مقاله پژوهشی

بررسی غلظت سرب، کادمیوم، مس و منیزیم در منابع آب زیرزمینی دشت رزن

دکتر سهیل سبحان اردکانی*، دکتر محمد معانی جو**، هاله اسدی***

دریافت: ۹۳/۳/۱۸ پذیرش: ۹۳/۶/۱۸

چکیده:

مقدمه و هدف: ایران در کمربند خشک و نیمه خشک جهان قرار گرفته و ۹۰ درصد آب شیرین مورد نیاز در کشور از منابع آب زیرزمینی تامین میشود. با توجه به آلودگی روز افزون منابع آب قابل بهره‌برداری و اهمیت پایش مداوم آن‌ها، در این مطالعه، نسبت به ارزیابی غلظت سرب، کادمیوم، مس و منیزیم منابع آب زیرزمینی دشت رزن و تهیه نقشه پهنه‌بندی عناصر اقدام شد.

روش کار: ۲۰ حلقه چاه در سطح دشت انتخاب و نمونه برداری 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 هضم اسیدی، توسط دستگاه ICP انجام گردید. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی عناصر و پردازش آماری داده‌ها نیز به ترتیب از نرم‌افزارهای ArcGIS و SPSS استفاده شد.

نتایج: میانگین غلظت سرب، کادمیوم، مس و منیزیم نمونه‌ها در فصل بهار به ترتیب برابر با ۰/۶۶±۵/۶۰، ۰/۰٤±۰/۲۱، ۲/۲۱±۳۲/۱۰ و ۳۰۲/۱۰±۶۹۹۰/۰ و در فصل تابستان به ترتیب برابر با ۰/٤۶±٤/۸۶، ۰/۰۸±۰/۳۰، ۳/۶۳±۲۵/۵۵ و ۲۱۵/۶۵±۳۶۵٤/۰۵ ppb می‌باشد. مقایسه میانگین غلظت عناصر در نمونه‌ها با رهنمود WHO بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار ($P<0/05$) می‌باشد به طوری که میانگین غلظت تجمع یافته عناصر پایین‌تر از حد مجاز بود.

نتیجه نهایی: گرچه در حال حاظر منابع آب زیرزمینی دشت رزن در معرض آلودگی بیش از حد مجاز به فلزات سنگین نیست 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.

کلید واژه ها: آلودگی آب / بهداشت محیط / فلزات سنگین

مقدمه:

امروزه با توجه به کاهش و کمبود نزولات جوی و به تبع آن کمبود منابع آب سطحی قابل شرب و در دسترس، استحصال از منابع آب زیرزمینی بدون توجه به محدودیت‌ها یا نیاز به بازچرخش آن مورد توجه قرارگرفته است (۱). بنابراین، منابع آب زیرزمینی از جمله مهم‌ترین منابع تأمین آب شرب و کشاورزی محسوب می‌شوند که منبع اصلی تأمین آب شرب بیش از ۱/۵ میلیارد نفر در سرتاسر جهان است (۲). فلزات سنگین به‌عنوان یک مساله خطرساز از ابعاد مختلف و به‌طور جدی می‌توانند زیست انسان و سایر موجودات زنده را به خطر بیاندازند. یکی از عمده‌ترین منابع تولیدکننده این عناصر، سنگ‌های معادن و غبارهای آتشفشانی می‌باشند ولی در کنار این‌ها، انسان خود به اشکال مختلف مانند صنایع رنگرزی، آبکاری فلزات و ... در انتشار فلزات سنگین نقش دارد (۲). در دهه‌های اخیر آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های آبی به یک مشکل جهانی هم در کشورهای در حال توسعه و هم در کشورهای توسعه‌یافته تبدیل شده‌است (۳،۴). بنابراین، آن‌چه در حال حاضر بیش از هر مقوله‌ای افکار بشر را به خود جلب نموده است، مسأله آلودگی محیط‌زیست با فلزات سنگین می باشد که به‌دلیل غیرقابل جذب بودن و داشتن اثرات فیزیولوژیکی، در غلظت پایین نیز بر فعالیت و سلامت جانداران تاثیرگذار هستند (۵). با توجه به صنعتی شدن و افزایش رشد جمعیت، تقاضای آب با

* استادیار گروه محیط زیست دانشکده علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان (s_sobhan@iauh.ac.ir)

** دانشیار گروه زمین شناسی دانشکده علوم پایه دانشگاه بوعلی سینا همدان

*** دانش آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

کیفیت مناسب روز به روز در حال افزایش است، اگرچه غالب منابع آبی به‌وسیله فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و فاضلاب‌ها آلوده شده‌اند. ولی هنوز از منابع آب زیرزمینی به‌دلیل فرآیند طبیعی فیلتراسیون در بافت خاک، به‌عنوان منابع آبی بی‌خطر نام برده می‌شود. بسیاری از عناصر موجود در آب آشامیدنی از جمله آهن، مس، روی، منگنز و ... وجودشان برای سلامتی انسان ضروری است. با این حال، افزایش غلظت این عناصر و خوردن آن‌ها در مقادیر بیش از حد مجاز ممکن است باعث بروز مشکلات بسیار جدی برای سلامتی بشر شود (۶).

کم خونی اولین نشانه در آلودگی به سرب است سایر اثرات آلودگی با سرب عبارتند از: تغییر در نرخ زاد و ولد، تغییر بر میزان رشد، اثر بر مغز، تأثیر بر هموگلوبین، اثر بر کلیه‌ها، کوتاه شدن دوران بارداری، سقط‌های غیراختیاری، ناتوانی در یادگیری، اغماء و حتی مرگ (۹-۷). کادمیوم سبب آسیب به کلیه، کبد و طحال می‌شود. مسمومیت حاد ناشی از کادمیوم اغلب به علت شرب آب یا دیگر مایعات با pH اسیدی و آلوده به این عنصر رخ می‌دهد. همچنین این عنصر نیز مانند آرسنیک، در مقادیر بالا سیستم ایمنی بدن را مختل می‌کند (۷). مس از جمله فلزات سنگین ضروری برای ادامه‌ی حیات انسان است اما تجمع مقادیر بالای آن در بدن می‌تواند سبب کم‌خونی، صدمه به کبد، کلیه، معده، تغییرات در استخوان‌ها و حتی گاهی منجر به مرگ شود (۸). از اثرات مضر منیزیم بر انسان می‌توان به تغییر در نرخ زاد و ولد، اثر بر سیستم تنفسی، آسیب به DNA، تأثیر بر گلبول‌های قرمز خون، عوارض کبدی و ... اشاره نمود (۷،۹).

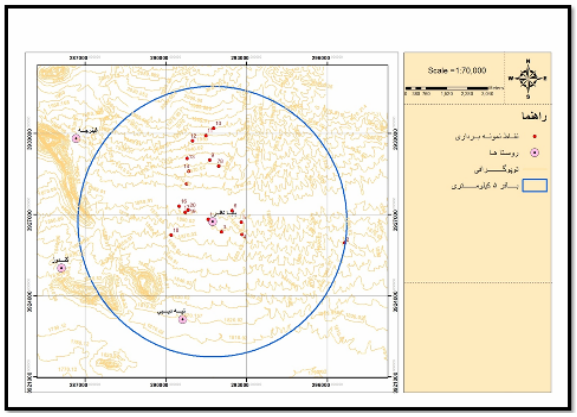
تاکنون چندین مطالعه در زمینه ارزیابی کیفی، بررسی غلظت عناصر و به‌ویژه فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی در ایران و سایر کشورها انجام شده است (۲۱-۷،۹-۵، ۲). رزبان نسبت به بررسی غلظت فلزات سنگین منابع آب زیرزمینی دشت قهاوند طی فصول بهار و تابستان ۱۳۹۱ اقدام کرد و نتیجه گرفت که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب و مس در فصول بهار و تابستان به‌ترتیب برابر با ۱/۱۹±۷/۴۹، ۲/۰۷±۱۳/۷۲، ۰/۴۴±۲/۳۶ و ۲/۰۱±۹/۲۱ و ۱/۱۸±۹/۰۳ و ۱/۹۲±۷/۱۰، ۰/۶۵±۲/۷۸ و ۱/۲۳±۹/۲۸ قسمت در میلیارد و میانگین غلظت همه عناصر مورد مطالعه کمتر از رهنمود WHO می باشد (۲). سبحان اردکانی و همکاران نسبت به بررسی غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی دشت رزن طی فصول بهار و تابستان ۱۳۹۱ اقدام کرده و نتیجه گرفتند که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، روی، کروم و منگنز در فصول بهار و تابستان به‌ترتیب برابر با ۰/۶۹±۵/۸۶، ۳/۴۲±۳۰/۲۸، ۰/۰۰۵±۰/۰۴۴ و ۰/۴۰±۳/۶۹ و ۰/۵۱±۴/۵۰، ۳/۱۱±۳۴/۵۰، ۰/۰۰۶±۰/۰۴۶ و ۰/۶۸±۶/۸۳ قسمت در میلیارد و میانگین غلظت همه عناصر مورد مطالعه کمتر از رهنمود WHO می باشد (۵). رجایی و همکاران نسبت به ارزیابی مخاطره سلامت فلزات سنگین منابع آب زیرزمینی دشت علی آباد کتول طی فصول پاییز ۱۳۸۸ و بهار ۱۳۸۹ اقدام کرده و نتیجه گرفتند که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب، کادمیوم و کروم در نمونه های فصل پاییز به‌ترتیب برابر با ۰/۰۰۲۲، ۰/۰۱۴۳، ۰/۰۰۶، ۰/۰۰ و ۰/۰۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و در نمونه های فصل بهار به ترتیب برابر با ۰/۰۰۰۹، ۰/۰۰۴۵، ۰/۰۰۶۶، ۰/۰۰ و ۰/۰۰۲۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. همچنین بین میانگین غلظت عناصر در نمونه ها با استانداردهای ملی و جهانی اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد (۷). سبحان اردکانی و همکاران نسبت به بررسی غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان طی فصول بهار و تابستان ۱۳۹۱ اقدام کرده و نتیجه گرفتند که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب و مس در فصول بهار و تابستان به‌ترتیب برابر با ۰/۷۶±۳/۶۸، ۰/۸۴±۳/۸۵، ۰/۳۵±۱/۶۶ و ۱/۰۱±۸/۵۹؛ ۰/۸۳±۳/۹۹، ۱/۱۲±۶/۳۰، ۰/۷۱±۱/۸۵ و ۱/۸۵±۱۲/۴۹ قسمت در میلیارد و میانگین غلظت همه عناصر در نمونه ها کمتر از رهنمود سازمان بهداشت جهانی و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران می‌باشد (۱۰). رهنما و همکاران نسبت به پهنه‌بندی آلودگی فلزات سنگین روی، سرب، کادمیوم و مس منابع آب زیرزمینی گیلان مرکزی اقدام کرده و نتیجه گرفتند که صرفاً میانگین غلظت عناصر روی و مس در نمونه‌ها به‌طور معنی‌دار کمتر از استانداردهای آب آشامیدنی و آبیاری در کشاورزی می‌باشند (۱۱). عالیقدر و همکاران به بررسی غلظت فلزات سنگین در منابع آب آشامیدنی شهر اردبیل پرداختند و نتیجه گرفتند که میانگین غلظت عناصر آهن، منگنز، روی، سرب و نیکل در تمام نمونه‌ها کمتر از حد استاندارد و میانگین غلظت عناصر مس، کروم و کادمیوم در مرز استاندارد می باشد (۱۲). آقازاده و مقدم پس از بررسی

خصوصیات هیدروشیمیایی منابع آب زیرزمینی آبخوان هرزندات در استان آذربایجان شرقی نتیجه گرفتند که فراوانی یون‌های عمده در نمونه‌ها به شرح $Cl^{-}>HCO_3^{-}>SO_4^{2-}, Na^{+}>Ca^{2+}>Mg^{2+}>K^{+}$ می‌باشد (١٣). کارگر و همکاران نسبت به پایش فلزات سنگین منابع آب زیرزمینی پایین دست سد باطله مجتمع مس میدوک کرمان اقدام کرده و موفق به شناسایی عناصر آلومینیوم، آهن، سرب، کادمیوم، مس، مولیبدن و نیکل در نمونه‌ها شدند (١۴).

محدوده مطالعاتی رزن- قهاوند با وسعت حوزه آبریز ۴۸۱۰ کیلومترمربع در شمال شرقی استان همدان واقع و یکی از دشت‌های حوزه آبریز قره چای محسوب می‌گردد. سطح گسترش آبخوان این دشت ۱۷۰۹ کیلومترمربع می باشد. متوسط میزان بارندگی این منطقه بین ۲۸۰ تا ۲۲۷ میلی‌متر متغییر است. آب شرب و مصرفی اهالی رزن طبق آمار سال ۱۳۸۹ از طریق ۱۶۵۳ حلقه چاه عمیق، ۹۰۷ حلقه چاه نیمه‌عمیق، ۱۵۰ رشته چشمه و ۱۵۱ رشته قنات از سفره آب زیرزمینی دشت رزن تامین می‌شود (۵). بنابراین، با توجه به توسعه کاربری کشاورزی در منطقه مورد مطالعه، استفاده بیش از حد از نهاده‌های کشاورزی توسط زارعین (٢٢) و عدم پایش عناصر تجمع‌یافته در منابع آب زیرزمینی دشت رزن به منظور بررسی عوارض مخرب بر سلامت شهروندان، در این مطالعه با هدف ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی این منطقه، نسبت به بررسی غلظت و تهیه نقشه توزیع مکانی فلزات سنگین سرب، کادمیوم و مس و کاتیون منیزیم به عنوان یکی از عناصر غالب در منابع آب زیرزمینی اقدام شد.

روش کار:

به منظور نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی دشت رزن از طریق مطالعه تحلیلی (مشاهده ای)، پس از انجام مطالعات اولیه میدانی و با در نظر گرفتن پراکندگی یکنواخت ایستگاه‌ها در نقاطی از سطح دشت که نسبت به حفر چاه اقدام شده بود، با استفاده از رابطه $N=Z^2S^2/D^2$ (٢٣)، ٢٠ حلقه چاه با کاربری شرب و زراعت انتخاب و پس از ثبت مختصات جغرافیایی آن‌ها توسط دستگاه GPS، نمونه‌برداری از آن‌ها طی فصول بهار و تابستان سال ١٣٩١ (اواسط اردیبهشت‌ماه و شهریورماه) به روش مرکب با استفاده از ظروف پلی‌اتیلنی که از قبل توسط اسید نیتریک شسته شده بودند، انجام شد (٢۴). در زمان نمونه‌برداری و قبل از برداشت نمونه، برای اطمینان از پمپاژ آب از سفره‌ی آب زیرزمینی، ابتدا چند دقیقه صبر کرده و سپس ظروف را سه بار با آب چاه شستشو داده و از هر ایستگاه حدود نیم لیتر آب برداشت شد (١١،١۶،١٧،٢۵). موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ١ ارائه شده است.



شکل ١: نقشه موقعیت ایستگاه های نمونه برداری در دشت رزن

پس از اندازه‌گیری دما و pH نمونه‌ها در محل توسط دستگاه قابل حمل کالیبره Multi- Parameter مدل TS 606-G/2-I ساخت شرکت WTW، نمونه‌ها به منظور قرائت غلظت عناصر در یخدان با دمای پایین نگهداری و در اسرع وقت به آزمایشگاه منتقل شدند (٢۶).

در آزمایشگاه به منظور تثبیت و جلوگیری از رسوب-گذاری عناصر محلول در نمونه‌ها، به ٢۵ میلی‌لیتر از نمونه آب، یک میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه و نمونه به مدت ١٠ دقیقه روی هیتر در دمای ۵٠ درجه سانتی‌گراد در زیر هود قرار داده شد. نمونه‌ها به مدت ١٠ دقیقه با دور ملایم (٨۵ دور در دقیقه) بر روی شیکر قرار داده شده و سپس توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۴٢ صاف شدند. به منظور قرائت غلظت عناصر در نمونه‌ها، ابتدا دستگاه ICP کالیبره شد. بدین ترتیب که با استفاده از محلول استاندارد ppm ١٠٠٠ سرب، کادمیوم، مس و منیزیم، نسبت به تهیه استاندارد سرب در غلظت‌های ppb ١٠٠، ٢٠٠ و ٣٠٠، کادمیوم در غلظت‌های ppb ٧٠، ١۵٠ و ٢۵٠، مس در غلظت‌های ppb ١٠، ۵٠ و ١۵٠ و منیزیم در غلظت‌های ppb ١٠٠٠، ۵٠٠٠ و ١٠٠٠٠ اقدام شد (٩،١٠،١۶). در نهایت غلظت فلزات سنگین بر حسب ppb توسط دستگاه ICP مدل Varian 710-ES در سه تکرار قرائت شد (١۶).

برای تهیه نقشه توزیع مکانی عناصر در محدوده مورد مطالعه به روش درون‌یابی وزنی توسط ویرایش ۹/۳ نرم افزار ArcGIS ابتدا نسبت به تهیه بانک اطلاعاتی از نتایج مربوط به قرائت غلظت عناصر اقدام و سپس بر اساس روش درون‌یابی وزنی (Inverse Distance Weighted)، نقشه‌های توزیع مکانی برای هر عنصر ترسیم شد. در نهایت نیز تحلیل‌ها بر روی نقشه‌های رستری حاصل، انجام شد.

به منظور پردازش آماری داده‌ها از ویرایش ۱۹ نرم‌افزار SPSS استفاده شد. برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف(Kolmogorov–Smirnov)، برای مقایسه میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر با رهنمود سازمان بهداشت جهانی برای آب شرب و رهنمود سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای مصارف کشاورزی از آزمون تی تک‌نمونه ای (One Sample t-test)، برای مقایسه میانگین غلظت فلزات بین فصول نمونه‌برداری با یکدیگر از آزمون تی‌مستقل (Independent t-test)، برای مقایسه میانگین غلظت تجمع‌یافته فلزات بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری در فصول مختلف از آزمون تحلیل واریانس یکطرفه (چند دامنه‌ای دانکن) (Duncan Multiple Range Test) و برای تعیین همبستگی بین پارامترهای pH و دمای آب با میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر از ضریب همبستگی پیرسون(Pearson Correlation Coefficient) استفاده شد.

نتایج:

نتایج مقایسه میانگین غلظت قرائت شده عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت رزن در فصل بهار بر حسب ppb بیانگر آن بود که کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر سرب با ۱/۴۰±۰/۲۰ و ۹/۵۵±۱/۰۷ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱ و ۸ کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر کادمیوم با ۰/۰۲±۰/۰۱ و ۰/۶۰±۰/۰۹ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۲۰ و ۹، کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر مس با ۱/۹۹±۲۰/۰ و ۱/۱۱±۹۰/۰ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۷ و ۱ و کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر منیزیم با ۱۹۳/۷۸±۳۱۱۳ و ۳۲۱/۱۸±۶۵۵۶ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱۹ و ۱۳ می‌باشد (جدول ۱).

در فصل تابستان نیز کمینه و بیشینه میانگین غلظت عناصر بر حسب ppb برای سرب با ۳/۲۰±۰/۳۲ و ۷/۷۳±۱/۱۱ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱۵ و ۱۰، برای کادمیوم با ۰/۰۲±۰/۰۱ و ۰/۸۵±۰/۱۱ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۲ و ۱۵، برای مس با ۱۴/۰±۰/۸۸ و ۹۴/۰±۵/۰۱ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱۱ و ۹ و برای منیزیم با ۱۳۴/۲۹±۱۰۳۶ و ۳۲۹/۰۸±۸۰۱۳ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱ و ۱۸ می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۱: غلظت عناصر مورد ارزیابی در فصل بهار ۱۳۹۱ بر حسب قسمت در میلیارد (ppb)

به تفکیک ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر مبنای ۳ تکرار

ایستگاه	میانگین± انحراف معیار غلظت عناصر				دما (°C)	pH
	سرب	کادمیوم	مس	منیزیم		
۱	۱/۴۰±۰/۲۰^{a}	۰/۰۹±۰/۰۱^{abc}	۹۰/۰±۱/۱۱^{g}	۶۴۰۱±۳۲۸/۰۱^{q}	۱/۴۰±۰/۱۰	۷/۹۰±۰/۰۸
۲	۵/۸۹±۰/۶۹^{d}	۰/۱۶±۰/۰۳^{cdef}	۳۵/۰±۲/۵۷^{e}	۵۱۸۷±۳۱۰/۳۰^{g}	۱/۶۰±/۰۹	۷/۵۰±۰/۱۰
۳	۵/۹۱±۰/۶۰^{d}	۰/۰۴±۰/۰۱^{ab}	۳۶/۰±۲/۵۳^{e}	۵۲۲۰±۳۰۷/۰۹^{h}	۱/۵۰±/۰۸	۷/۶۰±۰/۰۷
۴	۴/۹۰±۰/۳۸^{c}	۰/۱۸±۰/۰۵^{ef}	۲۹/۰±۱/۳۱^{d}	۵۵۱۴±۳۲۱/۲۹^{i}	۱/۸۰±۰/۱۰	۷/۸۴±۰/۱۱
۵	۹/۴۷±۱/۱۰^{f}	۰/۵۹±۰/۰۹^{j}	۳۷/۰±۲/۵۲^{e}	۵۹۰۱±۲۹۸/۰۵^{l}	۱/۸۰±۰/۱۰	۸/۱۷±۰/۰۹
۶	۴/۶۷±۰/۳۷^{bc}	۰/۰۴±۰/۰۱^{ab}	۲۵/۰±۲/۱۰^{bcd}	۳۱۹۴±۲۳۱/۷۷^{b}	۱/۳۰±۰/۰۷	۸/۰۰±۰/۰۷
۷	۴/۱۲±۰/۳۱^{b}	۰/۲۶±۰/۰۴^{gh}	۲۰/۰±۱/۹۹^{a}	۳۵۴۹±۲۴۱/۷۸^{c}	۱/۸۰±۰/۰۹	۷/۹۷±۰/۰۵
۸	۹/۵۵±۱/۰۷^{f}	۰/۴۶±۰/۰۵^{k}	۵۶/۰±۳/۲۲^{f}	۶۲۲۳±۳۲۱/۱۹^{n}	۱/۴۰±۰/۰۹	۷/۷۰±۰/۰۹
۹	۸/۷۹±۰/۹۱^{e}	۰/۶۰±۰/۰۹^{k}	۳۵/۰±۲/۶۳^{e}	۶۲۸۰±۳۱۰/۲۸^{o}	۲/۲۰±۰/۱۲	۷/۵۰±۰/۱۰
۱۰	۴/۸۶±۰/۴۴^{bc}	۰/۰۴±۰/۰۱^{ab}	۲۳/۰±۱/۸۹^{ab}	۶۱۱۱±۳۱۱/۳۹^{m}	۲/۰۰±۰/۱۱	۸/۲۱±۰/۱۲
۱۱	۵/۸۳±۰/۶۲^{bc}	۰/۱۷±۰/۰۴^{def}	۲۶/۰±۱/۹۲^{bcd}	۵۶۶۵±۲۸۲/۸۰^{j}	۱/۷۰±۰/۱۴	۷/۸۰±۰/۰۷
۱۲	۴/۱۱±۰/۳۹^{b}	۰/۰۴±۰/۰۱^{ab}	۲۳/۰±۱/۹۱^{ab}	۶۴۲۸±۳۸۱/۰۷^{s}	۲/۲۰±۰/۱۲	۷/۷۸±۰/۰۹
۱۳	۵/۹۰±۰/۷۱^{d}	۰/۱۹±۰/۰۲^{fg}	۲۶/۰±۱/۸۸^{bcd}	۶۵۵۶±۳۲۱/۱۸^{t}	۱/۷۰±۰/۰۹	۷/۹۰±۰/۱۰
۱۴	۶/۱۳±۰/۴۴^{d}	۰/۳۱±۰/۰۵^{hi}	۲۸/۰±۲/۰۰^{cd}	۴۸۰۴±۱۱۸/۹۱^{f}	۱/۹۰±۰/۱۱	۷/۵۶±۰/۰۸
۱۵	۴/۵۸±۰/۴۰^{bc}	۰/۱۱±۰/۰۲^{bcde}	۲۵/۰±۲/۱۸^{bcd}	۶۳۴۶±۳۷۱/۸۲^{p}	۱/۵۰±۰/۱۰	۷/۱۰±۰/۱۲
۱۶	۶/۲۰±۰/۷۱^{d}	۰/۳۲±۰/۰۲^{fg}	۲۶/۰±۱/۷۶^{bcd}	۴۰۷۸±۲۰۱/۷۷^{d}	۱/۸۰±۰/۱۲	۷/۴۴±۰/۰۶
۱۷	۴/۶۶±۰/۳۲^{bc}	۰/۳۴±۰/۰۳^{i}	۲۴/۰±۲/۱۷^{bc}	۴۰۸۸±۱۹۴/۱۹^{e}	۱/۷۰±۰/۰۹	۷/۸۰±۰/۰۹
۱۸	۴/۴۲±۰/۳۳^{bc}	۰/۱۰±۰/۰۱^{bcd}	۲۵/۰±۱/۸۸^{bcd}	۶۴۱۱±۲۹۵/۱۶^{r}	۱/۳۰±۰/۰۹	۷/۲۵±۰/۰۷
۱۹	۴/۸۶±۰/۴۳^{bc}	۰/۰۶±۰/۰۱^{ab}	۲۵/۰±۱/۹۹^{bcd}	۳۱۱۳±۱۹۳/۷۸^{a}	۱/۸۰±۰/۱۳	۷/۷۱±۰/۱۰
۲۰	۶/۰۷±۰/۵۵^{d}	۰/۰۱±۰/۰۲^{a}	۲۸/۰±۱/۸۹^{cd}	۵۷۳۲±۲۵۶/۱۳^{k}	۱/۵۰±۰/۱۱	۷/۸۰±۰/۰۹
میانگین	۵/۶۰±۰/۶۶	۰/۲۱±۰/۰۴	۳۲/۱۰±۲/۲۱	۶۹۹۰/۰±۳۰۲/۱۰	۱/۷۰±۰/۰۹	۷/۷۳±۰/۱۱

حروف غیر مشترک (a, b, c ,...)در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) بین ایستگاه ها از نظر میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌های آب زیرزمینی بر اساس نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (چند دامنه ای دانکن) می‌باشد.

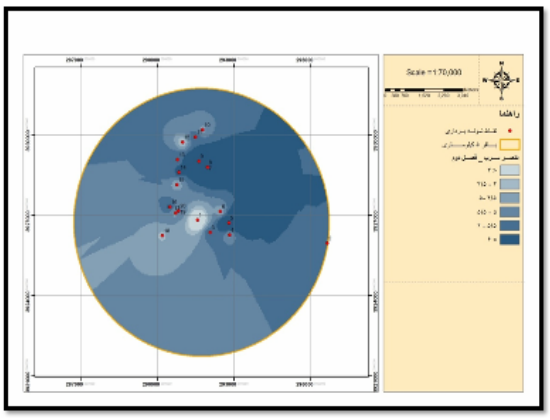
جدول ۲: غلظت عناصر مورد ارزیابی در فصل تابستان ۱۳۹۱ برحسب قسمت در میلیارد (ppb) به تفکیک ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر مبنای ۳ تکرار

ایستگاه	میانگین± انحراف معیار غلظت عناصر					
	سرب	کادمیوم	مس	منیزیم	دما (°C)	pH
۱	۴/۳۰±۰/۴۱^{c}	۰/۱۵±۰/۰۳^{c}	۲۰/۰±۱/۱۷^{bcdef}	۱۰۳۶±۱۳۴/۲۹^{a}	۲/۳۰±۰/۱۲	۷/۸۷±۰/۰۷
۲	۴/۹۵±۰/۴۲^{ef}	۰/۰۲±۰/۰۱^{a}	۱۴/۰±۱/۰۱^{a}	۴۹۷۲±۲۲۱/۱۷^{n}	۲/۲۰±۰/۱۱	۷/۶۰±۰/۰۹
۳	۵/۰۳±۰/۶۷^{fg}	۰/۲۸±۰/۰۶^{gh}	۲۷/۰±۱/۴۹^{gh}	۲۶۳۸±۱۵۸/۷۲^{e}	۲/۰۰±۰/۱۰	۷/۷۰±۰/۱۰
۴	۵/۶۸±۰/۵۴^{h}	۰/۲۵±۰/۰۶^{fg}	۱۹/۰±۱/۰۹^{bcde}	۲۷۶۲±۱۵۱/۱۸^{f}	۲/۴۰±۰/۱۱	۷/۷۶±۰/۰۹
۵	۵/۰۷±۰/۵۹^{fg}	۰/۰۸±۰/۰۱^{b}	۱۶/۰±۱/۰۸^{ab}	۱۸۰۱±۱۱۱/۳۹^{d}	۲/۱۰±۰/۱۳	۷/۵۹±۰/۰۷
۶	۴/۹۹±۰/۴۴^{fg}	۰/۰۸±۰/۰۱^{b}	۲۱/۰±۱/۱۱^{cdef}	۱۰۴۰±۹۹/۶۵^{b}	۲/۵۰±۰/۱۳	۸/۱۴±۰/۱۰
۷	۴/۶۱±۰/۳۸^{cde}	۰/۱۴±۰/۰۳^{c}	۲۴/۰±۱/۲۱^{fg}	۴۹۰۲±۲۴۹/۰۷^{m}	۱/۸۰±۰/۱۰	۷/۸۷±۰/۰۹
۸	۴/۵۳±۰/۳۳^{cd}	۰/۰۳±۰/۰۱^{a}	۲۲/۰±۱/۰۲^{def}	۴۶۰۵±۲۳۹/۱۷^{l}	۲/۴۰±۰/۱۲	۷/۹۰±۰/۰۹
۹	۴/۵۳±۰/۳۱^{cd}	۰/۵۸±۰/۰۹^{k}	۹۴/۰±۵/۰۱^{k}	۴۵۷۳±۲۲۴/۰۳^{k}	۲/۳۰±۰/۱۰	۷/۷۸±۰/۰۶
۱۰	۷/۷۳±۱/۱۱^{j}	۰/۷۰±۰/۰۶^{l}	۳۷/۰±۲/۱۲^{ij}	۳۴۹۸±۲۱۵/۳۲^{i}	۲/۹۰±۰/۱۵	۷/۶۰±۰/۱۰
۱۱	۳/۶۴±۰/۳۸^{b}	۰/۳۱±۰/۰۳^{hi}	۱۴/۰±۰/۸۸^{a}	۱۱۹۴±۹۶/۸۷^{c}	۲/۸۰±۰/۱۴	۸/۲۰±۰/۱۱
۱۲	۳/۲۳±۰/۳۱^{a}	۰/۱۹±۰/۰۲^{d}	۲۸/۰±۱/۰۹^{h}	۳۱۴۵±۲۱۷/۵۵^{g}	۲/۶۰±۰/۱۱	۷/۸۱±۰/۰۹
۱۳	۷/۰۰±۱/۱۸^{i}	۰/۳۴±۰/۰۴^{i}	۳۸/۰±۲/۱۴^{j}	۴۵۳۳±۲۶۷/۰۸^{j}	۲/۴۰±۰/۱۱	۷/۵۰±۰/۰۷
۱۴	۵/۳۵±۰/۴۷^{gh}	۰/۲۰±۰/۰۲^{de}	۲۰/۰±۱/۰۷^{bcdef}	۵۰۴۸±۲۸۱/۹۰^{o}	۲/۲۰±۰/۱۲	۷/۷۹±۰/۰۹
۱۵	۳/۲۰±۰/۳۲^{a}	۰/۸۵±۰/۱۱^{m}	۳۴/۰±۱/۹۸^{i}	۵۶۱۸±۲۷۷/۱۱^{p}	۲/۴۰±۰/۱۱	۷/۵۴±۰/۱۰
۱۶	۵/۵۷±۰/۵۷^{h}	۰/۴۵±۰/۰۷^{j}	۲۳/۰±۱/۰۵^{ef}	۵۶۸۵±۲۸۵/۱۸^{r}	۲/۵۰±۰/۱۱	۷/۲۰±۰/۰۶
۱۷	۴/۷۴±۰/۳۷^{def}	۰/۱۲±۰/۰۳^{c}	۲۳/۰±۱/۰۱^{ef}	۵۶۶۸±۲۸۲/۳۰^{q}	۲/۷۰±۰/۱۲	۷/۶۲±۰/۰۸
۱۸	۴/۴۰±۰/۳۱^{cd}	۰/۲۳± ۰/۰۳^{ef}	۱۸/۰±۰/۹۹^{abcd}	۸۰۱۳±۳۲۹/۰۸^{t}	۱/۵۰±۰/۰۶	۷/۸۶±۰/۰۹
۱۹	۴/۲۴±۰/۳۳^{c}	۰/۱۵±۰/۰۲^{c}	۲۲/۰±۰/۹۲^{def}	۶۰۴۱±۲۸۴/۱۹^{s}	۱/۸۰±۰/۱۱	۷/۲۷±۰/۰۸
۲۰	۴/۵۰ ±۰/۳۱^{cd}	۰/۲۲±۰/۰۲^{def}	۱۷/۰±۰/۷۸^{abc}	۳۳۴۵±۱۹۸/۰۷^{h}	۲/۴۰±۰/۱۰	۷/۷۱±۰/۱۱
میانگین	۴/۸۶±۰/۴۶	۰/۳۰±۰/۰۸	۲۵/۵۵±۳/۶۳	۳۶۵۴/۰۵±۲۱۵/۶۵	۲/۳۱±۰/۱۱	۷/۷۲±۰/۱۰

حروف غیر مشترک (a, b, c ,...)در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) بین ایستگاه ها از نظر میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌های آب زیرزمینی بر اساس نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (چند دامنه ای دانکن) می‌باشد.

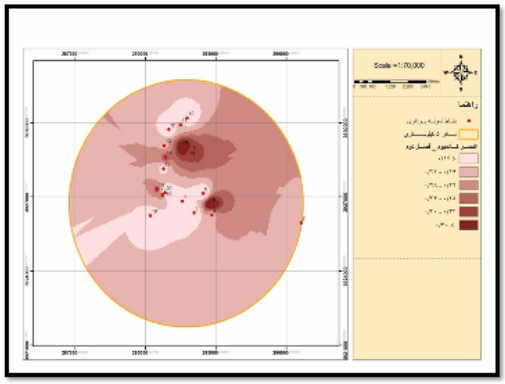
نتایج آزمون تی تک نمونه ای به منظور مقایسه آماری میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر سرب، کادمیوم، مس و منیزیم در نمونه‌ها طی فصول بهار و تابستان با رهنمود سازمان بهداشت جهانی برای آب شرب به ترتیب برابر با ۱۰۰، ۱۰، ۲۰۰ و ۵۰۰۰۰ قسمت در میلیارد (۲۷،۱۷،۱۰) و رهنمود سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای مصارف کشاورزی به ترتیب برابر با ۱۰۰۰، ۵۰، ۲۰۰۰، ۱۰۰۰۰۰ (۲،۱۰،۱۷،۲۷)، بیانگر آن است که میانگین غلظت تجمع‌یافته همه عناصر در نمونه‌های فصول بهار و تابستان با رهنمودهای WHO و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای مصارف کشاورزی اختلاف معنی دار داشته (P<۰/۰۵) و در مورد همه عناصر کمتر از حد استاندارد می‌باشد.

نتایج بررسی نقشه توزیع مکانی عناصر مورد ارزیابی در منابع آب زیرزمینی دشت رزن در فصل بهار ۱۳۹۱ بر حسب ppb بیانگر آن است که دامنه غلظت‌های بیشینه عنصر سرب (۶-۵/۵ و ۶<) به صورت لکه‌ای در بخش‌های شمـــــال و مرکز دشت با ۱/۰۷±۹/۵۵، ۱/۱۰±۹/۴۷ و ۸/۷۹±۰/۹۱ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۸، ۵ و ۹ می‌باشد (شکل ۲).



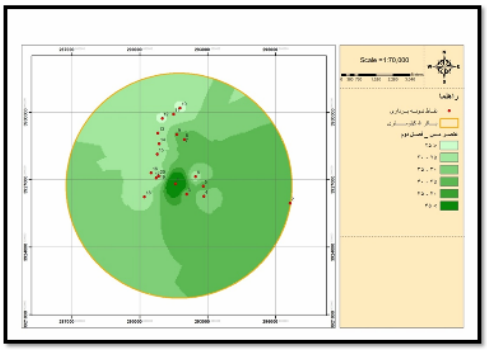
شکل ۲: نقشه توزیع مکانی میانگین غلظت عنصر سرب منابع آب زیرزمینی دشت رزن در فصل بهار سال ۱۳۹۱

دامنه غلظت‌های بیشینه عنصر کادمیوم (۱۲-۹ و ۱۲<) به صورت لکه‌ای در بخش‌های شمال و مرکز دشت با ۰/۰۹±۰/۶۰، ۰/۰۹±۰/۵۹ و ۰/۰۵±۰/۴۶ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۹، ۵ و ۸ می‌باشد (شکل ۳).



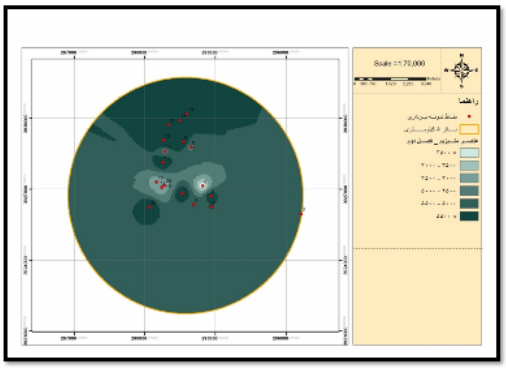
شکل ۳: نقشه توزیع مکانی میانگین غلظت عنصر کادمیوم منابع آب زیرزمینی دشت رزن در فصل بهار ۱۳۹۱

دامنه غلظت‌های بیشینه عنصر مس (۴۵-۴۰ و >۴۵) به صورت لکه‌ای در بخش‌های شمال و مرکز دشت با ۱/۱۱±۹۰/۰، ۳/۲۲±۵۶/۰ و ۲/۵۲±۳۷/۰ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱، ۸ و ۵ می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴: نقشه توزیع مکانی میانگین غلظت عنصر مس منابع آب زیرزمینی دشت رزن در فصل بهار سال ۱۳۹۱

دامنه غلظت‌های بیشینه عنصر منیزیم (۷۵۰۰-۶۰۰۰ و <۷۵۰۰) به صورت لکه‌ای در بخش‌های شمال و غرب دشت با ۳۲۱/۱۸±۶۵۵۶، ۳۸۱/۰۷±۶۴۲۸ و ۲۹۵/۱۶±۶۴۱۱ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱۳، ۱۲ و ۱۸ می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۵: نقشه توزیع مکانی میانگین غلظت عنصر منیزیم منابع آب زیرزمینی دشت رزن در فصل بهار سال ۱۳۹۱

نتایج بررسی نقشه توزیع مکانی عناصر مورد ارزیابی مربوط به فصل تابستان ۱۳۹۱ بر حسب ppb بیانگر آن است که دامنه غلظت‌های بیشینه عنصر سرب (۵/۸-۵/۲ و >۵/۸) به صورت لکه‌ای در بخش‌های شمال و مرکز دشت با ۱/۱۱±۷/۷۳، ۱/۱۸±۷/۰۰ و ۰/۵۴±۵/۶۸ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱۰، ۱۳ و ۴ می‌باشد. دامنه غلظتهای بیشینه عنصر کادمیوم (۰/۵-۰/۴ و >۰/۵) به صورت لکه‌ای در بخش شمال دشت با ۰/۱۱±۰/۸۵، ۰/۰۶±۰/۷۰ و ۰/۰۹±۰/۵۸ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱۵، ۱۰ و ۹ می‌باشد. دامنه غلظت‌های بیشینه عنصر مس (۴۰-۳۵ و >۴۰) به صورت لکه‌ای در بخش شمال دشت با ۵/۰۱±۹۴/۰، ۲/۱۴±۳۸/۰ و ۲/۱۲±۳۷/۰ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۹، ۱۳ و ۱۰ می‌باشد. همچنین دامنه غلظت‌های بیشینه عنصر منیزیم (۷۵۰۰-۶۰۰۰ و >۷۵۰۰) به صورت لکه‌ای در بخش‌های مرکز و غرب دشت با ۳۲۹/۰۸±۸۰۱۳، ۲۸۴/۱۹±۶۰۴۱ و ۲۸۵/۱۸±۵۶۸۵ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱۸، ۱۹ و ۱۶ می‌باشد.

نتایج آزمون تی مستقل به منظور مقایسه فصول بهار و تابستان از نظر میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌ها بیانگر آن است که بین فصول بهار و تابستان از نظر میانگین غلظت عناصر سرب، کادمیوم و مس تجمع‌یافته در نمونه‌ها تفاوت معنی‌دار وجود نداشته ولی از نظر میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر منیزیم بین فصول بهار و تابستان تفاوت معنی‌دار وجود دارد ($P<0/05$)، به طوری که میانگین غلظت این عنصر در فصل بهار بیش از فصل تابستان می‌باشد.

نتایج محاسبه ضریب همبستگی پیرسون (R) به منظور بررسی همبستگی بین pH با میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر سرب، کادمیوم، مس و منیزیم به ترتیب با ضریب همبستگی برابر با ۰/۰۶، ۰/۳۵۳، ۰/۰۹۳ و ۰/۰۴۹ و بین دما با میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر سرب، کادمیوم، مس و منیزیم به ترتیب با ضریب همبستگی برابر با ۰/۱۱، ۰/۲۲۴، ۰/۱۸ و ۰/۰۸۲ بیانگر عدم وجود همبستگی بین pH و دما با میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در نمونه‌ها می‌باشد.

بحث:

غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی به عوامل متعددی وابسته است که از جمله می‌توان به نوع، میزان و

زمان کود دهی یا آفت‌کش‌های مورد استفاده، شرایط اقلیمی منطقه، زمان برداشت نمونه، سطح سفره‌های آب زیرزمینی و زمین‌شناسی منطقه اشاره نمود. همچنین غلظت فلزات سنگین در طول زمان تغییر می‌کند و چاه-های موجود در یک محل می‌تواند به‌طور گسترده دارای غلظت‌های متفاوتی از فلزات باشند. در واقع غلظت فلزات سنگین در چاه‌ها، مرتبط با محل و عمق چاه‌ها بوده و در چاه‌های کم‌عمق‌تر در نواحی مشخص زمین‌شناسی غلظت فلزات بالاتر می‌باشد (۷،۲۸).

عنصر سرب در یک توده گرانیتی که دارای کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم به عنوان کانی حامل سرب، بیوتیت، ماگنتیت، زیرکن به عنوان کانی تمرکز دهنده سرب و اسفن، همچنین مس در یک سنگ نفوذی گرانیتی یا گرانودیوریتی دارای کانی‌های ارتوز، بیوتیت، کوارتز و آمفیبول است و همچنین می‌تواند در کانی‌های بیوتیت، آمفیبول جانشین شود و یا به صورت رگه‌های سولفیدی یافت شود. همچنین سنگ های آهک رسی حاوی عناصر مس و سرب بوده و کانی آهک رس حاوی عناصر کادمیوم، مس، روی و کروم بوده و همچنین با وجود ماسه سنگ در منطقه و آب شویی آن میزان عنصر منیزیم در آب و خاک افزایش می‌یابد و ممکن است در اثر انحلال در آب زیرزمینی سبب افزایش غلظت عناصر گردد (۱۲). لذا با توجه به ساختار زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که عمدتاً از سنگ تراس، سنگ آهک، آهک رس و توف و سنگ‌های دگرگونی می‌باشند (۲۹)، به نظر می‌رسد یکی از عوامل بالا بودن میانگین غلظت عنصر منیزیم نمونه‌ها نسبت به سایر عناصر مورد مطالعه، ساختار زمین-شناسی منطقه باشد. با این وجود نمی‌توان در مورد نقش ساختار زمین‌شناسی دشت، در ایجاد آلودگی و راهیابی عناصر مورد مطالعه به منابع آب زیرزمینی با قاطعیت نظر داد.

نتایج بررسی میانگین غلظت قرائت شده عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت رزن در فصول بهار و تابستان سال ۱۳۹۱ بر حسب ppb و مطابقت آن با نتایج پهنه‌بندی میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر بیانگر آن بود که بیشینه میانگین غلظت عنصر سرب با ۱/۰۷±۹/۵۵ و ۱/۱۱±۷/۷۳ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۸ و ۱۰، بیشینه میانگین غلظت عنصر کادمیوم با ۰/۰۹±۰/۶۰ و ۰/۱۱±۰/۸۵ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۹ و ۱۵، بیشینه میانگین غلظت عنصر مس با ۱/۱۱±۹۰/۰ و ۵/۰۱±۹۴/۰ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱ و ۹ و بیشینه میانگین غلظت عنصر منیزیم با ۳۲۱/۱۸±۶۵۵۶ و ۳۲۹/۰۸±۸۰۱۳ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱۹ و ۱۸ می‌باشد. بدین ترتیب که افزایش تقریبی میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی با شیب ملایم از شمال به جنوب دشت و تعلق دامنه غلظت‌های بیشینه اکثر عناصر به صورت لکه‌ای به بخش‌های مرکز، جنوب، غرب و جنوب غرب دشت رزن را می‌توان به شیب عمومی دشت (شمال به جنوب) (۵) نسبت داد.

نتایج گروه‌بندی آماری میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر مورد ارزیابی بین ایستگاه‌ها در فصول بهار و زمستان ۱۳۹۱ بیانگر آن است که بین اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری از نظر میانگین غلظت عناصر سرب، کادمیوم و مس اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد. در صورتی که از نظر میانگین غلظت تجمع یافته عنصر منیزیم بین تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P<۰/۰۵$).

نتایج پردازش آماری بیانگر آن بود که میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر مورد بررسی در منابع آب زیرزمینی دشت رزن در فصول مختلف نمونه‌برداری کمتر از رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای مصارف کشاورزی می باشد. همچنین نتایج مقایسه آماری فصول بهار و تابستان ۱۳۹۱ از نظر میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌ها بیانگر آن بود که بین فصول بهار و تابستان از نظر میانگین غلظت عناصر سرب، کادمیوم و مس تجمع‌یافته در نمونه‌ها تفاوت معنی‌دار وجود نداشته ولی از نظر میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر منیزیم بین فصول بهار و تابستان تفاوت معنی‌دار وجود دارد ($P<۰/۰۵$)، به طوری که میانگین غلظت این عنصر در فصل بهار بیش از تابستان می‌باشد. تنها دلیل آن را شاید بتوان به استفاده بیش از حد از نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه کود میکروکلات حاوی عنصر منیزیم در فصل زراعت نسبت داد (۲۲).

نتایج محاسبه ضریب همبستگی پیرسون، بیانگر آن است که همبستگی قابل ملاحظه‌ای بین pH با میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر سرب، کادمیوم، مس و منیزیم به ترتیب با ضریب همبستگی برابر با ۰/۰۶، ۰/۳۵۳، ۰/۰۹۳ و ۰/۰۴۹ و بین دما با میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر

سرب، کادمیوم، مس و منیزیم به ترتیب با ضریب همبستگی برابر با ۰/۱۱، ۰/۲۲۴، ۰/۱۸ و ۰/۰۸۲ وجود ندارد. بنابراین، می‌توان چنین استنباط کرد که احتمالاً تغییرات دما یا pH تاثیر چندانی در میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر مورد مطالعه در منابع آب زیرزمینی دشت رزن نداشته اند.

در مطالعه رجایی و همکاران مشخص شد که میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر سرب و کادمیوم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت علی آباد کتول طی فصول پاییز ۱۳۸۸ و بهار ۱۳۸۹ با رهنمود WHO اختلاف معنی‌دار نداشته است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی نشان می‌دهد (۷) نتایج مطالعات دیگری در زمینه بررسی غلظت عناصر در منابع آب زیرزمینی استان‌های اردبیل، اصفهان، تبریز، خراسان رضوی، زنجان، گیلان، همدان، یزد، نشان داد که میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در نمونه‌ها کم‌تر از رهنمودهای WHO و ملی می‌باشد که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی نشان می‌دهد (۳۴-۳۰، ۱۲-۲،۵،۱۰). همچنین می‌توان به تشابه نتایج مطالعه حاضر با دستاورد پژوهش کوثر و احمد که نسبت به بررسی آلودگی فلزات سنگین در منابع آب اسلام آباد پاکستان اقدام کرده و نتیجه گرفتند که میانگین غلظت تجمع‌یافته اکثر عناصر کم‌تر از حد استاندارد می‌باشد (۳۵) اشاره کرد. در مطالعه عبدی و همچنین محمدیان و همکاران مشخص شد که کارخانه سرب و روی زنجان بر آلایندگی منابع آب زیرزمینی اطراف آن تاثیر دارد. به‌طوری که میانگین غلظت عناصر سرب و روی در بیشتر نمونه‌های مورد آزمایش بیش‌تر از رهنمود WHO بوده و برای مصرف انسان، آبزیان و سایر جانداران مضر و دارای عوارض نامطلوب می باشد (۳۶،۳۷) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی نشان نمی‌دهد. همچنین می‌توان به عدم همخوانی نتایج مطالعه حاضر با دستاورد پژوهش بهاسکر و همکاران که با ارزیابی آلودگی آرسنیک در منابع آب زیرزمینی در غرب بنگال، هند و بنگلادش نتیجه گرفتند که میانگین غلظت آرسنیک در ۵۰٪ نمونه‌های بنگال، بیش‌تر از رهنمود WHO می‌باشد (۳۸)، اشاره کرد.

نتیجه نهایی:

نتایج این مطالعه نشان‌داد که گرچه در حال حاضر به‌دلیل عدم استقرار صنایع آلاینده در دشت رزن، منابع آب زیرزمینی این منطقه در معرض آلودگی به فلزات سنگین نیست اما با توجه به ساختار زمین‌شناسی منطقه و کشت محصولات متنوع زراعی در این دشت که با استفاده غیرمدیریت 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 وجود دارد.

همچنین نتایج مطالعه حاضر لزوم انجام پایش‌های دوره‌ای آلاینده‌ها اعم از فلزات سنگین، سموم شیمیایی و ... در منابع آب زیرزمینی را به‌ویژه در مناطق پیرامون مجتمع های صنعتی و اراضی کشاورزی را مشخص می‌کند. همچنین اندیشیدن تمهیداتی در مورد کنترل ورود آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی از جمله آموزش زارعین در خصوص استفاده اصولی از نهاده‌های کشاورزی، اجبار صنایع به رعایت استانداردهای آب پذیرنده در تصفیه فاضلاب خروجی و ... ضروری به نظر می رسد.

سپاسگزاری:

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان می‌باشد و نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه که در انجام این مطالعه ما را یاری کردند، تشکر و قدردانی نمایند.

منابع:

1. Kardovani P. [Resources and water issues in Iran: Surface water and groundwater and exploitation issues of these resources]. Tehran, University of Tehran Press, 2012:420. (Persian)
2. Razban SS. [Evaluation of As, Zn, Pb and Cu concentrations in ground water resources of Qahavand Plain and preparing the zoning map using GIS]. M.Sc. Thesis, Hamadan branch, Islamic Azad University, 2013: 91. (Persian)
3. Malik N, Biswas AK, Qureshi TA, Borana K, Virha R. Bioaccumulation of heavy metals in fish tissues of a freshwater lake of Bhopal. Environ Monit Assess 2010; 160(1-4): 267-76.
4. Shariati F, Esmaili Sari A, Mashinchian Moradi A, Pourkazemi M. Metal bioaccumulation in Persian sturgeon after sublethal exposure. Int J Marine Sci Eng 2012; 2(1): 81-90.
5. Sobhanardakani S, Jamali M, Maanijou M. [Evaluation of As, Zn, Cr and Mn concentrations in groundwater resources of Razan Plain and preparing the zoning map using GIS]. J Environ Sci Tech 2014; 16(2): 25-38. (Persian)
6. Mohammadi AA, Mahvi AH, Amouei AI, Fallah

SH, Asgharnia HA, Khafajeh AA. [Physical and chemical quality assessment of potable groundwater in rural areas of Khaf]. Tolooe Behdasht 2014; 41: 134-43. (Persian)
7. Rajaei Q, Pourkhabbaz AR, Hesari Motlagh S. [Assessment of heavy metals health risk of groundwater in Ali Abad Katoul Plain]. J North Khorasan Univ Med Sci 2012; 4(2): 155-62. (Persian)
8. Dabiri M. [Environmental Pollution (Air, Water, Soil, Noise)]. Tehran: Etehad, 2013: 400. (Persian)
9. 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): 334-43.
10. Sobhanardakani S, Talebiani S, Maanijou M. [Evaluation of As, Zn, Pb and Cu concentrations in ground water resources of Toyserkan Plain and preparing the zoning map using GIS]. J Mazandaran Univ Med Sci 2014; 24(114): 120-29. (Persian)
11. Rahnama S, Khaledian MR, Shahnazari A, Forghani A. [Spatial distribution of heavy metals pollution in groundwater of central Guilan]. The 2nd iranian national conference on applied research in water resources, Zanjan, Iran, 2011: 8. (Persian)
12. Alighadr M, Hazrati S, Ghanbari M. [Measuring of heavy metal concentrations in drinking water resources of Ardabil City in 2005-2006]. 10th the national conference on environmental health, school of public health, Hamadan university of medical sciences, 2007: 4. (Persian)
13. Aghazadeh N, Mogaddam AA. Investigation of hydrochemical characteristics of groundwater in the Harzandat aquifer, Northwest of Iran. Environ Monit Assess 2011; 176: 183-95.
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: 6173-85.
15. Umar R, Alam F. Assessment of hydrogeochemical characteristics of groundwater in parts of Hindon–Yamuna interfluves region, Baghpat District, Western Uttar Pradesh. Environ Monit Assess 2012; 184: 2321-36.
16. Olías 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: 3629-41.
17. 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: 3887-99.
18. 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: 4067-77.
19. 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: 5189-5214.
20. 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: 6229-37.
21. 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: 345-51.
22. Hamadan Province Organization of Agriculture Jihad. [Statistical report of use of agricultural inputs in farms of Hamadan Province]. Ann Stat Rep 2012; pp. 28. (Persian)
23. Mohammadi H, Yazdanbakhsh A, Sheykh Mohammadi A, Bonyadinejad G, Alinejad A, et al. [Investigation of nitrite and nitrate in drinking water of regions under surveillance of Shahid Beheshti university of medical sciences in Tehran Province, Iran]. Health Sys Res 2011; 7(6): 782-9. (Persian)
24. 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): 233-41.
25. Eaton AD, Clesceri LS, Rice EW. Standard methods for the examination of Water and Wastewater. 21st ed. Washington, DC : American Public Health Association, 2005.
26. Tayebi L, Sobhanardakani S. [Monitoring of water quality parameters of Gamasiab River and affecting factors on these parameters]. J Environ Sci Tech 2012; 53: 37-48. (Persian)
27. Muthulakshmi L, Ramu A, Kannan N. Seasonal distribution of some heavy metal concentrations in ground water of Virudhunagar district, Tamilnadu, South India. Elec J Environ Agric Food Chem 2012; 11(2): 32-7.
28. Geen V, Zheng Y, Versteeg R. Spatial variability of arsenic in 6000 tube wells in a 25 km^2 area in Bangeladesh, Water Resour Res 2003; 39(5): 1140-56.
29. Daneshi N. [Rapid sand filtration in reducing the effects of heavy metals (Cu, Pb and Zn) in the non-potable water]. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina university, 2005:97. (Persian)

30. Sharafi H, Yaghoubpour A, Ghafoori MR. [Evaluation of environmental pollution of toxic heavy metals in ground water of Zanjan Plain]. 15th symposium of geological society of Iran. Tarbiat Moallem university, Tehran, Iran. 2011; 8 p. (Persian)
31. Khashefi Ghasem Abadi A, Dehghani M, Fahimi FG. [Evaluation of heavy metals concentration in groundwater of Chadermalo Region and presentation of environmental management plan]. 5th conference of environmental engineering, university of Tehran, Tehran, Iran. 2011: 8. (Persian)
32. Abedini, A, Khodaparast SH, Babaei H, Abedini H. [Determination of heavy metal concentrations of groundwater resources of Bardaskan Township (Khorasan Province)]. 4th Iranian conference of engineering geology and the environment, Tarbiat Modares university, Tehran, Iran. 2005: 7. (Persian)
33. Abedi-Koupai J, Bagheri MR. [Environmental effects of irrigation with treated wastewater on groundwater resources]. Conference on environmental effects of agricultural effluents on surface and groundwater resources, ministry of energy of IR. Iran, Tehran, 2001: 10. (Persian)
34. Haji Zadeh Y. [Determination of heavy metals pollution in Tabriz groundwater resources]. M.Sc. Thesis on Environmental Health, Tehran University of Medical Sciences, 1998: 113. (Persian)
35. Kausar R, Ahmad Z. Determination of toxic inorganic elements pollution in ground waters of Kahuta Industrial Triangle Islamabad, Pakistan using inductively copled plasma mass spectrometry. Environ Monit Assess 2009; 157(1-4): 347-54.
36. Abdi P. [Investigation of environmental pollution of Zanjan lead and zinc factory (Case study: Groundwater resources)]. 1st national conference of exploitation of water and wastewater, ministry of energy of IR. Iran, Tehran, 2006: 9. (Persian)
37. Mohamadian M, Noori J, Afshari N, Nasiri J, Noorani M. [The survey of heavy metals concentration in water wells in neighbor of Zanjan plump and zinc factory]. J Health Environ 2008; 1(1): 51-6. (Persian)
38. Bhaskar D, Mohammad MR, Bishwajit N, Arup P, Uttam Kumar C, Subhas CM. Groundwater arsenic contamination, its health effects and approach for mitigation in west Bengal, India and Bangladesh. Water Qual Expo Health 2009; 1(1): 5-21.

Original Article

Investigation of Pb, Cd, Cu and Mg Concentrations in Groundwater Resources of Razan Plain

S. Sobhan Ardakani, Ph.D.[*]; M. Maanijou, Ph.D.[**]; H. Asadi, M.Sc.[***]

Received: 8.6.2014 Accepted: 9.9.2014

Abstract

Introduction & Objective: Iran is located in the dry and semi dry regions, thus almost 90% of the required fresh water is exploited from groundwater resources. Due to the increasing pollution of water resources, the purpose of this study was evaluation of Pb, Cd, Cu and Mg concentrations in groundwater resources of Razan Plain and preparing the zoning map using GIS.

Materials & Methods: Groundwater samples were collected from 20 selected stations during two seasons in 2012. The samples were filtered (0.45 μm) and maintained cool in polyethylene bottles. The samples were taken for the analysis of cations, the former was acidified with HNO_3 to pH lower than 2. Minor elements were determined using ICP-OES. All statistical analyses were performed using the SPSS statistical package. Also, Kriging Method was used to prepare spatial distribution maps of elements in groundwater samples.

Results: The results showed that the mean concentrations of Pb, Cd, Cu and Mg in the groundwater samples during the spring were 5.60±0.66, 0.21±0.04, 32.10±2.21 and 6990.0±302.10 ppb, respectively, and the mean concentrations of these elements in the groundwater samples in the summer were 4.86±0.46, 0.30±0.08, 25.55±3.63 and 3654.05±215.65 ppb, respectively. Comparing the mean concentrations of the evaluated metals with WHO permissible limits showed a significant difference ($p<0.05$). Thus, the mean concentrations of the metals were significantly lower than the permissible limits.

Conclusion: Although the groundwater resources of Razan Plain are not currently polluted with heavy metals, long-term excessive use of agricultural inputs and establishment of polluting industries, can pose a threat to groundwater resources of this area.

(Sci J Hamadan Univ Med Sci 2015; 21 (4):319-329)

Keywords: Environmental Health / Metals, Heavy / Water Pollution

---

* Assistant Professor, Department of Environment, School of Basic Sciences
Islamic Azad University Hamadan Branch, Hamadan, Iran. (s_sobhan@iauh.ac.ir)
** Associate Professor, Department of Geology, School of Basic Sciences
Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
***. M.Sc. in Environment Sciences, Islamic Azad University Hamadan Branch, Hamadan, Iran.