

پراکنندگی جغرافیای آرسنیک

در محیط زیست شهرستان قروه

پیمان کریمی سلطانی

دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی دانشگاه رازی کرمانشاه

چکیده

گستره در دست مطالعه در جنوب شرقی استان کردستان، بخشی از زون ساختاری سنندج- سیرجان به شمار می آید. نواحی شمال و شمال شرقی آن بخشی از راستای شمال غربی- جنوب شرقی آتش فشان های کواترنری قروه- تکاب به حساب می آیند. به سبب آلودگی شدید به آرسنیک آمار سرطانی ها، کاهش طول عمر و بیماری های پوستی در بخش هایی از شهرستان های قروه، بیجار و دیوان دره بسیار بالاست. در این مطالعه با جمع بندی مطالعات صورت گرفته در این زمینه و هم چنین مطالعات میدانی و به ویژه مصاحبه، سعی شده تا به بررسی و دسته بندی منابع و دلایل انتشار آلودگی آرسنیک در منابع آب های سطحی، زیرزمینی و خاک های شهرستان قروه پرداخته شود. مهم ترین منابع ایجاد و انتشار آلودگی آرسنیک در دنیا فعالیت های ماگماتیسم و ظهور چشمه های آب گرم تراورتن ساز، کانی های فلزی مانند طلا، مس، آنتیموان و بالاخره زایدات حاصل از فعالیت های معدن کاری برخی از فلزات است. متأسفانه در سطح منطقه مورد مطالعه تمام عوامل ایجاد و انتشار آلودگی آرسنیک حضور دارند؛ از یک سو فعالیت های ماگماتیسم کواترنری و ظهور چشمه های آب گرم تراورتن ساز و از سوی دیگر، وجود کنسارهای متنوع فلزی و غیرفلزی - که برخی از آن ها در حال استخراج و برخی دیگر در مرحله مطالعات تکمیلی استخراج قرار دارند- سبب انتشار آلودگی در محیط زیست شهرستان شده اند و یا در آینده نزدیک می شوند. چشمه های تراورتن ساز روستای باباگرگر در شرق و شمال شرق منطقه مورد مطالعه با انتقال آرسنیک موجود در مخازن ماگمایی، اصلی ترین عامل در انتشار آرسنیک در بخش های وسیعی

از شهرستان به حساب می آیند. دبی بالای چشمه ها، به جای گذاری حجم وسیعی از نهشته های تراورتنی و تجزیه شیمیایی بعدی کانی های آن ها، توپوگرافی محل و رودخانه مالوجه از دلایل گسترش وسیع آرسنیک در آب های زیرزمینی، سطحی و خاک های منطقه هستند. به طور کلی محدوده مورد مطالعه را از نظر میزان خطر ناشی از آلودگی آرسنیک می توان در سه پهنه تفکیک کرد. نواحی اطراف چشمه های باباگرگر و هم چنین بخش هایی از شرق شهرستان با وجود اینکه تا حدودی از چشمه ها دورند اما به سبب آغاز فعالیت های معدن کاری و استخراج فلزاتی مانند طلا، نقره، آنتیموان و زرنیک در آن ها در پهنه با خطر بالا قرار می گیرند. بخش هایی از جنوب و جنوب غرب شهرستان در پهنه با خطر متوسط و بالاخره نواحی مرکزی و دشت قروه در پهنه با خطر پایین تقسیم بندی شده اند.

کلیدواژه ها: آرسنیک، آلودگی، قروه، چشمه های تراورتن ساز، باباگرگر

مقدمه

تعریف ساده آلودگی، جمع شدن چیزی در جایی نامناسب است. این، تعریفی انسان مدار است و براساس اولویت ها و خواسته های انسان (لارکین و دیگران^۱، ۱۳۸۴: ۵۳). آرسنیک یکی از سمی ترین و خطرناک ترین مواد موجود در آب های طبیعی و خاک ها به حساب می آید و در درازمدت، آثار سوئی بر سلامت موجودات زنده و به ویژه انسان ها دارد. این ماده معمولی از شبه فلزات کمیاب در پوسته جامد زمین به شمار می آید و از لحاظ

ورود آرسنیک به آب‌های زیرزمینی و خروج آن از طریق چشمه‌های آب‌گرم تراورتن‌ساز، آلودگی شدید خاک‌ها و آب‌های سطحی را تا شعاع چندین کیلومتری در شهرستان‌های قروه و بیجار به دنبال داشته است

فراوانی دارای بیستمین رتبه در پوسته زمین، چهاردهمین در آب دریا و دوازدهمین در بدن انسان است. این عنصر در بیش از ۲۴۵ ماده معدنی یافت می‌شود و خود با گوگرد، مس، سرب، نیکل، کبالت و... همراه است. مقدار آرسنیک در لیتوسفر حدود ۱/۵ تا ۲ ppm برآورد شده است. هوازگی سنگ‌ها، سولفید آرسنیک را به تری‌اکسید آرسنیک تبدیل می‌کند و موجب وارد شدن آرسنیک به چرخه آب‌ها می‌شود. غلظت آرسنیک در آب‌های طبیعی بسیار متفاوت و از ۰/۵ تا بیشتر از $5000 \mu\text{g/L}$ متغیر است. طبق تحقیقات انجام‌شده آرسنیک موجب بروز انواع سرطان‌ها (کلیه، کبد، پوست، طحال و...) و ضایعات پوستی (کواتوزیس و پیگمانتاسیون) می‌شود. مقدار مجاز آرسنیک در آب آشامیدنی طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی ۱۰ میکروگرم در لیتر و طبق استاندارد ملی ایران ۵۰ میکروگرم در لیتر است (بابایی و همکاران، ۱۳۸۷: ۳۰).

ذخایر آرسنیک ایران که هم‌اکنون از آن‌ها بهره‌برداری می‌شود به استان‌های آذربایجان، کردستان، خراسان، و زنجان محدود می‌شوند و مشکلات ناشی از وجود آرسنیک در آب‌های آشامیدنی به‌ویژه در استان کردستان، بارها گزارش شده است (حسینی، ۱۳۹۱: ۱۹-۲۳). متأسفانه در اغلب کشورهای در حال توسعه و ایران آمار دقیق مربوط به تلفات ناشی از انواع بیماری‌ها و آلودگی‌ها یا وجود ندارد و یا معتبر و دقیق نیستند و به‌همین دلیل، آمار دقیق تلفات ناشی از آلودگی آرسنیک در سطح شهرستان وجود ندارند. اما آمار بالای انواع سرطانی‌ها، کاهش طول عمر و ترک‌های وسیع در دست و پای مردم محلی، به‌ویژه روستاییان و کشاورزان، بیانگر حضور بیش از حد مجاز آرسنیک در آب‌ها و خاک‌های منطقه است. در این پژوهش به بررسی دلایل و منابع طبیعی و غیرطبیعی ظهور و انتشار آرسنیک در آب و خاک پهنه مورد مطالعه، پراکنده‌گی جغرافیایی و هم‌چنین پهنه‌بندی خطر آن در سطح شهرستان قروه پرداخته شده است.

دلایل و راه‌های انتشار آرسنیک در محیط

راه‌های ورود آرسنیک به محیط‌زیست: به‌طور کلی آرسنیک به دو صورت طبیعی و غیرطبیعی وارد محیط‌زیست می‌شود.

الف. دلایل طبیعی: عنصر آرسنیک در بیش از ۲۰۰ گونه

کانی شامل آرسنیک آزاد یا خاص، آرسنیدها، سولفیدها، اکسیدها، آرسنات‌ها و آرسنیت‌ها وجود دارد. از مهم‌ترین و معمول‌ترین این کانی‌ها می‌توان به آرسنوپیریت (FeAsS)، رآلگار (As_2S_3)، اورپیمنت (As_2S_5) و... اشاره کرد. با توجه به اینکه پیریت یکی از فراوان‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده توده‌های معدنی است و از طرفی ساختار شیمیایی آرسنیک شباهت زیادی به سولفور دارد، هنگام تشکیل پیریت، آرسنیک به‌صورت محلول در ساختمان آن شرکت می‌کند. لذا پیریت آرسنیک‌دار $\text{Fe}(\text{S},\text{As})$ به‌عنوان مهم‌ترین منشأ آرسنیک در زون‌های معدنی معرفی شده تا جایی که پیریت ممکن است تا 560 mg/Kg آرسنیک داشته باشد. بنابراین به‌طور کلی سنگ‌های آذرین با ترکیب فلسیک تا حد واسط و سیالات هیدروترمالی مرتبط با آن محیط‌های مناسب و مستعدی برای کانه‌زایی آرسنیک هستند. زمانی که سنگ‌ها تحت تأثیر هوازگی شیمیایی قرار می‌گیرند، آرسنیک به‌صورت نمک‌های اسیدی حل و وارد محیط‌زیست می‌شود. اگرچه آرسنیک به‌صورت آلی هم (به کمک میکروارگانیسم‌ها) ایجاد می‌شود، اما آرسنیک معدنی به مراتب خطرناک‌تر از نوع آلی آن است (حسینی، ۱۳۹۱: ۱۹).

ب. دلایل غیرطبیعی: بسیاری از فعالیت‌های انسانی

سبب ورود آرسنیک به محیط‌زیست می‌شوند. در این زمینه بیشترین نقش را فعالیت‌های معدن‌کاری ایفا می‌کنند. سایر منابع غیرطبیعی انتشار و ورود آرسنیک به محیط‌زیست عبارت‌اند از:

- **کشاورزی:** آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، خشک‌کننده‌های گیاهان، کودهای فسفاته؛
- **صنعتی:** فراوری مس، سرب، طلا و سایر فلزات غیرآهنی، شیشه، میکروالکترونیک، حفاظت چوب، ردیاب‌های نیمه‌رسانا، باتری‌ها، مواد رنگی، تاکسیدرمی و دباغی؛
- **پزشکی:** داروهایی مانند محلول فاولر و داروهای گیاهی چینی؛
- **دام‌پزشکی:** داروهای دام‌پزشکی (آرسانلیک اسید) و افزودنی‌های غذایی (سایت مجله الکترونیکی اکولوژی، ۱۳۸۸).

دلایل انتشار آرسنیک در منطقه مورد مطالعه: به‌طور

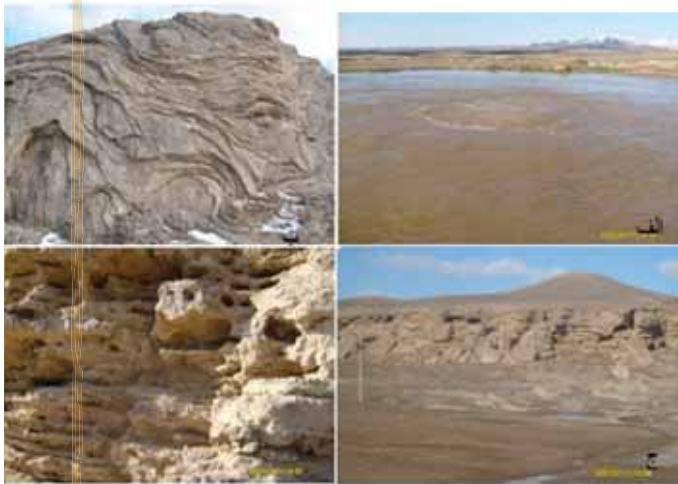
کلی می‌توان منشأ و دلایل ظهور و ورود آرسنیک به محیط‌زیست در منطقه مورد مطالعه را به دو دسته طبقه‌بندی کرد.

الف: دلایل طبیعی: از نظر ساختاری در منطقه آتش‌فشانی

قروه- بیجار- تکاب در زمان میوسن بالایی- پلیوسن، تکاپوی ولکانیسم آغاز شده و سرآغاز این تکاپو به‌صورت ماگماتیسیم نیمه‌نفوذی بوده است و تا امروز به‌صورت آتش‌فشان‌های نیمه‌فعال ادامه دارد. این آتش‌فشان‌ها در امتداد خطی با جهت شمال‌غربی-

بسیاری از فعالیت‌های انسانی سبب ورود آرسنیک به محیط‌زیست می‌شوند. در این زمینه بیشترین نقش را فعالیت‌های معدن‌کاری ایفا می‌کند

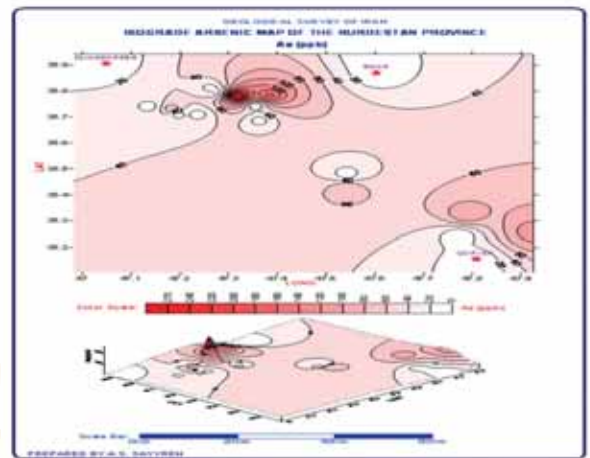
شدن مخزن ماگمایی، به تدریج از دبی چشمه‌ها کاسته شده و در حال حاضر تنها سه چشمه فعال‌اند. دبی یکی از چشمه‌ها در حال حاضر نیز بسیار زیاد است (شکل ۲) و ده‌ها هکتار از زمین‌های اطراف با آن آبیاری می‌شود و از همین طریق نیز خاک زمین‌ها آلوده می‌شوند. نکته قابل توجه دیگر، وجود نهرهای خودساخته توفایی (به نهشته‌های ناشی از چشمه‌های آب‌گرم تراورتن و به نهشته‌های ناشی از چشمه‌های آب‌سرد توفایی می‌گویند) در جهات و با ابعاد وسیع و اغلب طویل در اطراف چشمه‌های فعال کنونی است. طول بعضی از این نهشته‌ها و نهرهای خودساخته به بیش از سه کیلومتر می‌رسد و از همین طریق نیز آب‌های آلوده به آرسنیک به نقاط دورتر و خاک‌ها منتقل می‌شوند. سنگ‌ها و رسوبات تراورتن و توفای جزو سنگ‌های متخلخل و بسیار متخلخل طبقه‌بندی می‌شوند و در برابر هوازدگی فیزیکی و به‌ویژه شیمیایی بسیار آسیب‌پذیرند (شکل ۲) از این‌رو تجزیه شیمیایی کانی‌های این سنگ‌ها نیز سبب ورود آرسنیک به آب‌های سطحی، زیرزمینی و خاک‌ها می‌شود.



شکل ۲: الف. یکی از چشمه‌های فعال تراورتن‌ساز منطقه مورد مطالعه، روستای باباگرگ؛ ب و ج. حجم و ضخامت وسیع سنگ‌های تراورتن ناشی از چشمه‌های تراورتن‌ساز؛ د. تجزیه شیمیایی سنگ‌های تراورتن در منطقه مورد مطالعه

ب. دلایل غیرطبیعی: استان کردستان و به‌ویژه شهرستان

جنوب‌شرقی در پهنه سنندج- سیرجان قرار گرفته‌اند. فعالیت ولکانیسم‌های جوان در منطقه، تمرکز عناصری مانند Sb, Hg و As را در منطقه به نحو چشم‌گیری افزایش داده است. نهشته‌های آب شیرین (تراورتن) متعلق به کواترنر در تمام منطقه به‌طور پراکنده وجود دارد. این رسوبات تراورتن به‌صورت حفره‌دار به رنگ سفید مایل به زرد است. این فعالیت‌های ژئوترمالی در ارتباط با ولکانیسم جوان منطقه است. بخارهایی که از ماگماهای زیرین فرار کرده، آرسنیک را وارد سیستم گرمایی کرده‌اند و سپس، آرسنیک در اثر انتشار طبیعی وارد آب زیرزمینی شده است (سیاره، ۱۳۸۶). ورود آرسنیک به آب‌های زیرزمینی و خروج آن از طریق چشمه‌های آب‌گرم تراورتن‌ساز، آلودگی شدید خاک‌ها و آب‌های سطحی را تا شعاع چندین کیلومتری در شهرستان‌های قروه و بیجار به دنبال داشته است (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه مقادیر انتشار آرسنیک در محدوده قروه- بیجار (منبع، سیاره و همکاران، ۱۳۸۶)

آثار تکنوماگماتیسم و بروز شرایط هیدروترمالی و شکل‌گیری چشمه‌های تراورتن‌ساز در شرق و شمال‌شرق محدوده مورد مطالعه، تأثیر فرایندهای زمین‌شناختی بر محیط‌زیست را به نمایش می‌گذارد. فعالیت‌های ولکانیسم و ظهور چشمه‌های تراورتن‌ساز، مهم‌ترین و اصلی‌ترین راه طبیعی انتشار آرسنیک به محیط‌زیست و آلودگی منابع آب و خاک این منطقه است. ضخامت بسیار زیاد لایه‌های تراورتن (شکل ۲)، محدوده بسیار وسیعی که این لایه‌ها اشغال کرده‌اند و همچنین بقایای چشمه‌هایی بسیار بزرگ‌تر از چشمه‌های کنونی، همه بیانگر فعالیت تعداد زیادی از چشمه‌های آب‌گرم با دبی بسیار بالاست که سبب ورود و انتشار حجم وسیعی از آرسنیک موجود در مخزن ماگمایی زیرین به آب‌ها و خاک‌های این منطقه شده است. همچنین جریان رود مالوجه در نزدیکی چشمه‌ها و زهکش شدن بخش اعظم آب چشمه‌ها توسط آن، سبب انتشار آلودگی آرسنیک تا ده‌ها کیلومتر شده است. با سرد

جدول ۲: نتایج آنالیز خاک زمین‌های اطراف معدن سنگ آهن گلالی mg/kg/DW

عنصر	آرسنیک (AS)
مقدار کل در خاک‌های کشاورزی اطراف معدن	۳۴/۸۳۲
مقدار کل در خاک‌های منطقه شاهد	۲۳/۴۶۲
مقدار معمول در طبیعت	۶

منبع: ملایری و همکاران، ۱۳۹۰: ۳

پراکندگی جغرافیایی و پهنه‌بندی خطر آرسنیک

همان‌گونه که در بالا بحث شد، انتشار آرسنیک در سطح منطقه مورد مطالعه، هم منشأ طبیعی و هم منشأ غیرطبیعی دارد. منشأ طبیعی آن ناشی از فعالیت‌های ولکانیسم کواترنری است که پیامد آن شکل‌گیری چشمه‌های تراورتن‌ساز است و در بخش‌های شرقی و شمال‌شرقی منطقه مورد مطالعه وجود دارد. این ناحیه به سبب فعالیت وسیع و شدید چشمه‌ها تا شعاع چند کیلومتری انتشار یافته است. منشأ غیرطبیعی انتشار آرسنیک در سطح منطقه مورد مطالعه را باید در پتانسیل بالای منطقه از نظر وجود کانی‌های متنوع فلزی و البته کانی‌هایی دانست که همراه با استخراج آن‌ها، حجم وسیعی از آرسنیک در سطح منطقه انتشار می‌یابد.

فلزاتی مانند طلا، آنتیموان، آهن و کانی‌هایی مانند زرنیخ و سنگ‌های تراورتن که در سطح منطقه مورد مطالعه در حال استخراج یا در مرحله مطالعات تکمیلی استخراج قرار دارند، همگی از نوع فلزات و کانی‌هایی هستند که همراه با آن‌ها حجم وسیعی از آرسنیک در سطح منطقه انتشار می‌یابد. بهترین مثال در این زمینه، بخش‌هایی از شرق، شمال شرقی، جنوب و جنوب‌غربی منطقه مورد مطالعه است. بخش‌هایی از شرق و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه هر چند تا حدودی از چشمه‌های تراورتن‌ساز فاصله دارد، اما به سبب آغاز مطالعات اکتشافی از اوایل دهه ۸۰ و حضور شرکت‌های انگلیسی، چینی و در حال حاضر قزاق‌ها، و وجود معدن آنتیموان، طلا، مس و زرنیخ، به شدت در معرض آلودگی‌های شدیدتر به آرسنیک قرار دارد و باید این منطقه را همراه با نواحی اطراف چشمه‌ها در پهنه‌بندی تقسیم‌بندی کرد (البته بخش‌هایی از شرق و جنوب شرقی شهرستان در برهه زمین‌شناسی کبودرآهنگ قرار گرفته و روی شکل ۳ مشخص نشده است).

بخشی از ارتفاعات جنوب و جنوب‌غربی شهرستان هم به سبب غنی بودن از نظر کانی‌های فلزی به‌ویژه آهن و فعالیت معدن سنگ آهن گلالی و البته مطالعات مفصل صورت گرفته با هدف توسعه و گسترش آن، از نظر پهنه‌بندی در معرض خطر

قروه به لحاظ موقعیت خاص جغرافیایی و زمین‌شناسی دارای ذخایر عظیم مواد معدنی فلزی و غیرفلزی است. در جدول ۱ آمار معادن فعال، ثبت‌شده یا در نوبت صدور مجوز در محدوده شهرستان قروه آمده است (ملکی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳).

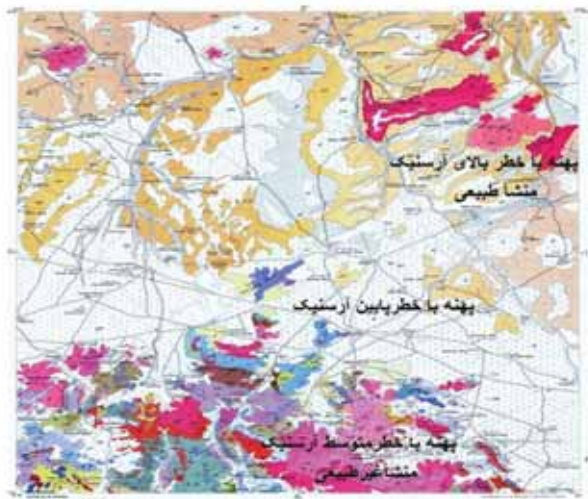
آمارها نشان از پتانسیل بالای شهرستان در استخراج عناصر فلزی و سنگ‌های تزئینی دارد. ارزش اقتصادی معدن آنتیموان (استیبینیت Sb_۲S_۳) معدن زرکوه در اطراف روستای داش‌کسن در ۳۷ کیلومتری شمال شرق قروه و همراه داشتن عناصر فلزی مانند طلا و نقره بسیار بالاست (آقاباتی، ۱۳۹۱: ۱۰). به دلیل فعالیت‌های بشری و عمدتاً معدن‌کاری، آرسنیک‌هایی که در شرایط طبیعی غیرمتحرک هستند، متحرک‌اند و در بسیاری از جاهایی که در شرایط طبیعی وجود ندارند هم یافت می‌شوند (سایت مهندسی معدن ایران، ۱۳۸۸). با توجه به آمار معادن و نوع عنصر استخراج‌شونده در آن‌ها، می‌توان استنباط کرد که هرساله حجم قابل توجهی از زمین‌ها و آب‌های سطحی و زیرزمینی اطراف این معدن به آرسنیک آلوده می‌شوند.

جدول ۱: آمار معادن فعال، ثبت شده و یا در نوبت صدور و مجوز شهرستان قروه

نوع معدن	تعداد معادن فعال	تعداد معادن ثبت شده یا در نوبت صدور مجوز
پوکه معدنی	۲۲	۱۶
سنگ‌های تزئینی	۲۶	۴۱
سنگ آهن	۱	۵
برداشت خاک رس	۳	۵
برداشت شن و ماسه رودخانه	۴	۸
طلا- آنتیموان- زرنیخ	۳	
پوزولان		۴
پلی‌متال		۵
سنگ آهک و سنگ گچ		۳
توفیت- تراورتن- کائولن		۴
سیلیس و فلدسپات		۵
برداشت شن و ماسه کوهی	۴	۷
مجموع	۶۳	۱۰۳

منبع: ملکی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳

ملایری و همکاران (۱۳۹۰) با نمونه‌برداری از خاک زمین‌های کشاورزی اطراف معدن سنگ آهن روستای گلالی در ۴۵ کیلومتری جنوب قروه، این خاک‌ها را به شدت آلوده به فلزات سنگین و به‌ویژه آرسنیک دانسته و کاشت برخی از گونه‌های گیاهی انباشته‌ساز را در جذب و کاهش این عناصر در خاک پیشنهاد کرده‌اند (جدول ۲).



شکل ۳: نقشه پهنه‌بندی خطر و منشأ آلودگی به آرسنیک در سطح شهرستان قروه

ذخایر آرسنیک ایران که هم‌اکنون از آن‌ها بهره‌برداری می‌شود به استان‌های آذربایجان، کردستان، خراسان، و زنجان محدود می‌شوند و مشکلات ناشی از وجود آرسنیک در آب‌های آشامیدنی به‌ویژه در استان کردستان، بارها گزارش شده است

آلودگی به آرسنیک در پهنه متوسط قرار می‌گیرند. هم‌چنین در این پهنه‌بندی، بخش‌های مرکزی و دشت قروه در پهنه ضعیف قرار می‌گیرند (شکل ۳).

بحث و نتیجه‌گیری

سیاره (۱۳۸۶) انتشار آرسنیک در جهان را عمدتاً در ارتباط با ذخایر طلا و چشمه‌های آب‌گرم و تراورتن‌ساز و مشکلات ناشی از آرسنیک را به‌طور عمده به شکل تمرکز در باطله‌های معدنی یا ذخایر غنی از آرسنیک (مانند ذخایر طلا و آنتیموان) دانسته است. با توجه به مطالب بالا، بخش‌هایی از شرق و شمال‌شرق منطقه مورد مطالعه محل فعالیت بسیار وسیع چشمه‌های آب‌گرم تراورتن‌ساز در گذشته نه چندان دور و فعالیت کمتر در حال حاضر است. هم‌چنین بخش‌های دیگری محل استخراج کانی متنوع فلزی هستند. مثلاً ذخایر معدن طلای زرکوه در روستای داش‌کسن ۲۵۰ تن برآورد شده که در منطقه خاورمیانه بی‌نظیر است. نکته قابل توجه دیگر وجود ذخایر سرشار آنتیموان در زمین‌ها و ارتفاعات اطراف زرکوه است. از این‌رو این شهرستان از نقاطی است که هم در معرض آلودگی‌های طبیعی و هم غیرطبیعی آرسنیک قرار دارد.

آمارهای غیررسمی نشان از درصد بالای مرگ و میر ناشی از سرطان در سنین پایین، به‌ویژه در روستاهای اطراف چشمه‌های باباگرگ دارد. برای مثال اصلی‌ترین علت تخلیه روستای باباگرگ از سوی ساکنان، آمار بالای سرطانی‌هاست که خود اهالی، تعداد سرطانی‌ها را در ۴۰-۳۰ سال گذشته ۴۶ نفر اعلام می‌کنند. خوشبختانه در سال‌های اخیر با پیشرفت و توجه بیشتر به امر بهداشت، تقریباً هیچ‌یک از روستاهای شرق و شمال‌شرقی شهرستان از آب‌های طبیعی منطقه استفاده نمی‌کنند و با انتقال آب از سایر نقاط، مشکل آن‌ها برطرف شده است. اما مشکلات ذخایر آرسنیک موجود در خاک و هوای منطقه، هم‌چنان باقی است و با ورود آن به بافت گیاهان، به بدن موجودات و انسان‌ها وارد می‌شود و باید در این زمینه نیز اقدامات مؤثری صورت پذیرد. یکی از مؤثرترین اقدامات در این زمینه، استفاده از خواص زمین‌پالایی برخی از گونه‌های گیاهی و کاشت آن‌ها در این زمین‌هاست.

پی‌نوشت

1. Larkin et al.

منابع

۱. آقاباتی، سیدعلی (۱۳۹۱)، «زمین‌شناسی و توان معدنی استان کردستان»، رشد آموزش زمین‌شناسی، دوره هجدهم، شماره ۴، تهران، صص ۱۸-۸.
۲. بابایی، یاسمن و همکاران (۱۳۸۷)، «بررسی آلودگی آب‌های سطحی منطقه کوه‌سرخ کاشمر به آرسنیک»، مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره ۴، شماره ۳، تهران، صص ۳۵-۲۹.
۳. حسینی، محبوبه (۱۳۹۱)، «آرسنیک و زیست‌محیط»، رشد آموزش زمین‌شناسی، دوره هجدهم، شماره ۴، تهران، صص ۲۳-۱۸.
۴. لارکین، پیترو و همکاران (۱۳۸۴)، محیط‌زیست (دانش روز برای همه)، ترجمه احمد جواهریان، تهران: شرکت انتشارات علمی و فرهنگی.
۵. کسرابی، پورنگ (۹۱/۱۰/۲۶)، «نگرشی بر آرسنیک در محیط زیست»، سایت <http://www.drkasraie.Blogfa.com/>
۶. صادقی، بهنام (۹۱/۱۰/۲۶)، «اثرات آرسنیک روی بدن»، سایت <http://www.intrepid-geophysiscs.com/>
۷. سیاره، علیرضا و همکاران (۹۱/۱۰/۲۵)، «بررسی‌های زمین‌شناسی زیست‌محیطی در منطقه قروه- بیجار»، سایت <http://www.Gsi.ir/>
۸. ملابری، بهروز و همکاران (۱۳۹۰)، «معرفی برخی گونه‌های انباشته‌ساز در منطقه آلوده به فلزات سنگین (مطالعه موردی: معدن سنگ‌آهن گل‌الی)، اولین همایش ملی گیاه‌پالایی، کرمان.
۹. ملکی، امجد و پیمان کریمی‌سلطانی (۱۳۹۱)، اثرات زیست‌محیطی بهره‌برداری از معادن شهرستان قروه، در نوبت چاپ.