبت به دو زون دیگر دارای اهمیت بیشتری است و با زون بی‌هنجاری شماره‌ی یک آنتیموان

و احتمال آلودگی آب، گیاهان و در نتیجه تاثیر آن بر مردم منطقه زیاد است.

در ۷ نمونه خاک برداشت شده از آبراهه‌های منطقه، بالاترین مقدار آرسنیک در آبراهه‌ی ریشه گرفته از کانی‌سازی رگه‌ای آنتیموان- آرسنیک منطقه (۲۴۶ گرم در تن) است (شکل ۳ ب). پس از آن آبراهه‌ی ریشه گرفته از ارتفاعات جنوبی به میزان ۵ گرم در تن بیش از حد استاندارد آرسنیک دارد و دیگر آبراهه‌ها زیر حد استاندارد قرار دارند (جدول ۲ و شکل ۲ ب). البته باید این مسئله را در نظر گرفت که مقدار عناصر در رسوب‌های آبراهه‌ها معمولاً کمتر از خاک برجاست و با مقادیر کمتر هم می‌توانند نشانه‌ی آلودگی محیط باشند.

حد استاندارد آرسنیک در زمین‌های کشاورزی ۴۰ گرم در تن معرفی شده است [۲۶]. خوشبختانه مقدار آرسنیک در تمام نمونه‌های خاک زمین‌های کشاورزی روستاهای حسن‌آباد و ارغش به عنوان بزرگترین و مهمترین روستاهای منطقه از حد استاندارد کمتر بوده و مطلوب است (جدول ۲ و شکل ۲ پ).

مقدار حد استاندارد آنتیموان در خاک ۲ تا ۱۰ گرم در تن است [۲۵]. مقدار آنتیموان در خاک‌های برجا برداشت شده از محل‌های کانی‌سازی فقط در مورد رگه‌ی آنتیموان- آرسنیک به بیش از ۹۰ گرم در تن رسیده است و در موارد دیگر کمتر از ۱۰ گرم در تن است. در رگه کانی‌سازی داخل روستای چشمه زرد (سه نمونه SA-1 تا SA-3) که دارای آرسنیک بالاست، مقدار آنتیموان در حد استاندارد است و بقیه نمونه‌ها حتی زیر این حد آنتیموان دارند. همبستگی مثبتی بین آرسنیک و آنتیموان در نمونه‌ها دیده نمی‌شود (جدول ۲ و شکل ۲ ت). در نمونه‌های آبراهه‌ای نیز تنها آبراهه ریشه گرفته از همان ایستگاه رگه‌ی آنتیموان- آرسنیک، در حد ۵ گرم در تن آنتیموان نشان می‌دهد (جدول ۲ و شکل ۲ ث). همبستگی مثبتی بین آرسنیک و آنتیموان در خاک‌های زمین‌های کشاورزی دیده می‌شود. ولی مقدار این عنصر در این مناطق کمتر از حد استاندارد (کمتر از ۰/۵ گرم در تن در همه نمونه‌ها) است (جدول ۲ و شکل ۲ ج).

**جدول ۱** موقعیت و ویژگی نمونه‌برداری از خاک منطقه ی معدنی چشمه زرد (هر نمونه مخلوطی از سه نمونه از هر ایستگاه است).

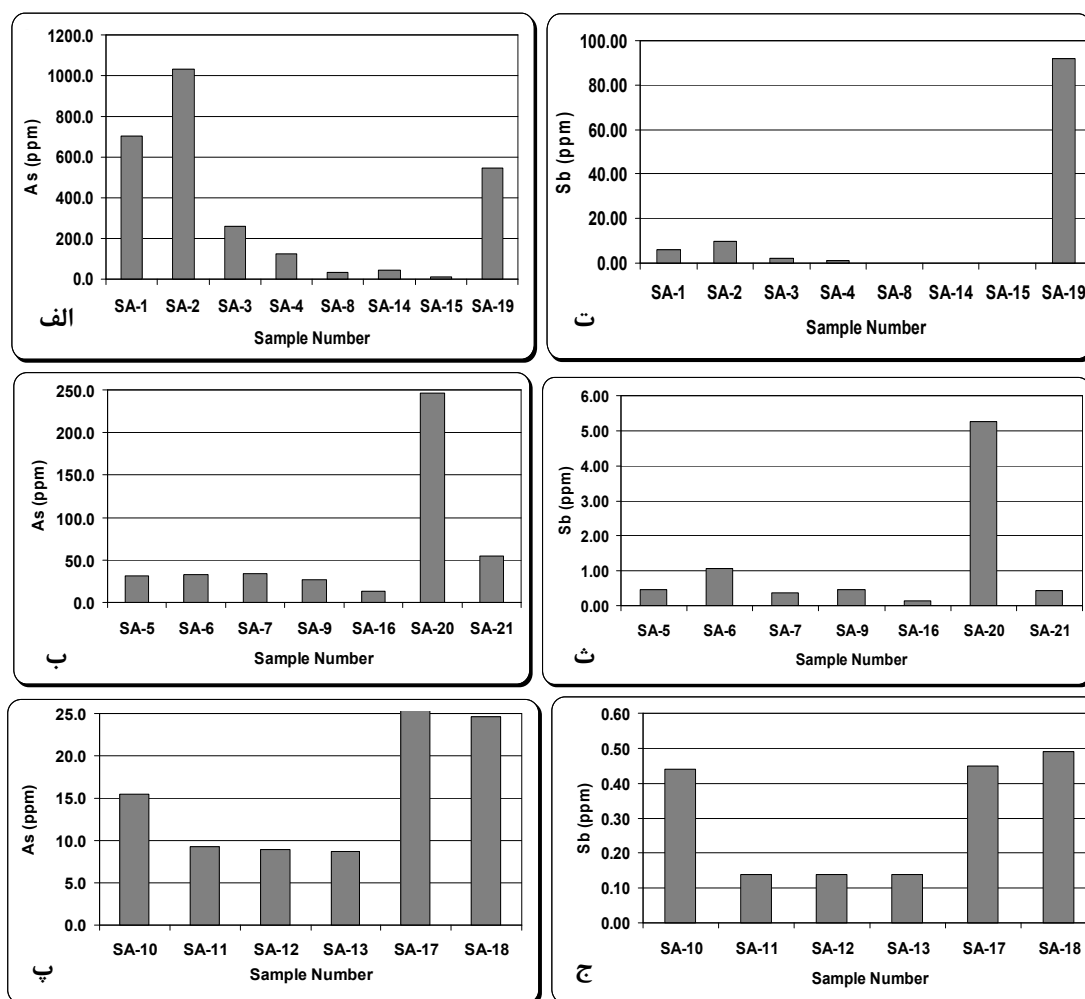
| ویژگی نمونه                                                                                                                                                             | عرض     | طول    | ایستگاه نمونه |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------|---------------|
| زون گسلی در واحد گرانیته در داخل روستای چشمه زرد به عرض ۲۰ متر که اثرهایی از کانی‌سازی زرنیخ زرد در آن دیده می‌شود. رنگ خاک زرد رنگ شده و دگرسانی آرژیلیک همراه آن است. | ۴۰۶۴۷۸۷ | ۳۹۷۱۷۳ | SA-1          |
| زون گسلی در روستای چشمه زرد که اثرهایی از کانی‌سازی زرنیخ زرد در آن دیده می‌شود.                                                                                        | ۴۰۶۴۷۸۵ | ۳۹۷۱۷۲ | SA-2          |
| رگه شماره سه طلای چشمه زرد همراه با دگرسانی سیلیسی- آرژیلیک، رنگ خاک بر اثر اکسایش سولفیدها قرمز- قهوه‌ای است                                                           | ۴۰۶۴۷۱۸ | ۳۹۷۱۳۳ | SA-3          |
| خاک از محل نزدیک کانی‌سازی رگه ی شماره ی سه، در اثر حضور اکسیدهای آهن ثانویه رنگ خاک زرد- قرمز است                                                                      | ۴۰۶۴۷۰۴ | ۳۹۷۱۳۷ | SA-4          |
| آبراهه‌ای که از بالادست رگه شماره سه ریشه گرفته است                                                                                                                     | ۴۰۶۴۶۹۹ | ۳۹۷۱۳۷ | SA-5          |
| آبراهه‌ای که از بالادست رگه شماره سه ریشه گرفته است                                                                                                                     | ۴۰۶۴۶۹۶ | ۳۹۷۱۲۶ | SA-6          |
| آبراهه‌ای که از بالادست رگه شماره سه ریشه گرفته است                                                                                                                     | ۴۰۶۴۷۰۰ | ۳۹۷۱۵۵ | SA-7          |
| دگرسانی آرژیلیک همراه با اکسیدهای آهن ثانویه، رنگ خاک زرد-قهوه‌ای                                                                                                       | ۴۰۶۴۷۰۹ | ۳۹۷۱۶۶ | SA-8          |
| آبراهه‌ای در کنار نمونه SA-8                                                                                                                                            | ۴۰۶۴۷۰۹ | ۳۹۷۱۶۶ | SA-9          |
| زمین کشاورزی جلوی کانسار چشمه زرد                                                                                                                                       | ۴۰۶۴۷۵۷ | ۳۹۷۱۴۹ | SA-10         |
| زمین کشاورزی هندوانه دیم روستای حسن آباد                                                                                                                                | ۴۰۶۴۸۱۸ | ۳۹۷۱۸۲ | SA-11         |
| زمین کشاورزی روستای حسن آباد                                                                                                                                            | ۴۰۶۴۹۵۷ | ۳۹۷۵۶۰ | SA-12         |
| زمین کشاورزی درختهای بادام روستای حسن آباد                                                                                                                              | ۴۰۶۴۹۶۰ | ۳۹۷۵۶۰ | SA-13         |
| خاک محل چشمه خشک شده روستای متروکه چشمه یاقوت                                                                                                                           | ۴۰۶۴۷۱۷ | ۳۹۷۴۵۲ | SA-14         |
| خاک از نزدیکی روستای چشمه یاقوت                                                                                                                                         | ۴۰۶۴۶۶۱ | ۳۹۷۳۸۶ | SA-15         |
| آبراهه‌ای که از سمت غرب دگرسانی کانی‌سازی رگه‌ای چشمه یاقوت ریشه می‌گیرد                                                                                                | ۴۰۶۴۶۶۵ | ۳۹۷۳۸۶ | SA-16         |
| زمین کشاورزی روستای ارغش                                                                                                                                                | ۴۰۶۴۰۴۶ | ۳۹۷۰۷۸ | SA-17         |
| زمین کشاورزی روستای ارغش                                                                                                                                                | ۴۰۶۴۰۴۷ | ۳۹۷۰۷۹ | SA-18         |
| رگه کانی‌سازی آنتیموان- آرسنیک                                                                                                                                          | ۴۰۶۴۴۹۷ | ۳۹۶۷۷۳ | SA-19         |
| آبراهه ی نزدیک به کانی‌سازی آنتیموان- آرسنیک که از محل بالادست آن ریشه می‌گیرد                                                                                          | ۴۰۶۴۴۷۱ | ۳۹۶۸۱۸ | SA-20         |
| آبراهه‌ای که از ارتفاعات جنوبی منطقه کانسار چشمه زرد ریشه گرفته است                                                                                                     | ۴۰۶۴۳۱۸ | ۳۹۶۹۶۰ | SA-21         |

جدول ۲ نتایج تجزیه برخی عناصر مهم در نمونه‌های خاک منطقه‌ی معدنی چشمه زرد (هر نمونه مخلوطی از سه نمونه از هر ایستگاه است).

| عنصر     | As   | Ag  | Bi   | Cd   | Cr  | Co  | Cu   | Hg  | Mo   |
|----------|------|-----|------|------|-----|-----|------|-----|------|
| واحد     | ppm  | ppb | ppm  | ppm  | ppm | ppm | ppm  | ppb | ppm  |
| حد تشخیص | ۰/۱  | ۲   | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰/۵ | ۰/۱ | ۰/۰۱ | ۵   | ۰/۰۱ |
| SA-1     | ۷۰۲  | ۱۶  | ۰/۹  | ۰/۰۴ | ۵۶  | ۱۳  | ۲۰   | <۵  | ۱۴   |
| SA-2     | ۱۰۳۴ | ۱۸  | ۰/۰۴ | ۰/۰۸ | ۴۶  | ۱۶  | ۱۶   | ۱۰  | ۱۹   |
| SA-3     | ۲۶۱  | ۲۹۱ | ۰/۵۵ | ۰/۸۳ | ۷۳  | ۵۰  | ۸۹   | ۳۸  | ۳    |
| SA-4     | ۱۲۴  | ۴۹  | ۰/۳۱ | ۰/۱۵ | ۱۴۲ | ۲۳  | ۵۰   | ۱۸  | ۱    |
| SA-5     | ۳۲   | ۳۲  | ۰/۲۱ | ۰/۱۵ | ۶۵۶ | ۳۱  | ۴۲   | <۵  | ۱    |
| SA-6     | ۳۳   | ۲۸  | ۰/۱۵ | ۰/۱۲ | ۲۹۱ | ۲۰  | ۳۹   | ۱۰  | ۱    |
| SA-7     | ۳۴   | ۳۲  | ۰/۲۶ | ۰/۱۴ | ۸۳۳ | ۳۷  | ۴۲   | ۷   | ۱    |
| SA-8     | ۳۴   | ۲۶  | ۰/۲۲ | ۰/۰۶ | ۵۹  | ۱۶  | ۳۷   | ۱۷  | ۲    |
| SA-9     | ۲۷   | ۲۳  | ۰/۲۱ | ۰/۱۱ | ۲۰۸ | ۱۹  | ۴۱   | ۱۸  | ۱    |
| SA-10    | ۱۶   | ۲۹  | ۰/۱۱ | ۰/۱۰ | ۳۷۷ | ۲۲  | ۲۷   | <۵  | ۰/۶۲ |
| SA-11    | ۹    | ۲۱  | ۰/۱۱ | ۰/۰۹ | ۳۱۸ | ۲۱  | ۲۸   | ۱۰  | ۰/۸۶ |
| SA-12    | ۹    | ۱۶  | ۰/۰۹ | ۰/۰۹ | ۳۲۳ | ۲۰  | ۲۷   | <۵  | ۰/۶۵ |
| SA-13    | ۹    | ۲۱  | ۰/۱۱ | ۰/۱۰ | ۳۴۱ | ۲۱  | ۲۹   | ۷   | ۰/۷۳ |
| SA-14    | ۴۳   | ۶۴  | ۰/۰۸ | ۰/۰۹ | ۱۷۱ | ۱۳  | ۲۰   | ۷   | ۳    |
| SA-15    | ۱۱   | ۲۰  | ۰/۱۳ | ۰/۱۱ | ۳۱۹ | ۲۰  | ۲۹   | ۸   | ۰/۶۵ |
| SA-16    | ۱۳   | ۲۱  | ۰/۱۳ | ۰/۰۹ | ۳۹۵ | ۲۲  | ۳۳   | ۶   | ۰/۷  |
| SA-17    | ۲۶   | ۲۷  | ۰/۱۲ | ۰/۱۲ | ۲۴۰ | ۲۰  | ۳۴   | ۹   | ۰/۸۹ |
| SA-18    | ۲۵   | ۲۶  | ۰/۱۳ | ۰/۱۳ | ۲۵۶ | ۲۰  | ۳۶   | ۱۴  | ۰/۸۱ |
| SA-19    | ۵۴۳  | ۳۲  | ۰/۱۴ | ۰/۰۹ | ۹۷  | ۱۴  | ۲۲   | ۵۰۴ | ۱    |
| SA-20    | ۲۴۶  | ۲۹  | ۰/۱۰ | ۰/۱۰ | ۱۱۶ | ۲۰  | ۲۵   | ۱۰۸ | ۰/۸۱ |
| SA-21    | ۵۵   | ۲۲  | ۰/۱۴ | ۰/۱۲ | ۵۴۵ | ۲۸  | ۴۲   | ۱۴  | ۰/۰۳ |

ادامه جدول ۲

| عنصر     | Mn   | Ni  | P     | Pb   | Sb   | Zn  |
|----------|------|-----|-------|------|------|-----|
| واحد     | ppm  | ppm | %     | ppm  | ppm  | ppm |
| حد تشخیص | ۱    | ۰/۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۰/۱ |
| SA-1     | ۴۸۳  | ۵۷  | ۰/۰۶۱ | ۸    | ۶    | ۴۲  |
| SA-2     | ۶۴۷  | ۴۶  | ۰/۰۷۵ | ۵    | ۱۰   | ۶۰  |
| SA-3     | ۹۷۶  | ۸۰  | ۰/۱۰۵ | ۸۲   | ۲    | ۲۱۷ |
| SA-4     | ۸۳۲  | ۱۴۰ | ۰/۰۹۱ | ۳۰   | ۱    | ۸۱  |
| SA-5     | ۸۰۲  | ۲۴۲ | ۰/۰۵۹ | ۲۱   | ۰/۴۶ | ۷۹  |
| SA-6     | ۶۸۷  | ۲۱۴ | ۰/۰۶۴ | ۱۳   | ۱    | ۴۸  |
| SA-7     | ۹۷۴  | ۲۶۴ | ۰/۰۵  | ۲۳   | ۰/۳۶ | ۸۵  |
| SA-8     | ۱۱۷۶ | ۳۸  | ۰/۰۴۲ | ۵    | ۰/۱۴ | ۲۴  |
| SA-9     | ۷۷۰  | ۱۵۱ | ۰/۰۵۳ | ۹    | ۰/۴۶ | ۴۶  |
| SA-10    | ۶۳۸  | ۲۳۰ | ۰/۰۶۸ | ۹    | ۰/۴۴ | ۵۰  |
| SA-11    | ۶۵۱  | ۲۵۶ | ۰/۰۶  | ۹    | ۰/۱۴ | ۴۵  |
| SA-12    | ۶۱۰  | ۲۵۴ | ۰/۰۵۲ | ۸    | ۰/۱۴ | ۴۳  |
| SA-13    | ۶۲۹  | ۲۴۱ | ۰/۰۵۴ | ۸    | ۰/۱۴ | ۴۸  |
| SA-14    | ۴۷۲  | ۱۴۴ | ۰/۰۷۲ | ۶    | ۰/۱۴ | ۳۷  |
| SA-15    | ۶۴۱  | ۲۳۴ | ۰/۰۵۹ | ۸    | ۰/۱۶ | ۴۶  |
| SA-16    | ۶۹۰  | ۲۵۷ | ۰/۰۴۴ | ۹    | ۰/۱۵ | ۴۶  |
| SA-17    | ۶۶۷  | ۱۶۲ | ۰/۰۵۳ | ۹    | ۰/۴۵ | ۵۰  |
| SA-18    | ۶۸۹  | ۱۶۹ | ۰/۰۶۳ | ۹    | ۰/۴۹ | ۵۶  |
| SA-19    | ۴۹۸  | ۱۳۰ | ۰/۰۶۶ | ۸    | ۹۲   | ۴۳  |
| SA-20    | ۷۵۵  | ۱۵۲ | ۰/۰۵۸ | ۱۳   | ۵    | ۴۹  |
| SA-21    | ۸۶۲  | ۲۰۸ | ۰/۰۴۷ | ۱۱   | ۰/۴۴ | ۶۶  |



شکل ۲ مقدار آرسنیک و آنتیموان در نمونه‌های خاک در منطقه‌ی معدنی چشمه زرد (الف) مقدار آرسنیک نمونه‌های برداشت شده از رگه‌های کانی‌سازی و مناطق اطراف آن، (ب) مقدار آرسنیک نمونه‌های برداشت شده از آبراهه‌ها، (پ) مقدار آرسنیک نمونه‌های برداشت شده از زمین‌های کشاورزی، (ت) مقدار آنتیموان نمونه‌های برداشت شده از رگه‌های کانی‌سازی و مناطق اطراف آن، (ث) مقدار آنتیموان نمونه‌های برداشت شده از آبراهه‌ها، (ج) مقدار آنتیموان نمونه‌های برداشت شده از زمین‌های کشاورزی.



شکل ۳ الف محل برداشت ایستگاه SA-2 از خاک‌های زرد روستای متروکه چشمه زرد (دید به شرق).



شکل ۳ ب محل برداشت ایستگاه SA-20 از آبراهه محل رگه آنتیموان-آرسنیک.

### بررسی مقدار آرسنیک و آنتیموان در نمونه‌های آب

جدول (۳) ویژگی و pH نمونه‌برداری از آب منطقه‌ی معدنی چشمه زرد و جدول (۴) نتایج تجزیه آرسنیک و همراه با چهارده عنصر مهم دیگر را در آب نشان می‌دهد.

بنا بر آخرین اعلام سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) در ۳۱ اکتبر ۲۰۰۱، حد استاندارد آرسنیک در آب آشامیدنی ۱۰ میلی گرم در تن بوده است که جایگزین استاندارد قبلی شده است که ۵۰ میلی گرم در تن بوده است

[۲۷]. نتایج تجزیه نمونه‌های آب نشان می‌دهد که آرسنیک در آب‌های آشامیدنی مورد استفاده روستای حسن آباد (نمونه‌های DW-1 و DW-2) حدود ۲۳ و ۱۳ برابر حد استاندارد و خطرناک است (۱۲۶ تا ۲۲۶ میلی گرم در تن). آب آشامیدنی روستای ارغش نیز آرسنیک قابل توجهی داشته ولی از حد استاندارد کمتر است. دیگر آب‌های منطقه که بیشتر مربوط به چشمه‌ها هستند مطلوب‌اند (جدول ۳ و شکل ۴ الف).

جدول ۳ موقعیت نمونه‌برداری و pH آب از نمونه‌های منطقه معدنی چشمه زرد (از هر ایستگاه سه نمونه آب برداشت شده است)

| pH  | ویژگی نمونه                                                         | ایستگاه نمونه |
|-----|---------------------------------------------------------------------|---------------|
| ۸٫۷ | آب شرب روستای حسن آباد                                              | DW-1          |
| ۸٫۷ | آبخور در روستای حسن آباد که از چشمه‌ای از سمت معدن سرچشمه گرفته است | DW-2          |
| ۸٫۳ | استخر روستای متروکه چشمه زرد                                        | SW-3          |
| ۷٫۷ | چشمه روستای متروکه چشمه زرد                                         | SW-4          |
| ۸٫۶ | آب مورد استفاده دام‌های روستای ارغش که از ارتفاعات ریشه می‌گیرد     | SW-5          |
| ۸٫۷ | آب آشامیدنی روستای ارغش                                             | DW-6          |
| ۷٫۵ | چشمه‌ای در مسیر کانی‌سازی رگه‌ای آنتیموان-آرسنیک                    | SW-7          |

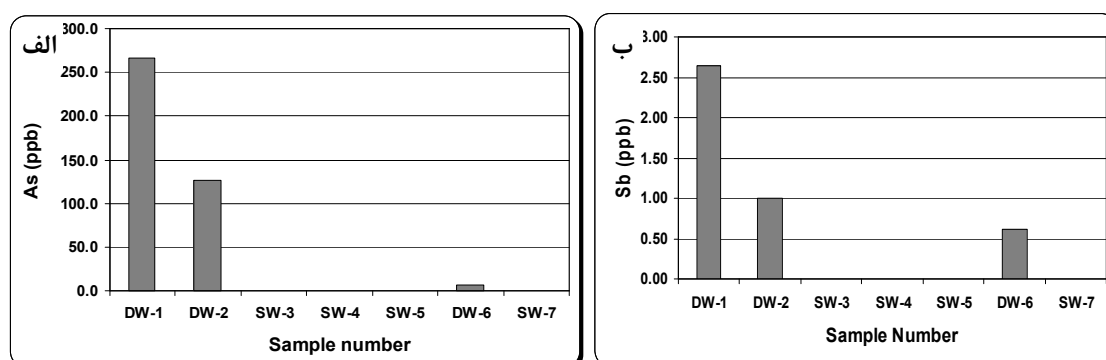
جدول ۴ نتایج تجزیه شیمیایی کاتیون‌های مهم در نمونه‌های آب منطقه‌ی معدنی چشمه زرد.

| عنصر     | As  | Ag    | Bi    | Cd    | Cr  | Co    | Cu  | Hg   | Mo  |
|----------|-----|-------|-------|-------|-----|-------|-----|------|-----|
| واحد     | ppb | ppb   | ppb   | ppb   | ppb | ppb   | ppb | ppb  | ppb |
| حد تشخیص | ۰٫۵ | ۰٫۰۵  | ۰٫۰۵  | ۰٫۰۵  | ۰٫۵ | ۰٫۰۲  | ۰٫۱ | ۰٫۱  | ۰٫۱ |
| DW-1     | ۲۲۶ | <۰٫۰۵ | <۰٫۰۵ | <۰٫۰۵ | ۵   | <۰٫۰۲ | ۰٫۹ | <۰٫۱ | ۵۷  |
| DW-2     | ۱۲۶ | <۰٫۰۵ | <۰٫۰۵ | <۰٫۰۵ | ۱۸  | ۰٫۰۴  | ۱٫۴ | <۰٫۱ | ۶۴  |
| SW-3     | n.d | n.d   | n.d   | n.d   | n.d | n.d   | n.d | n.d  | n.d |
| SW-4     | n.d | n.d   | n.d   | n.d   | n.d | n.d   | n.d | n.d  | n.d |
| SW-5     | n.d | n.d   | n.d   | n.d   | n.d | n.d   | n.d | n.d  | n.d |
| DW-6     | ۶٫۵ | <۰٫۰۵ | <۰٫۰۵ | <۰٫۰۵ | ۲۵  | <۰٫۰۲ | ۲٫۱ | <۰٫۱ | ۱۶  |
| SW-7     | n.d | n.d   | n.d   | n.d   | n.d | n.d   | n.d | n.d  | n.d |



## ادامه جدول ۴

| عنصر     | Mn   | Ni   | P   | Pb   | Sb   | Zn  |
|----------|------|------|-----|------|------|-----|
| واحد     | ppb  | ppb  | ppb | ppb  | ppb  | ppb |
| حد تشخیص | ۰/۰۵ | ۰/۲  | ۲۰  | ۰/۱  | ۰/۰۵ | ۰/۵ |
| DW-1     | ۰/۷۴ | <۰/۲ | <۲۰ | <۰/۱ | ۲/۶۵ | ۱۳  |
| DW-2     | ۱/۴۵ | <۰/۲ | <۲۰ | <۰/۱ | ۱    | ۹   |
| SW-3     | n.d  | n.d  | n.d | n.d  | n.d  | n.d |
| SW-4     | n.d  | n.d  | n.d | n.d  | n.d  | n.d |
| SW-5     | n.d  | n.d  | n.d | n.d  | n.d  | n.d |
| DW-6     | ۰/۵۷ | <۰/۲ | <۲۰ | <۰/۱ | ۰/۶۲ | ۵۶  |
| SW-7     | n.d  | n.d  | n.d | n.d  | n.d  | n.d |



شکل ۴ الف) مقدار آرسنیک در نمونه‌های آب منطقه‌ی معدنی چشمه زرد و ب) مقدار آنتیموان در نمونه‌های آب منطقه‌ی معدنی چشمه زرد (آب آشامیدنی DW و آب چشمه‌ی SW نامگذاری شده است).

رسوب‌های رودخانه‌ای، لایه‌های سطحی خاک و آب‌های زیرزمینی محلی شده است. بنابراین مردم این منطقه و نیز گیاهان و جانوران می‌توانند به عنوان نمونه‌های مناسب برای شاخص اثرهای آرسنیک و آنتیموان مورد بررسی قرار گیرند. ارزیابی ژئوشیمیایی- زیست محیطی در مناطق کانی‌سازی رگه‌ای و آبراهه‌های مجاور آنها در منطقه مورد بررسی دو گستره‌ی مهم از نظر بالابودن عناصر آلاینده آرسنیک و آنتیموان را در منطقه چشمه زرد مشخص کرد:

۱) کانی‌سازی رگه‌ای طلا- آرسنیک  $\pm$  آنتیموان در روستای متروکه چشمه زرد

۲) کانی‌سازی رگه‌ای آنتیموان- آرسنیک در جنوب شرقی روستای ارغش.

این موضوع نشان می‌دهد که این عناصر به مقدار قابل توجهی و با تمرکز بیش از حد استاندارد در مقایسه با شاخص‌های USEPA در خاک‌ها و رسوب‌های رودخانه‌ای این گستره کانی‌سازی حضور دارند و خاستگاه هرگونه آلودگی احتمالی در

حد استاندارد آنتیموان در آب آشامیدنی ۱ میلی گرم در تن است [۲۸]. مقدار آنتیموان نیز در آب همبستگی مثبتی با آرسنیک نشان می‌دهد و بالاترین مقادیر آن در آب‌های آشامیدنی روستاهای حسن آباد و ارغش وجود دارد. میزان آنتیموان در آب آشامیدنی روستای حسن آباد (نمونه DW-1) نزدیک به سه برابر حد مجاز است اما در روستای ارغش کمتر از حد استاندارد است (جدول ۳ و شکل ۴ ب).

#### برداشت

بیشتر بررسی‌های زیست محیطی آرسنیک و آنتیموان در مناطقی انجام شده‌اند که تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار داشته و بررسی‌های کمتری روی منابع طبیعی آلاینده آرسنیک و آنتیموان انجام شده است. این نوع آلاینده‌ها در مدت زیادی بر اجزای محیط زیست تاثیر دارند.

فعالیت‌های معدنکاری که از گذشته در منطقه‌ی معدنی چشمه زرد صورت گرفته است با ایجاد شرایط نامطلوب، نظیر رهاسازی دپوهای باطله در حریم آبراهه‌های اصلی، منجر به یک رشته بیهنجاری‌های ژئوشیمیایی در آب‌های سطحی و نیز

منطقه هستند که می‌تواند اکوسیستم ناحیه را تحت تاثیر قرار دهد.

خاک زمین‌های کشاورزی روستاهای ارغش و حسن آباد به عنوان دو روستای بزرگ و پرجمعیت این گستره دارای میزان آرسنیک و آنتیموان کمتر از سطح استاندارد جهانی هستند که این مسئله سلامت محصولات کشاورزی را تایید می‌کند.

ارزیابی ژئوشیمیایی- زیست محیطی آب‌های آشامیدنی و چشمه‌های منطقه نشان داد که آب آشامیدنی روستای حسن آباد که از سمت رگه‌های کانی‌سازی طلا- آرسنیک  $\pm$  آنتیموان تامین می‌شود، حدود ۲۳ تا ۱۳ برابر حد استاندارد (۱۲۶ تا ۲۲۶ میلی گرم در تن) دارای آرسنیک بوده و مقدار آنتیموان نیز در حدود ۳ برابر بالاتر از حد مجاز است. این در حالیست که آب آشامیدنی روستای ارغش نسبت به آب چشمه‌های اطراف از مقادیر قابل توجهی از عناصر آرسنیک و آنتیموان برخوردار است، اما مقدار آنها از حد استاندارد کمتر بوده و فعلاً خطرناک نیستند.

اغلب آلودگی مردم دنیا به عنصر آرسنیک از طریق آب آشامیدنی صورت می‌گیرد. این عنصر عامل بیماری‌های زیادی در انسان از جمله سرطان پوست، ریه، کلیه و مثانه است [۲۹ تا ۳۱]. خطر ابتلا به سرطان با آلودگی آرسنیک، قابل مقایسه با استعمال دود سیگار است [۳۲]. افراد زیادی در کشورهایی نظیر تایوان، هند، شیلی و مکزیک که از آب آشامیدنی آلوده به آرسنیک استفاده می‌کنند مبتلا به سرطان پوست هستند [۳۳، ۳۴]. آلودگی آنتیموان نیز موجب آسیب رسیدن به اعضای بدن همچون ریه، قلب، کبد و کلیه می‌شود [۳۵]. قاسم‌زاده و ارباب زوار [۳۶] و قاسم‌زاده و همکاران [۸] در بررسی اثرهای زیست محیطی معدن زرنیخ چلپو در ۲۳ کیلومتری شمال- شمال شرق منطقه‌ی کوهسرخ کاشمر در استان خراسان‌رضوی دریافتند که هفت نوع سرطان و ۲۵ مورد مرگ و میر به دلیل سرطان در روستاهای اطراف منطقه وجود دارد که در کل ۲۰ درصد علل مرگ و میر را تشکیل می‌دهند.

این مسئله نشان می‌دهد که بالابودن بیش از حد عناصر آلاینده آرسنیک و آنتیموان در آب آشامیدنی روستای حسن آباد می‌تواند عامل سرطان‌های خطرناک و ضایعات پوستی شدید در این منطقه باشد که نیاز به بررسی تفصیلی بر روی علل مرگ و میر افراد این روستا دارد.

امروزه به روش‌های مختلف از قبیل رسوبگذاری شیمیایی، روش آلومینیوم فعال، اتمسفر وارون، اکسایش نور خورشید، پالایش زیستی و غیره می‌توان آرسنیک را از آب حذف کرده و یا مقدار آن را کاهش داد [۳۷-۳۹]. شناخت بسیاری از این روش‌ها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که گیاهان در پالایش یا Phytoremediation، که یکی از راه‌های پالایش زیستی است، کارایی بالایی در کاهش مواد آلاینده از جمله آرسنیک و آنتیموان دارند [۸]. کاهش آرسنیک و آنتیموان در نمونه‌های آبی که از طبیعت گرفته شده بود و میزان بالایی از این عناصر در مقایسه با آب آشامیدنی نشان ندادند ممکن است به همین جهت باشد.

در مجموع ضرورت دارد تا در راستای مدیریت منابع آلاینده و کاهش آنها، زمینه مناسبی برای تامین آب آشامیدنی این روستا از محل دیگری اقدامات لازم انجام شود.

#### قدردانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۲/۱۴۹۵۸ معاونت پژوهشی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌گردد. از گروه زیست-شناسی به خاطر در اختیار گذاشتن امکانات جهت انجام این طرح سپاس‌گزاریم. در انتها از داوران محترم که با نظرات مفید خود به ارتقاء سطح علمی این مقاله نیز کمک نموده‌اند تشکر می‌کنیم.

#### مراجع

- [1] ATSDR: Arsenic for toxic substances and disease registry (ATSDR), "toxicological profile for arsenic", U.S Dept. Health human Serv. Publ. Health Serv. ATSDA, Tp-92102, (1992) 88p.
- [2] Smedley P.L., Kinniburgh D.G., "A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters", Applied Geochem, 17 (2002) 517-568.
- [3] Babel S., Opiso E.M., "Removal of Cr from synthetic wastewater by sorption into volcanic ash soil", Int. J. Environ. Sci. Tech., 4 (1) (2007) 99-108.
- [4] Jain C.K., Ali I., "Arsenic: Occurrence toxicity and speciation techniques", Water Resource, 34 (17) (2000) 4304-4312.
- [5] Jack C.N., Wang J., Shraim A.A., "Global health problem caused by arsenic from natural sources", Chemosphere, 52 (9) (2003) 1353-1359.

- ماهواره‌ای، آلتراسیون، ژئوشیمی و ژئوفیزیک در محدوده نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن، سازمان صنایع و معادن خراسان رضوی، مرکز تحقیقات ذخایر معدنی شرق ایران، (۱۳۸۴) ۱۰۵ صفحه.
- [۱۹] غلامی ن، "زمین‌شناسی، ژئوشیمی و پترولوژی ارغش (نیشابور)"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۸) ۱۸۹ صفحه.
- [۲۰] کریمی ز، "گانی‌سازی، آلتراسیون و ژئوشیمی محدوده جنوب ارغش (نیشابور)"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۸) ۱۸۱ صفحه.
- [۲۱] خلیلی ل، "زمین‌شناسی، پتروگرافی، گانی‌سازی و ژئوشیمی غرب ارغش (نیشابور)"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۹) ۲۲۷ صفحه.
- [۲۲] اسمعیلی زینلی م، "پتروگرافی، آلتراسیون، گانی‌سازی و ژئوشیمی شمال غرب ارغش (نیشابور)"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۹) ۱۸۵ صفحه.
- [۲۳] خویی ن، "مطالعات گانی‌شناختی کانسار طلای چشمه زرد"، بیستمین گردهمایی علوم زمین، (۱۳۸۰).
- [24] Lindsay W.L., "Chemical equilibria in soils", Gohn Wiley and Sons, New York, (1979) 449 p.
- [25] USEP., "office of Solid Waste and Emergency Response", Hazardous Waste Land Treatment, SW-874 (1983), 273 p.
- [26] Sheppard S.C., "Summary of phytotoxic levels of soil arsenic", Water Air Soil Pollut, 64 (3-4) (1992) 539-550.
- [27] USEPA., "office of Solid Waste and Emergency Response", Hazardous Waste Land Treatment, SW-874 (2001), 273 p.
- [28] Fillela M., Belzile N., Chen Y.W., "Antimony in the environment: A review focused on natural waters", Earth-Sci. Rev., 57 (2002) 125-176.
- [29] Chen C.J., Chuang Y.C., Lin T.M., Wu H.Y., "Malignant neoplasms among residents of a Blackfoot disease- endemic area in Taiwan: High artesian well water and cancer", Cancer Res., 45 (1985) 5895- 5899.
- [30] Chen C.J., Chuang Y.C., You S.L., Lin T.M., Wu H.Y., "A retrospective study on malignant neoplasms of bladder, lung and liver in Blackfoot disease endemic area in Taiwan", Br. J. Cancer, 53 (1986) 399-405.
- [6] Mosaferi M., Yunesian M., Mesdaghinia A.R., Nadim A., Nasser S., Mahvi A.H., "Arsenic occurrence in drinking water of L.R. of Iran- the case of Kurdistan province", In: Fate of Arsenic in the environment, Proceedings of the BUET-UNU international symposium, 5-6 February, Dhaka, Bangladesh, (2003).
- [7] Zandsalami S., Karimi N., Kohandel A., "Arsenic in soil, vegetation and water of a contaminated region", International Journal of Environmental Sciences and Technology 8(2) (2011) 331-338.
- [8] Ghassemzadeh F., Arbab-Zavar M.H., McLennon G., "Arsenic and antimony in drinking water in Khohsorkh area, northeast Iran, possible risks for the public health", Journal of Applied Sciences, 6 (13) (2006) 2705-2714.
- [9] Duker A.A., Carranza E.J., Hale M., "Arsenic geochemistry and health", Environ. Int., 31 (5) (2005) 631-64.
- [10] Exploration Co, Jiangxi, China and GSI., "Explanatory Text of Geochemical map of Kadkan", (1996), 42 p.
- [۱۱] نادری میقان ن، ترشیزیان ح، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۷).
- [۱۲] پورلطیفی ع، گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه ارغش (جنوب نیشابور)، سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۷۷) ۱۱۹ صفحه.
- [۱۳] طاهری ج، عسکری ع، "مقدمه‌ای بر اکتشاف طلا در منطقه ارغش (جنوب نیشابور)"، سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۷۹) ۲۰ صفحه.
- [۱۴] شمعانیان غ، "اکتشافات چکشی منطقه ارغش"، سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۷۷) ۷۵ صفحه.
- [۱۵] کوثری سو، اکتشافات ژئوشیمیایی نیمه تفصیلی منطقه ارغش، سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۷۷) ۱۳۷ صفحه.
- [۱۶] کیوانفر م، عسکری ع، گزارش نقشه زمین‌شناسی معدنی ۱:۵۰۰۰ ناحیه معدنی ارغش - چشمه زرد (جنوب نیشابور)، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۷).
- [۱۷] میرا، "زمین‌شناسی اقتصادی گانی‌سازی طلا در منطقه ارغش"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۷۹).
- [۱۸] کریم‌پور م، ح، سعادت س، "مطالعه و بررسی پتانسیل‌های معدنی و تعیین اولویت‌های اکتشافی با استفاده از داده‌های

*the Environment*", VCH, Weinheim, New York, Basel, Cambridge (1991).

[۳۶] قاسم‌زاده، ف.، ارباب زوار م.ح؛ "آلودگی آنتیمونی و آرسنیک آبهای سطحی چلیو در منطقه کوهسرخ کاشمر (استان خراسان) و راهکارهای پالایش آن"، مجله دانشگاه تهران ۴ (۱۳۸۵) ص ۲۲۷-۲۵۴.

[37] Alkorta I., Hernanz-Allica J., Garbiu C., "Plants against the global epidemic of arsenic poisoning", *Environmental International*, 30 (2004) 949-951.

[38] Gavirescu M., "Removal of heavy metals from environment by biosorption", *Engineering life science*, 4(3) (2004) 219-232.

[39] Hug S.J., Canonica L., Wegelin M., Gechter D., Gunten U.V., "Solar oxidation and removal of arsenic and antimony", *Mutation Research*, 368 (2001) 267-274.

[31] Chen C.J., Wu M.M., Lee S.S., Wang J.D., Cheng S.H., Wu H.Y., "Atherogenicity and carcinogenicity of high arsenic artesian well water: Multiple risk factors and related malignant neoplasms of Blackfoot disease", *Arteriosclerosis*, 8 (1988) 452-460.

[32] Smith A.H., Hopenhayn-Rich C., Bates M.N., Goeden H.M., Hertz-Picciotto I., Duggan H.M., Wood R., Kosnett M.J., and Smith M.T., "Cancer risks from arsenic in drinking water. *Environ. Health Perspec.*, 97 (1992) 259-267.

[33] Cebrian M.E., Albores A., Aquilar M., Blakely E., "Chronic arsenic poisoning in the north of Mexico", *Human Toxicol*, 2 (1983) 121-133.

[34] Chakraborty A.K., Saha K.C., "Arsenical dermatosis form tubwell water in west Bengal", *Ind. J. Med. Res.*, 85 (1987) 326-334.

[35] Fowler B.A., Goering P.L., "Antimony. In: Merian, E. (Ed.), *Metals and their Compounds in*