

بررسی منشا آلودگی منابع طبیعی به آرسنیک در توابع شهرستان هشتروند، استان آذربایجان شرقی

آزیتا بهبهانی نیا^{۱*}

behbahani@riau.ac.ir

مریم فراهانی^۲

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۲۸

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۴/۲۵

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی آرسنیک خاکها و آبهای سطحی و زیرزمینی به دلیل پتانسیل بالای آن برای ورود به زنجیره غذایی، تهدید بزرگی برای سلامت بشر می باشد. در منطقه هشتروند واقع در استان آذربایجان شرقی، شواهد مربوط به آلودگی آرسنیک به صورت ناراحتی های پوستی گزارش شده است. هم چنین این آلودگی ممکن است کاهش کمی و کیفی محصولات کشاورزی و یا ایجاد عوارض خاصی در دامها را در پی داشته باشد، که به دلیل عدم آگاهی، علت آن تشخیص داده نشده باشد ولی مربوط به آلودگی با آرسنیک باشد. اهداف پژوهش حاضر شامل شناسایی میزان آلودگی منابع آب و خاک منطقه به وسیله آرسنیک و تعیین منشاء آلودگی می باشد.

روش بررسی: پس از انجام بررسی های صحرایی و نمونه برداری از منابع آب های سطحی و زیرزمینی، خاک، رسوبات رودخانه و سنگ براساس موقعیت منابع موجود در منطقه و تجزیه ویژگی های فیزیکی و شیمیایی و نیز آرسنیک در آن ها، تجزیه و تحلیل های لازم صورت گرفت.

یافته ها: برای عنصر آرسنیک تفاوت قابل ملاحظه ای بین مقدار میانگین این عنصر با هم در نمونه ها و هم چنین با میانگین پوسته وجود دارد. حداکثر مقدار آرسنیک (۹۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) در نمونه خاکستر آتشفشانی مشاهده شده است.

نتیجه گیری: در این منطقه براساس شواهد و یافته های به دست آمده، آلودگی آرسنیک مرتبط با منابع ژئوژنیک (زمین زاد) و فعالیت های آتشفشانی در نظر گرفته شده است. براساس مطالعات انجام شده می توان این مکانیزم ها را عامل آلودگی به آرسنیک در منطقه دانست: آزاد شدن آرسنیک از واحدهای سنگی منطقه، جذب آرسنیک توسط کانی های اکسیدی تحت شرایط هوایی و اسیدی تا نزدیک به خنثی، واجدنی از سطوح اکسیدی در اثر افزایش pH به شرایط قلیایی و افزایش غلظت آرسنیک در محلول و ایجاد آلودگی.

واژه های کلیدی: آرسنیک، خاک، آب های زیرزمینی، خاکستر آتشفشانی.

*۱- (مسئول مکاتبات): استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودهن، ایران.

۲- استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودهن، ایران.

Investigation of Natural Sources Contamination with Arsenic in the Suburbs of Hashtrud City, East Azerbaijan Province

Azita Behbahaninia ^{1*}

behbahani@riau.ac.ir

Maryam Farahani ²

Abstract

Background and Objective: Soil surface water and ground water contamination with arsenic (As), due to its high potential for food cycle entrance, has high risk for human safety. Evidences of as pollution in Hashtrud, in East Azerbaijan, in the form dermal disorders have been reported. Also, this pollution can lead to decrease of agricultural products in terms of both quality and quantity or some lesions in farm animals. Due to lack of knowledge the reason for this remains unknown, but it may be related to as pollution. This study was conducted to investigate the level of soil and water contamination with As in Hashtrud city.

Method: Based on the obtained information, the surface and ground waters, soil, river sediments, and rock were sampled and analyzed for physico-chemical and as in the laboratory.

Results: There are significant differences for mean as contents in the samples and crust. The maximum level of as was observed in fly ash samples. Consequently, as pollution was related to geogenic and volcanic eruptions in this region. According to the results, the mechanisms for As pollution in the region are known to be: As release from rock units, As sorption by oxide minerals in aerobic and acidic to neutral conditions, desorption from oxide surfaces with increase of pH, increase of As concentration in solution, and causing pollution.

Keywords: Arsenic, Soil, Ground waters, Fly ash.

1- Assistant Professor Department of Environmental, Azad University, Rodehen Branch, Iran. * (*Corresponding Author*)

2- Assistant Professor Department of Environmental, Azad University, Rodehen Branch, Iran.

مقدمه

۳۰۰ متغیر بوده است. غلظت آرسنیک چاه ها با گروه سنگ بستر مخصوص خودشان ارتباط داشتند و داده‌های آماری برای غلظت آرسنیک در هر گروه محاسبه شدند. آنالیزهای آماری نشان دادند که آب زیرزمینی با میزان آرسنیک بالا و سنگ آتشفشانی قلیایی همبستگی دارند، در حالی که غلظت پایین آرسنیک با سنگ‌های رسوبی ارتباط دارد. در پژوهشی میزان و گسترش آلودگی As در خاک‌ها و رسوبات حومه فعالیت‌های صنعتی در برزیل بررسی شد (۸). با توجه به نتایج به دست آمده، این احتمال داده شد که ماهیان رودخانه و چهارپایان منطقه، ممکن است به وسیله آرسنیک آلوده شده و بدین وسیله سلامتی ساکنین منطقه به مخاطره بیفتد. نتایج بررسی توزیع و رفتار آرسنیک در خاک‌ها و آب‌های مجاور معدن طلا-آرسنیک (۹) نشان داد در آب‌های منطقه مقادیر pH حدود ۸ و غلظت آرسنیک از ۶۰ تا ۴۰۰۰ ppm تغییر می‌کند. ناحیه آلوده شده در شعاع ۵۰۰ m و اثرات زیست محیطی آن به جز برای چرای احشام نسبتاً محدود می‌شود. آرسنیک در خاک‌ها و رسوبات نسبت به آب‌ها سریع تر کاهش می‌یابد. افزایش غلظت آرسنیک توسط pH قلیایی غالب در آب‌های سطحی و زیرزمینی و نیز حضور فازهای جامد ثانویه (اکسی-هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم، رس‌ها و کانی‌های کربناته) مورد توجه است. توزیع آرسنیک در خاک‌ها و رسوبات توسط چرخش آب‌های کم عمق و سطحی غنی از آرسنیک توسط خزش ثقلی مواد باطله یا انتقال به صورت اجزاء معلق در آب بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

تانوچن و همکاران (۱۰)، میزان عناصر نادر موجود در خاک‌های ناحیه‌ای در چین را بررسی کرده و به روش آنالیز چند متغیره عناصر آلوده کننده (As, Cu, Cd, Hg, Pb, Zn) را از عناصر غیرآلاینده (Ni, Cr, Co, Mn) تفکیک کردند. همبستگی قابل توجهی که بین عناصر غیرآلاینده با Al_2O_3 , Fe_2O_3 و SiO_2 در کل خاک‌ها یافت شد، نشان می‌دهد منبع این عناصر اساساً توسط عواملی تشکیل خاک کنترل می‌شوند. از طرفی همبستگی نسبتاً ضعیف عناصر آلوده کننده با یک دیگر و تغییرپذیری فاصله‌ای بیشتر عناصر آلوده کننده مشخص می‌کند که غنی‌شدگی و ناهمگنی فاصله‌ای‌شان توسط ورودی‌های آنتروپیک (انسانی) تحت تأثیر قرار گرفته است.

حسین آناوار (۱۱)، در آب‌های زیرزمینی بنگلادش رخدادهای ژئوشیمیایی آرسنیک را مورد مطالعه قرار داده است. در این مطالعه به منظور بررسی شرایط ژئوشیمیایی آکیفر زیرسطحی، منبع آرسنیک و مکانیزم آزاد شدن آرسنیک در آب زیرزمینی بنگلادش پارامترهای آرسنیک کل، کربن آلی حل شده، آهن، آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در آب چاه‌ها که برای آشامیدن مردم به کار می‌رفتند، اندازه‌گیری شدند. فازهای جامد آرسنیک کل، اکسید Al, Fe و Mn و محتوی کربن آلی در رسوبات برای پی بردن به روابط متقابل آن‌ها تعیین شدند. غلظت آرسنیک در آب زیرزمینی از ۰/۰۳ تا ۰/۷۵ mg/l متغیر بود که از حداکثر حد مجاز آرسنیک تعیین شده برای آب آشامیدنی توسط سازمان بهداشت جهانی (۰/۱ mg/l) و بنگلادش (۰/۰۵ mg/l) تجاوز کرده است. نتایج نشان دادند که اکسیداسیون پیریت غنی از آرسنیک نقشی در افزایش غلظت آرسنیک ندارد، اما وابستگی تمرکز آرسنیک به

آلودگی با فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی عمده در جوامع بشری است که سلامتی افراد جامعه را به خطر می‌اندازد. در صورت حضور در آب و خاک، این عناصر می‌توانند وارد گیاهان شده و خود را به چرخه و هرم غذایی منتهی به انسان برسانند که در این حالت بیماری‌های ناشی از آن‌ها در موجودات زنده بروز می‌کند. آرسنیک یکی از مهم‌ترین عناصر سنگین و بسیار سمی خاک‌ها و آب‌های سطحی و زیرزمینی است که به دلیل پتانسیل بالای آن برای ورود به زنجیره غذایی تهدید بزرگی برای سلامت بشر می‌باشد. آلودگی‌های این عنصر می‌توانند منشاء زمین‌زاد و یا بشرزاد داشته باشند. وجود لایه‌ها و واحدهای زمین‌شناسی غنی از آرسنیک محلول در آب منشا زمین‌زاد این عنصر به شمار می‌رود که می‌تواند باعث آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی شود (۱ و ۲). مطالعات در جهان نشان می‌دهند که آتشفشان‌ها مهم‌ترین منبع طبیعی آرسنیک هستند. سالانه حدود ۱/۹ گیگا گرم آرسنیک به وسیله آتشفشان‌ها و فرآیندهای مرتبط در اتمسفر پخش می‌شود (۴). کودها، آفت کش‌ها و فعالیت‌های معدن کاری از جمله منابع بشرزاد آرسنیک به شمار می‌روند. در سطح بین‌المللی کارهای زیادی در زمینه بررسی وجود و منشاء آرسنیک در منبع آب و خاک و مطالعه بیماری‌های مرتبط با آن انجام شده است. پرسون و همکاران (۵)، رفتار آرسنیک را از نظر بیولوژیکی و شیمیایی در محیط بررسی کرده و اظهار داشتند که آلودگی آرسنیک در منابع آب یک مشکل جهانی است. منابع آلودگی آرسنیک طبیعی (ژئوژنیک) و بشرزاد (آنتروپوژنیک) هستند و مقیاس آلودگی محدوده‌ای از محلی تا منطقه‌ای دارد. فعالیت‌های آنتروپوژنیک مقادیر زیادی As در محیط آزاد می‌کنند و معمولاً منجر به آلودگی منابع آب زیرزمینی در مقیاس نسبتاً کوچک می‌شوند. در نواحی زیادی از جهان فرآیندهای بیوژئوشیمیایی باعث آزاد شدن طبیعی As در آب‌های زیرزمینی شده و می‌توانند مناطق بزرگی را تحت تأثیر قرار دهند. تأثیرات مضر آرسنیک بر روی سلامت بشر ثابت شده‌اند و امروزه شواهد نشان می‌دهند که آرسنیک می‌تواند اثرات منفی بر روی سیستم تولیدات کشاورزی داشته باشد. بنابراین اصلاح آب آلوده به آرسنیک بحرانی است. گیاه پالایی یک روش با صرفه برای برداشت آرسنیک از آب است. به علاوه نشان داده شده است که مواد ژئولوژیک طبیعی نیز برای حذف آرسنیک از آب مؤثرند. در پژوهشی که بر روی میزان آرسنیک در آب‌های زیرزمینی حوزه آبخیز ویلامت در اورگون آمریکا توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا (۶) انجام گرفت، وجود آرسنیک در آب‌های زیرزمینی به وجود اکسیدهای آهن در منطقه ربط داده شد. شرایط احیا و غلظت بالای آهن محلول باعث انحلال اکسیدهای آهن می‌شود و متعاقب آن رهاسازی آرسنیک انجام می‌گیرد. آرسنیک بر سطح اکسیدهای آهن جذب می‌شود و یا با اکسیدهای آهن پدیده هم رسوبی^۵ را باعث می‌شود. نتایج بررسی تحرک آرسنیک در آب‌های زیرزمینی منطقه‌ای در کشور سوئد (۷) نشان داد غلظت آرسنیک بین زیر حد تشخیص ($< 0.05 \mu\text{g/L}$) و $1 \mu\text{g/L}$

1- Coprecipitation

2- Non-pollutant elements

روش بررسی

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با وسعت ۹۵ کیلومتر مربع بین طول‌های $46^{\circ}48'00''$ تا $46^{\circ}55'00''$ شرقی و عرض‌های $37^{\circ}25'00''$ تا $37^{\circ}30'00''$ شمالی در ۲۰ کیلومتری غرب هشتروند در جنوب شرقی استان آذربایجان شرقی واقع شده است. این منطقه جزء شهرستان هشتروند محسوب می‌شود. روستاهای ذوالبین، سعادتلو، قوپوز و قزللو در محدوده مورد مطالعه قرار دارند. شکل (۱)، موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

نمونه برداری از آب‌های منطقه

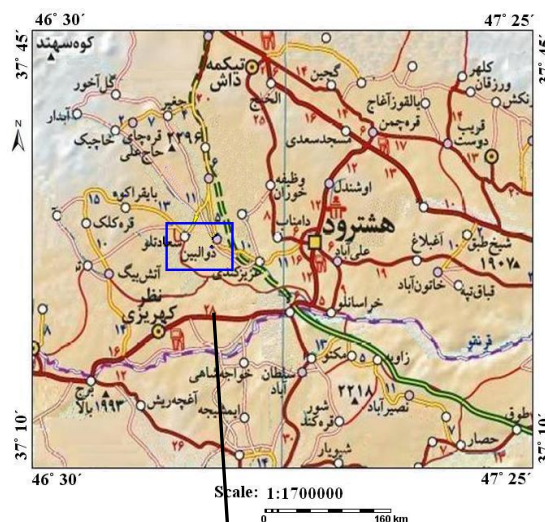
عملیات نمونه‌برداری آب در فصل مرطوب و از آب‌های سطحی منطقه انجام گرفته است. ۱۸ ایستگاه نمونه‌برداری بر پایه بررسی‌های آب‌شناختی، زمین-شناختی و ریخت‌شناختی انتخاب شدند. در هر ایستگاه ویژگی‌های دما، قابلیت هدایت الکتریکی و اسیدیته آب در سرزمین اندازه‌گیری شدند. ۱۸ نمونه آب بعد از برداشته شدن و رساندن اسیدیته آن‌ها به زیر ۲ با اسید نیتریک غلیظ، به آزمایشگاه ارسال شدند. در آزمایشگاه درصد سدیم، کلسیم و منیزیم و نیز فلز آرسنیک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (۱۷ و ۱۸).

نمونه برداری از خاک‌های منطقه

علاوه بر ۱۶ نمونه خاک (عمق ۱۵-۰ سانتی متری) که مطابق با شبکه طراحی شده نمونه‌برداری شدند، ۳ نمونه در اطراف روستای قوپوز (HS17)، (HS18، HS19) و ۲ نمونه (HS20) در نزدیکی روستای قزلار برداشت شد. حدود دو کیلوگرم نمونه خاک با بیله‌چ برداشت شده، داخل نایلون برای حمل به آزمایشگاه قرار گرفت. در آزمایشگاه، نمونه‌ها بعد از هوا خشک و کوبیده شدن، از غربال دو میلی متری عبور داده شده و ویژگی‌های درصد رس، اسیدیته، هدایت الکتریکی، درصد کربن آلی، درصد گچ و ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان آرسنیک آن‌ها اندازه‌گیری گردید (۱۷ و ۱۸).

فرآیندهای احیا کننده را منعکس می‌کند. لیچینگ شیمیایی متوالی نشان می‌دهد که As بیشتر در ۳ فاز حضور دارد: ۱- فاز اکسیدی آهن و منگنز ۲- مواد آلی ۳- فازهای سولفید و سیلیکات. رابطه بسیار قوی بین غلظت‌های بی‌کربنات و As در آب زیرزمینی بنگلادش و مقادیر بالای pH (۸/۳) تا (۸/۷) رسوبات Ganges این فرضیه را تأیید می‌کند.

در ایران نیز در استان‌های کردستان و آذربایجان شرقی (شهرستان هشتروند) مقادیر بالای عنصر آرسنیک گزارش شده است (۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵). در استان کردستان، امجدی پهنه بندی میزان و نحوه انتشار آرسنیک در منابع آب‌های بیچار و قروه استان کردستان و ارایه راهکارهای اجرایی لازم جهت بهره‌برداری صحیح از آب‌های منطقه را بررسی نمود (۱۶). با توجه به مطالعات منطقه‌ای انجام شده در خصوص میزان آرسنیک در آب‌های زیرزمینی، مشخص شد که در بعضی از نواحی و روستاها غلظت این آلاینده بسیار بیش از حد استاندارد بود که متعاقباً اثرات بهداشتی شدیدی را برای افراد بومی منطقه داشته است. با توجه به گزارش شبکه بهداشت روستای قوپوز از توابع شهرستان هشتروند، در نمونه‌های گرفته شده از ساکنین حوزه آبخیز این منطقه، میزان آرسنیک بالاتر از حد مجاز بوده به نحوی که بیشتر اهالی با معضل بیماری ناشی از افزایش این عنصر مواجه هستند. هم چنین این آلودگی ممکن است کاهش کمی و کیفی محصولات کشاورزی و یا ایجاد عوارض خاصی در دام‌ها را در پی داشته باشد که به دلیل عدم آگاهی، علت آن تشخیص داده نشده باشد ولی مربوط به همین آلودگی با فلزات سنگین باشد. در رابطه با میزان آرسنیک و فلزات احتمالی همراه آن در خاک‌های این حوزه تا کنون کاری انجام نشده است. در این راستا مقاله حاضر تهیه شده است تا میزان آلودگی به آرسنیک و منشا زمین شناسی ورود این عنصر به منابع آبی این منطقه را تعیین نماید.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Location of the study area

جدول ۱- ماتریس ضرایب همبستگی بین آرسنیک و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک به روش اسپیرمن

Table 1- Matrix of correlation coefficients between As and soil physical and chemical characteristics by Spearman method

Var	Fe ₂ O ₃	EC	PH	CEC	%CaSO ₄	%Clay	%OC
As	۰/۵۶۱	۰/۱۵۲	۰/۱۹۵	۰/۰۲۲	۰/۱۴۵	۰/۴۱۳	۰/۱۴۳

حاصل شده، نسبت جذب سدیم، ۱۴/۱ به دست آمد. براساس نمودار ویلکوس (برای تعیین کیفیت آب)، نمونه های آب منطقه در ۵ رده C₃S₁، C₂S₁، C₄S₂ و C₄S₃ یا به عبارتی در محدوده کمی شور، تقریباً مناسب تا خیلی شور و مضر برای کشاورزی قرار می گیرند.

۲- نمونه های خاک

یافته های تعیین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک نشان دادند که میانگین اسیدیته خاک ها ۸/۲، هدایت الکتریکی ۳/۵ دسی زیمنس بر متر، درصد کربن آلی ۰/۷۳، درصد گچ ۲۰/۰، ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۶/۱ سانتی مول بر کیلو گرم درصد رس ۶۵ و درصد اکسید آهن ۲/۱ می باشد. میانگین فراوانی آرسنیک در محدوده مطالعاتی ۱۲۷/۹۵ ppm است. بیشینه مقدار (۱۲۸۷ ppm) این عنصر مربوط به نمونه HS7 و کمترین مقدار (۱۲ ppm) هم مربوط به نمونه HS16-2 است.

نمونه برداری از سنگ های منطقه

به هنگام نمونه برداری از منابع آب و خاک از رخنمون های سنگی موجود در محدوده مطالعاتی نیز نمونه برداری صورت گرفت. تعداد ۱۲ نمونه سنگی برداشت شد که مورد تجزیه عنصری به روش ICP-OES و تجزیه کانی شناسی به روش XRD قرار گرفتند (۱۸).

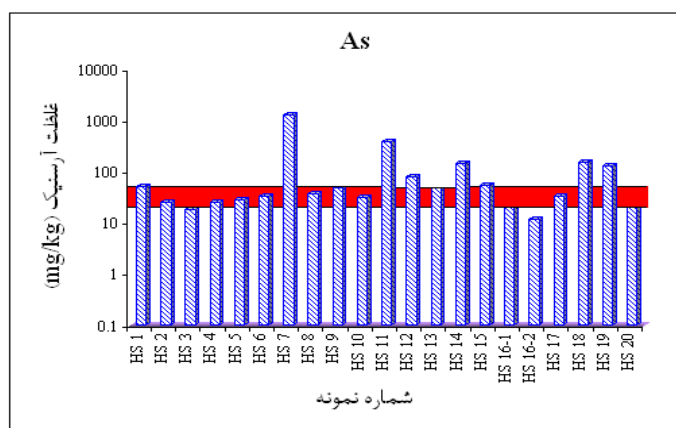
نمونه برداری از رسوبات آبراهه ای منطقه

در این مطالعه از رسوب آبراهه ای نمونه تهیه نشد، بلکه از نتایج نمونه های رسوب آبراهه ای تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی استفاده گردید. نتایج تعداد ۲۵ نمونه رسوب که در آزمایشگاه به روش ICP-OES مورد تجزیه قرار گرفته بودند، بررسی شدند.

یافته ها

۱- نمونه های آب

میانگین اسیدیته نمونه های آب ۸/۳ (قلیایی)، هدایت الکتریکی ۰/۲ تا ۲/۸ دسی زیمنس بر متر و با توجه به مقادیر عناصر سدیم، کلسیم و منیزیم



شکل ۲- غلظت آرسنیک در نمونه های خاک منطقه مطالعاتی (حد بحرانی (۲۰-۵۰ mg/kg) آرسنیک به وسیله نوار قرمز نشان داده شده است

(۱۹۸۴، Pendias و Kabata-Pendias)

Figure 2- Concentration of As in the samples of soil in study area (critical level is, 20-50 mg/kg, Pendias 1984, red band)

دارند). میلی گرم در کیلوگرم داشته و جزء خاک های C محسوب می شوند. غلظت آرسنیک در یک نمونه خاک ۱۲۸۷ میلی گرم در کیلوگرم می باشد که در محدوده بسیار آلوده قرار می گیرد و نسبت به غلظت استاندارد (۵۰ میلی گرم در کیلوگرم) حدود ۲۶ برابر افزایش نشان می دهد. این نمونه در نزدیکی روستای قوپوز و منابع آب آلوده به این عنصر قرار دارد. به منظور درک بهتر روابط و همبستگی بین عنصر آرسنیک و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نمونه های خاک ماتریس ضرایب همبستگی بین عناصر و خواص فیزیکی و شیمیایی نمونه های خاک به دست آمد (جدول ۱)

یافته های حاصل از اندازه گیری میزان آرسنیک نمونه های خاک نشان می دهند که میزان عنصر آرسنیک در ۱۱ نمونه (۵۲/۳۸ درصد) از خاک های منطقه نسبت به حد استاندارد (۱۹) در محدوده بحرانی و ۸ نمونه (۳۸/۱ درصد) نیز بالاتر از این محدوده (۵۰ میلی گرم در کیلوگرم) واقع شده و حالت آلودگی نشان می دهد (شکل ۲). براساس استانداردهای دیگر (۲۰ و ۲۱)، تعداد ۶ نمونه از خاک های منطقه (۲۸/۵۷ درصد) با مقدار آرسنیک بین ۳۰ تا ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم در محدوده B تا C قرار می گیرند (گروه B از خاک ها نیاز به بررسی بیش تر دارند و خاک های گروه C نیاز به پالایش

آتشفشانی مرتبط با سهند که دهانه‌های پراکنده آن تا نزدیکی منطقه مورد مطالعه گسترش یافته است می‌تواند تأییدی بر مطالب ذکر شده باشد. مطالعات انجام شده در مناطق مجاور محدوده مطالعاتی نیز نقش فعالیت‌های آتشفشانی را در افزایش میزان آرسنیک در این مناطق تأیید می‌کنند. در مناطق مجاور، افزایش آرسنیک در حدی بوده که کانی‌های آرسنیک دار (اورپیمنت و رآلگار) در این مناطق تشکیل شده اند. مطالعات انجام شده در آرژانتین (۲۱) نیز نقش خاکسترها در آلودگی آب به آرسنیک را تأیید می‌کند.

با توجه به این که در محدوده مطالعاتی هیچ گونه فعالیت آلوده‌کننده صنعتی و شهری دیده نمی‌شود، تنها منبع آنتروپوژنیک (بشرزاد) که می‌توان برای این آلودگی فرض کرد استفاده از کود و سموم شیمیایی حاوی آرسنیک است، اما از طرفی چون کشاورزی به طور عمده به صورت دیم صورت می‌گیرد و کود و سموم مصرف زیادی ندارد و این سموم حتی در مناطق غیرآلوده مجاور محدوده مطالعاتی نیز استفاده می‌شوند، بنابراین عامل اصلی آلودگی محسوب نمی‌شوند.

۲- مکانیزم آلودگی

با توجه به pH قلیایی خاک‌ها و آب‌های منطقه و حضور اکسید آهن در طبقات قرمزمنوزن، مکانیزم واجذبی می‌تواند توضیح احتمالی برای آلودگی آرسنیک در محدوده مطالعاتی باشد. با توجه به این که منطقه مورد مطالعه از لحاظ زمین‌شناسی جزء مناطق آتشفشانی - رسوبی جوان است و نیز گسترش نهشته‌های آتشفشانی سهند (خاکستر آتشفشانی) در محدوده مطالعاتی و محدوده pH قلیایی (۷/۸۶-۹/۲۲) در منطقه می‌باشد، و براساس مطالعات انجام شده می‌توان مکانیزم‌های زیر را عامل این آلودگی دانست (۲۲):

- ۱- آزاد شدن آرسنیک از واحدهای سنگی منطقه
- ۲- جذب آرسنیک توسط کانی‌های اکسیدی تحت شرایط هوزاری اسیدی تا نزدیک به خنثی
- ۳- واجذبی از سطوح اکسیدی در اثر افزایش pH به شرایط قلیایی
- ۴- افزایش غلظت آرسنیک در محلول و ایجاد آلودگی

پیشنهادهای

با توجه به شرایط منطقه بررسی شده، می‌توان با نصب سیستم تصفیه آرسنیک، جهت کاهش آلودگی منابع آبی منطقه به آرسنیک اقدام نمود. راه حل دیگر عبور ندادن مسیر آب‌های منطقه از تشکیلات زمین‌شناسی حاوی آرسنیک می‌باشد. همان گونه که در این پژوهش مشخص گردید، تشکیلات خاکستر آتشفشانی در منطقه، عامل ورود این عنصر به منابع آبی و خاکی هستند و در صورتی که بتوان مسیر آب را به گونه‌ای منحرف نمود که از این تشکیلات عبور نکند، می‌توان از آلودگی آب‌های منطقه به آن کاست. کاربرد اصلاح‌کننده‌های گوناگون مانند آهک به صورت پخش بر روی سطح خاک، روشی برای پالایش خاک‌های آلوده به آرسنیک به شمار می‌رود.

منابع

- 1- Azcue, J.M., Nriagu, J.D., "Arsenic: Historical Perspectives" chapter 1, in Arsenic in the

هم چنین ۸ نمونه (۳۸/۱ درصد) تمرکز آرسنیک بیش از ۵۰ یافته‌های این جدول نشان می‌دهند که درصد اکسیدهای آهن، تنها ویژگی است که با میزان آرسنیک نمونه‌های خاک همبستگی مثبت دارد.

۳- نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای

متوسط عنصر آرسنیک در نمونه‌های رسوب محدوده مطالعاتی (۶۳/۰۲ گرم در تن) نسبت به متوسط آن در رسوبات آبراهه‌ای (۶ گرم در تن) افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد.

۴- نمونه‌های سنگ‌ها

متوسط عنصر آرسنیک نمونه‌های سنگ‌های محدوده مطالعاتی (۱۰۶۳/۳ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که مقدار قابل توجهی می‌باشد).

بحث و نتیجه‌گیری

۱- منشاء آرسنیک در منطقه

جهت مطالعه میزان آلودگی نمونه‌های آب به آرسنیک، مقادیر عناصر مختلف در نمونه‌ها با استانداردهای موجود مقایسه و شدت آلودگی آن‌ها تعیین شد. با توجه به این که منابع آب مورد مطالعه در منطقه برای شرب و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند، داده‌های بدست آمده با استانداردهای WHO, EPA و ایران برای عنصر آرسنیک مقایسه شدند. نتایج به دست آمده از مقایسه غلظت عناصر در نمونه‌های مورد مطالعه با مقادیر استاندارد بیان‌گر آلودگی آب‌های منطقه به عنصر آرسنیک است که در اکثر نمونه‌ها بالاتر از حد استاندارد هستند.

با توجه به غلظت زیاد آرسنیک در محیط‌های خاکی منطقه می‌توان آلوده بودن خاک‌ها را به این عنصر سمی از منبع مواد معدنی و سنگ‌های منطقه مورد توجه قرار داده و امکان ورود بیش از حد استاندارد آن را به چرخه غذایی دام‌ها و انسان‌ها بررسی نمود.

بیشترین مقدار آرسنیک در رسوبات آبراهه‌ای ۱۲۵۸۴ گرم در تن در اطراف روستای سعادتلو منطبق بر نهشته‌های خاکستر آتشفشانی پلیوسن است. در جنوب روستای قوپوز نیز مقدار این عنصر بالا است، که علت این افزایش علاوه بر رخداد فرآیندهای هیدروترمالی، می‌تواند ناشی از فعالیت‌های کشاورزی در این بخش باشد.

میزان بالای آرسنیک در نمونه‌های سنگی منطقه به ویژه در نمونه‌های برداشت شده از نزدیکی روستای قوپوز منطبق بر نهشته‌های آذرآواری سهند بالا است. حداکثر مقدار این عنصر (۹۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در نمونه خاکستر آتشفشانی مشاهده شده است.

با توجه به آتشفشانی بودن منطقه مطالعاتی و گسترش زیاد خاکسترهای آتشفشانی در منطقه می‌توان منشاء آلودگی را در ارتباط با این ترکیبات دانست. براساس نتایج تجزیه نمونه‌های سنگی نیز مقادیر بالای آرسنیک در نمونه‌های خاکستر مشاهده شده است که می‌تواند تأییدکننده این مطلب باشد که خاکسترهای آتشفشانی می‌توانند در بالا بودن غلظت آرسنیک در منطقه مورد مطالعه نقش داشته باشند. چشمه‌های آب گرم موجود در مناطق مجاور شاهی بر انجام فعالیت‌های هیدروترمال در گذشته می‌باشد. وجود توده

- ۱۲- حسین پور فیضی، محمد علی، ۱۳۸۵، بررسی اپید میولوژیکی ارتباط فلزات سنگین و وقوع بیماری های شایع در روستاهای مایان و قوپوز در استان آذربایجان شرقی، پارک علم و فناوری استان آذربایجان شرقی، دانشگاه تبریز.
- ۱۳- درویش زاده، علی، ۱۳۸۵، زمین شناسی ایران، انتشارات امیر کبیر.
- ۱۴- قربانی، منصور، ۱۳۷۴، زمین شناسی ایران: آنتیموان، آرسنیک، جیوه، سازمان زمین شناسی کشور.
- ۱۵- مسافری، محمد و مصداقی نیا، علی، ۱۳۸۴. حذف آرسنیک از آب آشامیدنی با استفاده از آلومینای فعال اصلاح شده، مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۵، ص ۲-۱۴.
- ۱۶- امجدی، مهدی، ۱۳۸۴، طرح پهنه بندی میزان و نحوه انتشار آرسنیک در منابع آب های بیچار و قروه استان کردستان و ارائه راهکارهای اجرایی لازم جهت بهره برداری صحیح از آب های منطقه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، گروه مهندسی عمران، محیط زیست، رشته مهندسی عمران - محیط زیست.
- 17- Page, A. L., *Methods of soil analysis, Part 1. 2ed, Physical methods, Agronomy Monog. 9, ASA, Madison, WI. 1996.*
- 18- Sparks, D. L. *Methods of soil analysis, Part 3. Chemical methods, 2ed, Agronomy Monog. 9, ASA, Madison, WI. 1996.*
- 19- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2001. *Trace elements in Soils and Plants, Third ed. CRC Press, Boca Raton, Florida.*
- 20- Gieseler, G. 1987. *Contaminated land in the EEC. Dornier system GmbH, Fridrichshafen, FRG.*
- 21- Netherlands Ministry of Housing, 1991. *Environmental quality standards for soils and water, Ministry of Housing, Physical planning and environment.*
- 22- Prosun Bhattacharya, Mattias Claesson, Jochen Bundschuh, Ondra Sracek, Jens Fagerberg, Gunnar Jacks, Raul A. Martin, Angel del R. Storniolo, Juan M. Thir, 2006. *Distribution and mobility of arsenic in the Rí'o Dulce alluvial aquifers in Santiago del Estero Province, Argentina, Science of the Total Environment 358, 97- 120 .*
- environment part I, Edited by: Nriagu, J.O., John Wiley and Sons, Inc. 1994.
- 2- Eisler, R., "A review of arsenic hazards to plants and animals with emphasis of fishery and wildlife resources" chapter 11, in *Arsenic in the environment part II*, Edited by: Nriagu, J.O., John Wiley and Sons, Inc. 1994.
- 3- Smedley, P., *Arsenic occurrence in groundwater in South and East Asia – Scale, causes and mitigation. Technical Report, Vol. II, The World Bank, Report no. 31303. 2004.*
- 4- Nriagu, J.O., "A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals". *Nature. 1989, Vol. 338, pp. 47-49.*
- 5- Pierson, A. and van Moort, J.C., 2011. *Geochemical exploration using acid insoluble residues of rocks for volcanic-hosted massive sulphide deposits, Rosebery area, western Tasmania. Journal of Geochemical Exploration. Vol. 66, pp. 55- 69.*
- 6- U.S. geological Survey. 2001. *As in ground water of Willamette basin, Oregon.*
- 7- Marcus Stevansson, 20۰۷, *Mobilisation of geogenic arsenic into groundwater in Västerbotten County, Sweden, thesis of Uppsala University.*
- 8- Magalhaes, V.F. et al. *As concentration and distribution in Engenho Inlet, Sepetiba Bay, Brazil, 2000. Water, Air and Soil pollution. Vol. 18, pp. 83-91.*
- 9- Hans-Rudolf Pfeifer, Anne Häussermann, Jean-Claude Lavanchy, Werner Halter, 2007, *Distribution and behavior of arsenic in soils and waters in the vicinity of the former gold-arsenic mine of Salanfe, Western Switzerland, Journal of Geochemical Exploration 93, 121-134.*
- 10- Tao Chen, Xingmei Liu, Muzhi Zhu, Keli Zhao, Jianjun Wu, Jianming Xu, Panming Huang, 2013. *Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urban-rural transitional area of Hangzhou, China. Environmental Pollution 151, 67-78.*
- 11- Hossain M. Anawar, Junji Akai, Kaori Komaki, Hiroshi Terao, Takahito Yoshioka, Toshio Ishizuka, Syed Safiullah, Kikuo Kato, 2003, *Geochemical occurrence of arsenic in groundwater of Bangladesh: sources and mobilization processes, Journal of Geochemical Exploration 77, 109-131*