

Evaluation of As, Zn, Pb and Cu Concentrations in Groundwater Resources of Toyserkan Plain and Preparing the Zoning Map Using GIS

Soheil Sobhanardakani¹,
Sara Talebiani^{1*},
Mohammad Maanjou²

¹Assistant Professor, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

²MSc in Environmental Sciences, College of Basic Sciences, Islamic Azad University, Hamedan Branch, Hamedan, Iran

³Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

(Received December 30 , 2013 ; Accepted Jun 16 , 2014)

Abstract

Background and purpose: Pollution of exploitation water resources is increasing throughout the world. Continuous monitoring of these resources could play a key role in reducing such pollutions. This study aimed at evaluating As, Zn, Pb and Cu concentrations in groundwater resources in Toyserkan Plain and preparing the zoning map through GIS.

Material and Methods: Groundwater samples were collected from 10 selected stations during two seasons in 2012. The samples were filtered (0.45 μ m) and maintained cool in polyethylene bottles. Samples were taken for the analysis of cations, the former was acidified with HNO₃ (suprapur Merck, Germany) to pH lower than 2. Minor elements (As, Zn, Pb and Cu) were determined using ICP-OES (Varian, 710-ES, Australia). All statistical analyses were performed using SPSS. Kriging method was used for preparing spatial distribution maps of elements in groundwater samples.

Results: The results showed that mean concentrations of As, Zn, Pb and Cu in groundwater samples were 3.68 \pm 0.76, 3.85 \pm 0.84, 1.66 \pm 0.35 and 8.59 \pm 1.01 ppb, respectively in spring, and 3.99 \pm 0.83, 6.30 \pm 1.12, 1.85 \pm 0.71, and 12.49 \pm 1.85 ppb, respectively in summer. The mean concentrations of evaluated metals in groundwater samples were significantly different compared to those of the WHO and IranDOE permissible limits for drinking and agricultural use ($p < 0.05$). In fact, the mean concentrations of aforementioned metals were significantly lower than the permissible limits.

Conclusion: Currently the groundwater resources of Toyserkan Plain are not polluted with heavy metals, but long-term excessive use of agricultural inputs and construction of polluting industries can cause a threat to groundwater resources in this area.

Keywords: Spatial distribution, groundwater resources, risk assessment

ارزیابی غلظت آرسنیک، روی، سرب و مس منابع آب زیرزمینی دشت توپسرکان و تهیه نقشه توزیع مکانی عناصر

سهیل سبحان اردکانی^۱

سارا طالبیانی^۲

محمد معانی جو^۳

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به آلودگی روز افزون منابع آب قابل بهره‌برداری و اهمیت پایش مداوم آن‌ها، در این پژوهش، نسبت به ارزیابی غلظت آرسنیک، روی، سرب و مس منابع آب زیرزمینی دشت توپسرکان و تهیه نقشه پهنه‌بندی عناصر اقدام گردید.

مواد و روش‌ها: ۲۰ حلقه چاه در سطح دشت انتخاب و نمونه‌برداری از آن‌ها طی فصول بهار و تابستان سال ۱۳۹۱ مطابق روش استاندارد انجام شد. قرائت غلظت عناصر نیز پس از انجام آماده‌سازی نمونه‌ها از طریق افزودن اسید نیتریک غلیظ، حرارت دادن، هم‌زدن و صاف کردن توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲، با دستگاه ICP انجام شد. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی عناصر و پردازش آماری داده‌ها نیز به ترتیب از نرم‌افزارهای ArcGIS و SPSS استفاده شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت آرسنیک، روی، سرب و مس نمونه‌ها در فصل بهار به ترتیب برابر با $3/68 \pm 0/76$ ، $3/85 \pm 0/84$ ، $1/66 \pm 0/35$ و $8/59 \pm 1/01$ و در فصل تابستان به ترتیب برابر با $3/99 \pm 0/83$ ، $6/30 \pm 1/12$ ، $1/85 \pm 0/71$ و $12/49 \pm 1/85$ بخش در بیلون بود. مقایسه میانگین غلظت عناصر در نمونه‌ها با رهنمود سازمان بهداشت جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست ایران بیانگر آن بود که میانگین غلظت تجمع یافته عناصر پایین‌تر از حد مجاز بود. ($P < 0/05$)

استنتاج: گرچه در حال حاضر منابع آب زیرزمینی دشت توپسرکان در معرض آلودگی بیش از حد مجاز به فلزات سنگین نیستند، اما استفاده بی‌رویه و بلندمدت از نهاده‌های کشاورزی و هم‌چنین استقرار صنایع آلاینده می‌تواند ضمن تهدید منابع آب زیرزمینی این منطقه، تبعات غیر قابل جبرانی را نیز به دنبال داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: توزیع مکانی، آب زیرزمینی، ارزیابی مخاطره

مقدمه

در منابع آب زیرزمینی بسیار کند بوده و به بیان دیگر آلودگی منابع و سفره‌های آب زیرزمینی، عمدتاً غیرقابل بازگشت است (۲). سفره‌های آب زیرزمینی منبع اصلی تأمین آب شرب بیش از ۱/۵ میلیارد نفر در سرتاسر جهان به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان مانند

زندگی تمام موجودات زنده اعم از گیاه، حیوان و انسان به آب بستگی دارد و زندگی در جایی ممکن است که آب وجود داشته باشد (۱). بررسی‌ها نشان می‌دهد که به طور متوسط چرخه نوسازی منابع آب سطحی حدود ۲۰ روز به طول می‌انجامد، ولی این مدت

مؤلف مسئول: سارا طالبیانی - همدان، شهرک شهید مدنی، بلوار پروفیسور موسیوند، دانشگاه آزاد اسلامی، گروه محیط زیست E-mail: sara.talebiani@gmail.com

۱. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان

۲. کارشناس ارشد محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان

۳. دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا همدان

تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۳/۲۶

تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۳/۱/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۹

کبدی، اختلال در سیستم اعصاب مرکزی، کم‌خونی، افزایش کلسترول و نیز گاهی مرگ را نام برد (۸، ۹). تاکنون چندین مطالعه در زمینه ارزیابی کیفی و به ویژه بررسی غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی در ایران (۷، ۱۴-۱۰) و سایر کشورها (۱۵-۲۰) انجام شده است، با توجه به توسعه کاربری کشاورزی در منطقه مورد مطالعه، استفاده بیش از حد از نهاده‌های کشاورزی توسط زارعین با پتانسیل افزایش غلظت تجمع یافته فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی و هم‌چنین عدم پایش عناصر تجمع یافته در این منابع به منظور بررسی عوارض احتمالی بر سلامت شهروندان، در این پژوهش نسبت به بررسی غلظت و تهیه نقشه توزیع مکانی عناصر آرسنیک، روی، سرب و مس در منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان اقدام گردید.

مواد و روش‌ها

الف) معرفی منطقه مورد مطالعه:

دشت تویسرکان با وسعت حوزه آبریز ۷۹۵ کیلومترمربع یکی از دشت‌های حوزه علیای رودخانه کرخه محسوب می‌شود که در جنوب کوه الوند قرار گرفته است. وسعت دشت ۷۹۲ کیلومترمربع و به تفکیک شامل ۱۹۵ کیلومترمربع اراضی مسطح و ۵۹۷ کیلومترمربع ارتفاعات حاشیه دشت می‌باشد. آب شرب و آب مصرفی ساکنین شهرستان تویسرکان از طریق ۱۲۴۳ حلقه چاه، ۴۰۰ چشمه و ۲۲۰ قنات از سفره‌های آب زیرزمینی دشت تویسرکان تأمین می‌شود (۲۱).

ب) نمونه برداری:

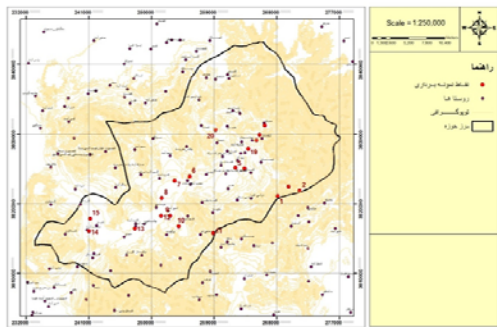
به منظور ارزیابی آلودگی فلزات سنگین منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان، پس از انجام مطالعات اولیه میدانی و با در نظر گرفتن پراکنندگی یکنواخت ایستگاه‌ها در نقاطی از سطح دشت که نسبت به حفر چاه اقدام شده بود، با استفاده از رابطه $N=Z^2S^2/D^2$ (۲۲)، ۲۰ حلقه چاه مستقر در سطح دشت با کاربری شرب و زراعت انتخاب و پس از ثبت مختصات جغرافیایی آن‌ها

ایران است (۱). امروزه آلودگی منابع آب زیرزمینی توسط آلاینده‌ها و به ویژه فلزات سنگین باعث کاهش کیفیت این منابع شده و حتی در برخی مناطق احتمال غیرقابل استفاده شدن آن‌ها را افزایش داده است (۲).

فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی به شمار می‌آیند که در اثر فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و توسعه شهری میزان ورود آن‌ها به این منابع آبی رو به افزایش است (۲). غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی به عوامل مختلفی از جمله نوع، میزان و زمان کوددهی یا سم پاشی، شرایط اقلیمی منطقه، زمان برداشت نمونه‌ها (قبل از کوددهی و بعد از کوددهی و سمپاشی)، سطح سفره‌های آب زیرزمینی و زمین شناسی منطقه بستگی دارد (۳، ۴).

تقریباً تمامی فلزات سنگین در بدن عوارض سویی به جای می‌گذارند. آرسنیک در گروه اول ترکیبات سرطان زای موسسه بین المللی تحقیقات سرطان طبقه بندی شده است و از اثرات آن می‌توان به شاخی شدن پوست، سرطان کبد، پوست و مثانه، اختلالات روانی، آسیب به نورون‌های عصبی، فشار خون، قانقاریای دردناک، پایین آمدن بهره هوشی، ایجاد میخچه و زگیل در دست و پا، تپش غیرطبیعی قلب، کاهش ایجاد گلبول‌های سفید و قرمز خون اشاره کرد (۵، ۶). در مقایسه با سایر فلزات سنگین، روی مسمومیت حاد کمتری ایجاد می‌کند (۷، ۸). نشانه‌های مسمومیت حاد با روی شامل تهوع، استفراغ، کرامپ، کولیک، اسهال، تب و شوک‌های کشنده است (۸). سرب در گروه ۲B ترکیبات سرطان زای موسسه بین المللی تحقیقات سرطان طبقه بندی شده است و آثار سمی آن بستگی به ویژگی‌های متابولیکی افراد و رژیم غذایی دارد. این آثار را در بدن، در چهار موضع دستگاه گوارش، دستگاه عصبی مرکزی، اعصاب محیطی و سیستم خون‌ساز دیده می‌شود (۵، ۸). از اثرات بالا بودن میزان مس در بافت‌های بدن می‌توان به ناراحتی‌های شدید مخاطی، صدمات وسیع مویرگی، صدمات کلیوی-

را به مدت ۱۰ دقیقه با دور ملایم (۸۵ دور در دقیقه) تکان داده و آن‌ها را از صافی واتمن شماره ۴۲ عبور دادیم. به منظور کالیبراسیون دستگاه ICP، با استفاده از محلول استاندارد ppm ۱۰۰۰ آرسنیک، روی، سرب و مس، نسبت به تهیه استاندارد آرسنیک در غلظت‌های ۷۰، ۱۵۰ و ۲۵۰ ppb روی در غلظت‌های ۱۰، ۵۰ و ۱۵۰ ppb، سرب در غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ ppb و مس در غلظت‌های ۱۰، ۵۰ و ۱۵۰ ppb اقدام شد (۸). در نهایت غلظت فلزات سنگین بر حسب ppb توسط دستگاه ICP مدل Varian 710-ES در سه تکرار قرائت شد (۱۵).



تصویر شماره ۱: نقشه ایستگاه‌های نمونه برداری

فاصله ایستگاه‌ها از یکدیگر بر حسب متر: ۱ تا ۲: ۳۳۷۰؛ ۲ تا ۳: ۱۶۷۰؛ ۳ تا ۴: ۶۸۵۰؛ ۴ تا ۵: ۱۲۸۰؛ ۵ تا ۶: ۶۶۶۰؛ ۶ تا ۷: ۲۱۷۰؛ ۷ تا ۸: ۳۰۸۰؛ ۸ تا ۹: ۲۸۴۰؛ ۹ تا ۱۰: ۱۹۹۰؛ ۱۰ تا ۱۱: ۵۰۳۰؛ ۱۱ تا ۱۲: ۷۸۸۰؛ ۱۲ تا ۱۳: ۴۲۰۰؛ ۱۳ تا ۱۴: ۶۶۰۰؛ ۱۴ تا ۱۵: ۱۸۵۰؛ ۱۵ تا ۱۶: ۲۶۴۰؛ ۱۶ تا ۱۷: ۲۴۵۰؛ ۱۷ تا ۱۸: ۱۵۸۰؛ ۱۸ تا ۱۹: ۲۶۴۰ و ۱۹ تا ۲۰: ۵۴۴۰.

د) تهیه نقشه توزیع مکانی عناصر

برای تهیه نقشه پهنه بندی غلظت عناصر در محدوده مورد مطالعه به روش درون یابی وزنی، از ویرایش ۹/۳ نرم افزار ArcGIS استفاده شد، بدین صورت که با استفاده از نرم افزار ArcGIS اقدام به تهیه بانک اطلاعاتی از نتایج مربوط به قرائت غلظت عناصر نموده و سپس بر اساس روش درون یابی وزنی (Inverse Distance Weighted)، نقشه‌های توزیع مکانی برای هر

توسط دستگاه (GPS) Global Positioning System، نمونه برداری از آن‌ها طی فصول بهار و تابستان سال ۱۳۹۱ (اواسط اردیبهشت ماه و شهریورماه) به روش مرکب انجام شد (۲۳). نمونه برداری با استفاده از ظروف پلی اتیلنی که از قبل توسط اسید نیتریک شستشو داده شده بودند، انجام شد. در زمان نمونه برداری ابتدا چند دقیقه صبر کردیم تا اطمینان حاصل شود که آب دقیقاً از سفره آب زیرزمینی پمپاژ می‌شود و سپس ظروف را سه بار با آب چاه شست و شو داده و از هر ایستگاه حدود نیم لیتر آب برداشت شد (۲، ۱۵، ۱۶ و ۲۴). مشخصات ایستگاه‌های نمونه برداری و موقعیت جغرافیایی آن‌ها به ترتیب در جدول شماره ۱ و تصویر شماره ۱ ارائه شده است. دما و pH نمونه‌ها را در محل توسط دستگاه قابل حمل کالیبره Multi-Parameter Model TS 606-G/2-I ساخت شرکت WTW تعیین شد و نمونه‌ها به منظور قرائت غلظت عناصر در یخدان با دمای پایین نگهداری شد و در اسرع وقت به آزمایشگاه منتقل شد (۲۵).

جدول شماره ۱: مشخصات ایستگاه‌های نمونه برداری

ایستگاه	عمق چاه (متر)	دبی (لیتر در ثانیه)	ایستگاه	عمق چاه (متر)	دبی (لیتر در ثانیه)
۱	۸	۲	۱۱	۸۰	۴
۲	۷	۱	۱۲	۴۰	۲
۳	۱۵	۲	۱۳	۹۵	۵
۴	۹	۲	۱۴	۵۰	۳
۵	۱۵	۳	۱۵	۷۵	۳
۶	۷۵	۴	۱۶	۱۴	۲
۷	۷۵	۴	۱۷	۱۵	۲
۸	۹۲	۵	۱۸	۱۰	۱
۹	۹۵	۴	۱۹	۱۵	۲
۱۰	۵۰	۲	۲۰	۲۵	۳

کاربری تمام چاه‌ها کشاورزی شرب می‌باشد.

ج) آماده سازی نمونه‌ها به منظور قرائت غلظت عناصر در آزمایشگاه به منظور تثبیت و جلوگیری از رسوب گذاری عناصر محلول در نمونه‌ها، به ۲۵ میلی لیتر از نمونه آب، یک میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه کرده و به مدت ۱۰ دقیقه روی هیتر در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد در زیر هود قرار دادیم. سپس نمونه‌ها

عنصر ترسیم گردید. در نهایت نیز روی نقشه های رستری به دست آمده، تحلیل های لازم انجام شد.

ه) پردازش آماری داده ها:

بدین منظور از ویرایش ۱۹ نرم افزار آماری SPSS استفاده شد. برای اطمینان از نرمال بودن داده ها از آزمون کولموگروف اسمیرنوف استفاده شد و داده های پرت نیز با استفاده از نمودار جعبه ای بررسی شد. برای مقایسه میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی مابین ایستگاه ها، فصول نمونه برداری و هم چنین با رهنمود سازمان بهداشت جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست برای آب شرب و کشاورزی به ترتیب از آزمون های آماری تحلیل واریانس بین آزمودنی یک طرفه (آزمون چند دامنه ای دانکن)، تی مستقل و تی تک نمونه ای استفاده شد.

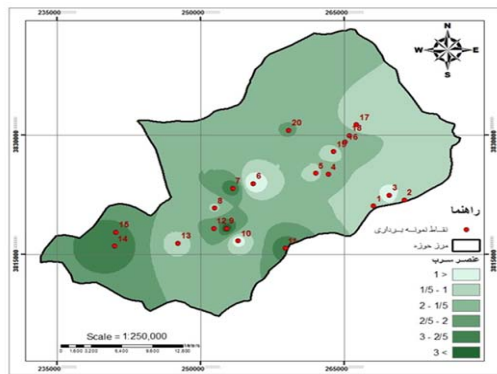
یافته ها

نتایج مقایسه میانگین غلظت قرائت شده عناصر مورد ارزیابی در نمونه های آب زیرزمینی دشت تویسرکان در فصل بهار بر حسب ppb بیانگر آن بود که کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر آرسنیک با 0.08 ± 0.01 و 7.48 ± 0.49 به ترتیب مربوط به ایستگاه های ۱۲ و ۱؛ کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر روی با 0.12 ± 0.05 و 15.64 ± 2.77 به ترتیب مربوط به ایستگاه های ۱۷ و ۸؛ کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر سرب با 0.09 ± 0.02 و 4.38 ± 0.78 به ترتیب مربوط به ایستگاه های ۳ و ۷ و کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر مس با 0.89 ± 0.39 و 13.58 ± 1.19 به ترتیب مربوط به ایستگاه های ۴ و ۷ می باشد. هم چنین در فصل تابستان نیز کمینه و بیشینه میانگین غلظت عناصر بر حسب ppb برای آرسنیک با 0.57 ± 0.22 و 7.21 ± 0.80 به ترتیب مربوط به ایستگاه های ۱ و ۹؛ برای روی با 0.41 ± 0.21 و 16.42 ± 3.87 به ترتیب مربوط به ایستگاه های ۱۶ و ۹؛ برای سرب با 0.19 ± 0.09 و 4.46 ± 0.85 به ترتیب

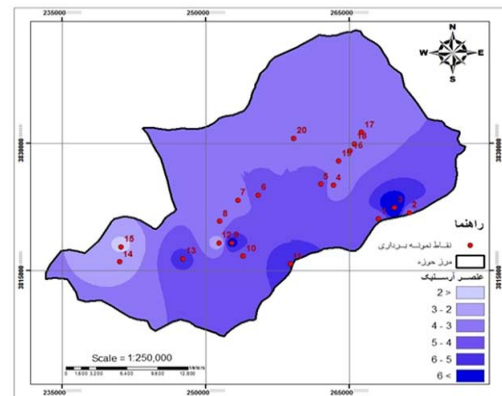
مربوط به ایستگاه های ۱۰ و ۱۱ و برای مس با 6.54 ± 1.01 و 15.76 ± 3.90 به ترتیب مربوط به ایستگاه های ۲ و ۱۲ بوده است.

مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی در نمونه های آب زیرزمینی دشت تویسرکان در فصول بهار و تابستان با رهنمود سازمان بهداشت جهانی (آرسنیک ۱۰۰، روی ۲۰۰۰، سرب ۱۰۰ و مس ۲۰۰) (۶، ۱۶، ۱۹، ۲۶) بیانگر وجود اختلاف معنی دار بود ($p < 0.05$). به طوری که میانگین غلظت تجمع یافته عناصر کم تر از رهنمود WHO می باشد. همچنین نتایج مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی در نمونه های آب زیرزمینی دشت تویسرکان بر حسب ppb در فصول بهار و تابستان با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای منابع آب سطحی (آرسنیک ۱۰۰، روی ۲۰۰۰، سرب ۱۰۰۰ و مس ۱۰۰۰) و کشاورزی (آرسنیک ۱۰۰، روی ۲۰۰۰، سرب ۱۰۰۰ و مس ۲۰۰۰) (۲۱) بیانگر وجود اختلاف معنی دار بود ($p < 0.05$). به طوری که میانگین غلظت تجمع یافته عناصر کم تر از رهنمود سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای منابع آب سطحی و کشاورزی می باشد. مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته فلزات سنگین مورد ارزیابی در نمونه ها بین فصول بهار و تابستان نشان داد که میانگین غلظت عناصر آرسنیک و سرب در فصول بهار و تابستان با یکدیگر تفاوت معنی دار نداشت ($p > 0.05$) ولی میانگین غلظت عناصر روی و مس در فصل تابستان در مقایسه با فصل بهار افزایش پیدا کرده و با یکدیگر اختلاف معنی دار داشتند ($p < 0.05$).

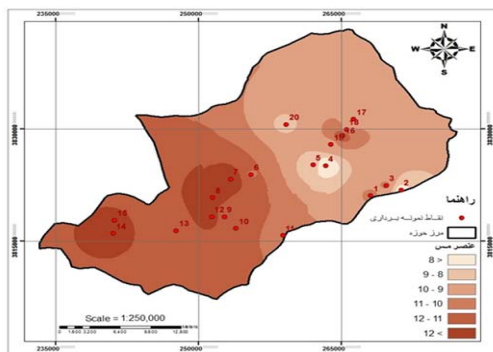
نتایج پهنه بندی همپوشانی میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی در نمونه های آب زیرزمینی دشت تویسرکان در فصول بهار و تابستان بر حسب ppb بیانگر آن بود که دامنه غلظت های بیشینه عنصر آرسنیک (۶-۵ و ۶) به صورت لکه ای در بخش های شرقی و جنوبی دشت تویسرکان با 6.82 ± 0.75 ، 5.86 ± 0.64 ، 5.63 ± 0.70 و 5.46 ± 0.61 به ترتیب مربوط به ایستگاه های ۳، ۱۱، ۹ و ۱۳ می باشد (تصویر شماره ۲).



تصویر شماره ۴: نقشه همپوشانی توزیع مکانی میانگین غلظت عنصر سرب در منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان در فصول بهار و تابستان



تصویر شماره ۲: نقشه همپوشانی توزیع مکانی میانگین غلظت عنصر آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان در فصول بهار و تابستان

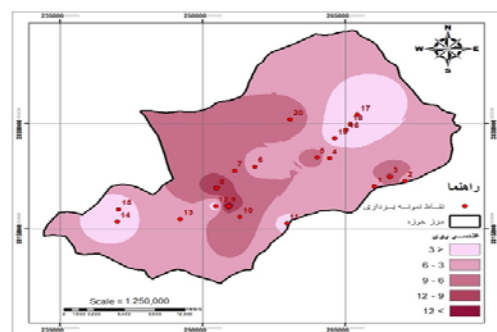


تصویر شماره ۵: نقشه همپوشانی توزیع مکانی میانگین غلظت عنصر مس در منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان در فصول بهار و تابستان

دامنه غلظت‌های بیشینه عنصر روی (۹-۱۲ و ۱۲ >) به صورت لکه ای در بخش‌های شرقی، مرکز و غربی دشت تویسرکان با $13/81 \pm 2/11$ ، $12/36 \pm 2/14$ ، $9/55 \pm 2/01$ و $9/10 \pm 1/88$ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۹، ۸، ۳ و ۲۰ می باشد (تصویر شماره ۳). دامنه غلظت‌های بیشینه عنصر سرب (۳-۲/۵ و ۳ >) به صورت لکه‌ای در بخش‌های شرقی، مرکز و جنوب غرب دشت تویسرکان با $3/42 \pm 0/51$ ، $3/0 \pm 0/48$ ، $2/97 \pm 0/49$ و $2/85 \pm 0/47$ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۹، ۷، ۱۴ و ۱۱ می باشد (تصویر شماره ۴). هم‌چنین دامنه غلظت‌های بیشینه عنصر مس (۱۱-۱۲ و ۱۲ >) به صورت لکه‌ای در بخش‌های غرب و جنوب غرب دشت تویسرکان با $13/24 \pm 1/97$ ، $13/05 \pm 1/98$ ، $12/38 \pm 1/64$ و $12/27 \pm 1/67$ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۷، ۱۲، ۸ و ۱۴ می باشد (تصویر شماره ۵).

بحث

غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی به عوامل مختلفی از جمله نوع، میزان و زمان کوددهی یا سم پاشی، شرایط اقلیمی منطقه، سطح سفره‌های آب زیرزمینی و زمین شناسی منطقه بستگی دارد (۲-۴). لذا با توجه به ساختار زمین شناسی منطقه یعنی وجود کانی‌های سولفوری (گالن، اسفالریت و پیریت) که حاوی آرسنیک هستند؛ وجود سنگ‌های سیلیسی، آذرین متوسط و کانی‌های بیوتیت، پیروکسن، آمفیبول و ماگنتیت که حاوی روی هستند؛ وجود کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم، سولفیدی، بیوتیت، ماگنتیت، زیرکن، اسفن و اورتوز که حاوی سرب هستند و وجود کانی‌های بیوتیت و آمفیبول و



تصویر شماره ۳: نقشه همپوشانی توزیع مکانی میانگین غلظت عنصر روی در منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان در فصول بهار و تابستان

سنگ نفوذی گرانیته یا گرانودیوریتی واجد کانی‌های ارتوز، بیوتیت، کوارتز و آمفیبول که حاوی مس هستند، می‌توان وجود فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی در فصل بهار را به ساختار زمین‌شناسی و هم‌چنین شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه که به واسطه بارندگی می‌تواند موجب انحلال عناصر موجود در سنگ‌ها و کانی‌های حوزه و ورود عناصر به منابع آب زیرزمینی شود، نسبت داد. از سوی دیگر مهم‌ترین دلایل وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین غلظت تجمع یافته عناصر روی و مس در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در فصل تابستان در مقایسه با فصل بهار را علاوه بر ساختار زمین‌شناسی و شرایط اقلیمی منطقه، می‌توان به نوع و میزان نهاده‌های کشاورزی مصرفی از جمله کودهای فسفاته و قارچ‌کش مانکوزب (حاوی روی)، کود سولفات مس (حاوی ۲۴ درصد مس) که به منظور برطرف کردن کمبود مس خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد و هم‌چنین تالاب مس که با هدف تشدید فعالیت قارچ‌کش‌های آلی در مزارع منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد نسبت داد (۲۱). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میانگین غلظت تجمع یافته عناصر آرسنیک، روی، سرب و مس کمتر از رهنمود WHO و سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای منابع آب سطحی و کشاورزی می‌باشد. بنابراین، منابع آب شرب و کشاورزی مورد استحصال در دشت تویسرکان از نظر آلودگی به عناصر مورد ارزیابی، منابعی غیر آلوده محسوب می‌شوند.

نتایج گروه‌بندی آماری میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی بین ایستگاه‌ها در فصل بهار بیانگر آن بود که تمام ایستگاه‌های نمونه برداری از نظر میانگین غلظت تجمع یافته عناصر آرسنیک و مس با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ($p < 0/05$) دارند. ولی از نظر میانگین غلظت تجمع یافته عنصر روی به جز ایستگاه‌های نمونه برداری ۱۲ با ۱۶، که اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد، بین سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار

وجود دارد ($p < 0/05$). هم‌چنین برای میانگین غلظت تجمع یافته عنصر سرب به جز ایستگاه‌های نمونه برداری ۱ با ۱۰؛ ۲ با ۳؛ ۱۰ با ۱۹ و ۱۱ با ۱۲ که اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد، بین سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($p < 0/05$). نتایج گروه‌بندی آماری میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی بین ایستگاه‌ها در فصل تابستان نیز بیانگر آن بود که به جز ایستگاه‌های نمونه برداری ۲ با ۱۷ و ۶ با ۱۱؛ ۸ با ۱۳؛ و ۱۳ با ۱۶ که از نظر میانگین غلظت تجمع یافته عنصر آرسنیک با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند، بین سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار وجود دارد. برای میانگین غلظت تجمع یافته عنصر روی به جز مابین ایستگاه‌های نمونه برداری ۲ با ۱۳ که اختلاف معنی‌دار وجود نداشت، بین سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار وجود داشت.

برای میانگین غلظت تجمع یافته عنصر سرب به جز مابین ایستگاه‌های نمونه برداری ۱ با ۱۶؛ ۴ با ۵؛ و ۱۳ با ۱۴ که اختلاف معنی‌دار وجود نداشت، بین سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار وجود داشت. هم‌چنین برای میانگین غلظت تجمع یافته عنصر مس به جز مابین ایستگاه‌های نمونه برداری ۹ با ۱۰ و ۱۴ با ۱۸؛ و ۱۹ با ۱۴ که اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد، بین سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار وجود داشت.

نتایج پهنه‌بندی همپوشانی میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت تویسرکان در فصول بهار و تابستان بیانگر آن بود که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب و مس با شیب ملایم از شمال به جنوب دشت افزایش یافته و دامنه غلظت‌های بیشینه عناصر به صورت لکه‌ای مربوط بخش‌های شرق، جنوب، غرب و جنوب غرب دشت تویسرکان می‌باشد. این موضوع را می‌توان با توجه به شیب عمومی دشت که از شمال شرق به جنوب غرب می‌باشد (۲۱) توجیه نمود.

زیرکشت دشت قروه کردستان اقدام نموده و نتیجه گرفتند که غلظت این عنصر با دامنه $141/10$ ppb - $11/0$ در برخی از ایستگاه‌های نمونه برداری بیش از حد استاندارد بوده است (۳۱) و پژوهش شریفی و صفری سنجانی (۲۰۱۲) که نسبت به ارزیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی کم عمق روستاهای کردستان به آرسنیک اقدام نموده و نتیجه گرفتند که میانگین غلظت این عنصر با 52 ppb می‌تواند برای مصرف کنندگان مخاطره آمیز باشد (۲۳)، می‌توان به عدم تشابه نتایج اشاره نمود.

در نهایت می‌توان اذعان نمود که اگرچه در حال حاضر به دلیل عدم استقرار صنایع آلاینده در دشت تویسرکان، منابع آب زیرزمینی این منطقه در معرض آلودگی به فلزات سنگین نیستند، اما با توجه به ساختار زمین‌شناسی منطقه و کشت محصولات متنوع زراعی از جمله گندم، جو، یونجه و درختان گردو در این دشت که با استفاده غیر مدیریت شده از نهاده‌های کشاورزی همراه است، احتمال نفوذ فلزات سنگین و سموم شیمیایی به سفره‌های آب زیرزمینی و در نتیجه آلودگی این منابع در بلندمدت قابل پیش‌بینی بوده و لزوم اندیشیدن تمهیداتی در این مورد ضروری به نظر می‌رسد.

نتایج این مطالعه با دستاوردهای پژوهش اسدی (۱۳۹۱) که نسبت به بررسی توزیع مکانی عناصر سرب، کادمیوم، مس و منیزیم در منابع آب زیرزمینی دشت رزن استان همدان طی فصول بهار و تابستان اقدام نمود و نتیجه گرفت که میانگین غلظت تجمع یافته عناصر در نمونه‌های فصول بهار و تابستان با رهنمود WHO اختلاف معنی‌دار داشته ($p < 0/05$) و در مورد تمام عناصر کمتر از حد استاندارد می‌باشد (۱۰) همسو است. همچنین نتایج مطالعه با دستاورد پژوهش رجایی و همکاران (۱۳۹۱) (۷)؛ پژوهش جمالی (۱۳۹۱) (۱۱)؛ پژوهش رزبان (۱۳۹۱) (۱۲)؛ پژوهش شرفی و همکاران (۱۳۹۰) (۲۷)؛ پژوهش کاشفی قاسم آبادی و همکاران (۱۳۹۰) (۲۸)؛ پژوهش حسن زاده و همکاران (۱۳۸۹) (۲۹) و پژوهش شهریاری و همکاران (۱۳۸۹) (۳۰) مشابهت دارد. رهنما و همکاران نیز (۱۳۹۰) نسبت به ارزیابی غلظت عناصر روی و مس در منابع آب زیرزمینی گیلان مرکزی اقدام نموده و نتیجه گرفتند که میانگین غلظت این عناصر پایین‌تر از حد استاندارد وزارت نیرو می‌باشد (۲)؛ هم‌چنین در مقایسه نتایج این مطالعه با دستاوردهای پژوهش شریفی و صفری سنجانی (۲۰۱۲) که نسبت به بررسی تأثیر آب آبیاری بر تجمع آرسنیک در منابع آب زیرزمینی مناطق

References

1. Kardovani P. Resources and Water Issues in Iran.vol.1: Groundwater and surface water issues and exploit them. Tehran: University of Tehran Press; 2004.
2. Rahnema S, Khaledian MR, Shahnazari A, Forghani A. A geostatistically based evaluation of heavy metals concentration in groundwater resources of Central Guilan. Proceedings of the 4th Iran Water Resources Management Conference 2011; p. 12 (Persian).
3. Salek S, Atashi H, Akbari Espili F. Determination of As, Sb and Cd concentrations and these pollutants origin in ground water recourses of Zahedan City. Proceedings of the 11th National Iranian Chemical Engineering Congress 2006; p. 11 (Persian).
4. Hasani Pak AA. Principles of Geochemical Explorations (Minerals). Tehran: University of Tehran press, 2002.
5. International Agency for Research on Cancer (IRAC), Monographs on the evaluation of

- carcinogenic risks to human. Vol.1 World Health Organization, 1987.
6. Hudson-Edwards KA, Jamieson HE, Charnock JM, Macklin MG. Arsenic speciation in waters and sediments of ephemeral floodplain pools, ríos Agrio-Guadiamar, Aznalcóllar, Spain Chem Geol 2005; 219(1-4):175-192.
 7. Rajaei Q, Pourkhabbaz AR, Hesari Motlagh S. Assessment of heavy metals health risk of groundwater in Ali Abad Katoul Plain. J North Khorasan Med Sci 2012; 4(2): 155-162.
 8. Muhammad S, Tahir Shah M, Khan S. Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan. Microchem J 2011; 98(2): 334-343.
 9. Dabiri M. Environmental Pollution (Air, Water, Soil, Noise). 1st ed. Tehran: Etehad Publications; 2013. P. 25-32. (Persian).
 10. Asadi H. Spatial Distribution of Pb, Cd, Cu and Mg concentrations in ground water resources of Razan Plain. Hamedan, Iran. [MS.c Thesis], Hamedan, Iran: Hamedan Branch, Islamic Azad University; 2013. (Persian).
 11. Jamali M. Evaluation of As, Zn, Cr and Mn concentrations in groundwater resources of Razan Plain and preparing the zoning map using GIS. [MS.c Thesis], Hamedan, Iran: Hamedan Branch, Islamic Azad University; 2013. (Persian).
 12. Razban SS. Evaluation of As, Zn, Pb and Cu concentrations in ground water resources of Ghahavand Plain and preparing the zoning map using GIS. [MS.c Thesis], Hamedan, Iran: Hamedan Branch, Islamic Azad University; 2013. (Persian).
 13. Aghazadeh N, Mogaddam AA. Investigation of hydrochemical characteristics of groundwater in the Harzandat aquifer, Northwest of Iran, Environ Monit Assess 2011; 176(1-4): 183-195.
 14. Kargar M, Khorasani N, Karami M, Rafiee G, Naseh R. Statistical source identification of major and trace elements in groundwater downward the tailings dam of Miduk Copper Complex, Kerman, Iran. Environ Monit Assess 2012; 184 (10): 6173-6185.
 15. Ollás M, Moral F, Galván L, Cerón JC. Groundwater contamination evolution in the Guadiamar and Agrio aquifers after the Aznalcóllar spill: assessment and environmental implications. Environ Monit Assess 2012; 184(6): 3629-3641.
 16. Ramesh K, Elango L. Groundwater quality and its suitability for domestic and agricultural use in Tondiar river basin, Tamil Nadu, India. Environ Monit Assess 2012; 184(6): 3887-3899.
 17. Pius A, Jerome C, Sharma N. Evaluation of groundwater quality in and around Peenya industrial area of Bangalore, South India using GIS techniques. Environ Monit Assess 2012; 184(7): 4067-4077.
 18. Subba Rao N, Surya Rao P, Venktram Reddy G, Nagamani M, Vidyasagar G, Satyanarayana NLVV. Chemical characteristics of groundwater and assessment of groundwater quality in Varaha River Basin, Visakhapatnam District, Andhra Pradesh, India. Environ Monit Assess 2012; 184(8): 5189-5214.
 19. Haloi N, Sarma HP. Heavy metal contaminations in the groundwater of Brahmaputra flood plain: an assessment of water quality in Barpeta District, Assam (India). Environ Monit Assess 2012; 184 (10): 6229-6237.

20. Buragohain M, Bhuyan B, Sarma HP. Seasonal variations of lead, arsenic, cadmium and aluminium contamination of groundwater in Dhemaji district, Assam, India. *Environ Monit Assess* 2010; 170 (1-4): 345-351.
21. Talebani S. Evaluation of As, Cu, Zn and Pb concentrations in ground water resources of Toyserkan Plain and preparing the zoning map using GIS. [MS.c Thesis], Hamedan, Iran: Hamedan Branch, Islamic Azad University; 2013. (Persian).
22. Mohammadi H, Yazdanbakhsh A, Sheykh Mohammadi A, Bonyadinejad G, Alinejad A, Ghanbari G. Investigation of nitrite and nitrate in drinking water of regions under surveillance of Shahid Beheshti University of Medical Sciences in Tehran Province, Iran. *J Health Syst Res* 2011; 7(6): 782-789. (Persian).
23. Sharifi Z, Safari Sinegani AA. Assessment of arsenic, nitrate and phosphorus pollutions in shallow groundwater of the rural area in Kurdistan Province (Iran). *Curr World Environ* 2012; 7(2): 233-241.
24. Eaton AD, Franson MA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. Washington, DC: American Public Health Association; 2005.
25. Tayebi L, Sobhanardakani S. Monitoring of water quality parameters of Gamasiab River and affecting factors on these parameters. *J Environ Sci Tech* 2012; 53(2): 37-48. (Persian).
26. Muthulakshmi L, Ramu A, Kannan N. Seasonal distribution of some heavy metal concentrations in ground water of Virudhunagar district, Tamilnadu, South India. *Electr J Environ Agric Food Chem* 2012; 11(2): 32-37.
27. Sharafi H, Yaghoubpour A, Ghafoori MR. Evaluation of environmental pollution of toxic heavy metals in ground water of Zanjan Plain. *Proceedings of the 15th Symposium of Geological Society of Iran* 2011; p. 8 (Persian).
28. Khashefi Ghasem Abadi A, Dehghani M, Gholamreza Fahimi F. Evaluation of heavy metals concentration in groundwater of Chadermalo Region and presentation of Environmental Management Plan. *Proceedings of the 5th Conference of Environmental Engineering* 2011; p. 8 (Persian).
29. Hassanzadeh R, Abbasnejad A, Hamzeh MA. Assessment of groundwater pollution in Kerman urban areas. *J Environ Stud* 2011; 36(56): 101-110. (Persian).
30. Shahryari T, Moashery BN, Sharifzadeh GhR. Concentrations of chromium and copper in the ground water and drinking water distribution network of Birjand, 2009-2010. *J Birjand Univ Med Sci* 2011; 18(1): 62-67. (Persian).
21. Sharifi Z, Safari Sinegani AA. Arsenic and other irrigation water quality indicators of groundwater in an agricultural area of Qorveh Plain, Kurdistan, Iran. *American-Eurasian J Agric Environ Sci* 2012; 12(4): 548-555.