

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی دشت همدان- بهار در سال ۱۳۹۷

آزاده قبادی^۱، مهرداد چراغی^{۱*}، سهیل سبحان اردکانی^۱، بهاره لرستانی^۱ و هاجر مریخ پور^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۸)

چکیده

توجه به ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی به عنوان مهم ترین منبع تأمین آب شرب و کشاورزی از اهمیت بسزایی برخوردار است. از این رو، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی کیفی فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی دشت همدان- بهار انجام یافت. بدین منظور، ۱۲۰ نمونه آب زیرزمینی از ۲۰ ایستگاه در فصول بهار و تابستان سال ۱۳۹۷ به روش مرکب برداشت و مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه ها طبق روش استاندارد و محتوی عناصر در نمونه ها هم به روش طیف سنجی پلاسمای جفت شده القایی (ICP) خوانده شد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب و روی (میکروگرم در لیتر) در نمونه های فصل بهار به ترتیب برابر با ۵/۰۸، ۰/۲۶۰، ۱/۰۵، ۲/۷۰، ۱/۵۰، ۰/۴۹۰، ۱/۵۰، ۷/۴۸ و ۱/۷۵ و در فصل تابستان نیز به ترتیب برابر با ۲۰/۷، ۰/۲۲۰، ۰/۹۵۰، ۷/۱۲، ۱/۳۴، ۰/۴۹۰، ۱/۲۹، ۸/۲۳ و ۲/۰۸ و به جز در مورد عنصر آرسنیک در نمونه های فصل تابستان، میانگین غلظت همه عناصر در نمونه های هر دو فصل کوچک تر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای آشامیدن بود. از طرفی میانگین شاخص آلودگی، شاخص آلودگی فلزات سنگین، شاخص ارزیابی فلزات سنگین، شاخص فلزات سنگین و شاخص کیفی در فصل بهار با ۷/۵۱-، ۹/۹۱، ۱/۴۲، ۱/۴۲ و ۳۲۸ به ترتیب بیانگر سطح کیفی آلودگی کم، اندک، کم، تحت تأثیر اندک و آلودگی متوسط و در فصل تابستان نیز با ۵/۹۰-، ۱۰، ۳/۰۴، ۳/۰۴ و ۶۷۳ به ترتیب بیانگر سطح کیفی آلودگی کم، اندک، کم، تحت تأثیر متوسط و آلودگی زیاد بود. با توجه به توان کشت دو بار در سال در منطقه مورد مطالعه و استفاده بی رویه از انواع کودها و آفت کش های شیمیایی، امکان آلوده شدن منابع آب زیرزمینی این منطقه به فلزات سنگین در طولانی مدت دور از انتظار نیست. از این رو، نسبت به پایش دوره ای و منظم منابع آب زیرزمینی دشت همدان-بهار از نظر غلظت فلزات سنگین توصیه می شود.

واژه های کلیدی: آب زیرزمینی، پایش، دشت همدان- بهار، شاخص های کیفی، فلزات سنگین

۱- گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

۲- گروه فضای سبز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه سیدجمال الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: cheraghi@iauh.ac.ir

مقدمه

آب مایه حیات و از مهم‌ترین منابع طبیعی در جهان است که از دیرباز برای بشر از اهمیت خاصی برخوردار بوده و زندگی همه موجودات زنده اعم از گیاه، حیوان و انسان به آن وابسته است. امروزه، با توجه به کاهش و کمبود نزولات جوی و به دنبال آن کمبود منابع آب سطحی قابل شرب و در دسترس، استحصال از منابع آب زیرزمینی بدون توجه به محدودیت‌ها یا نیاز به باز چرخش آن مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، منابع آب زیرزمینی بعنوان مهم‌ترین منابع تأمین آب شرب و کشاورزی، منبع اصلی تأمین آب شرب بیش از ۱/۵ میلیارد نفر در سرتاسر جهان محسوب می‌شوند (۱، ۲۶ و ۲۸). این درحالی است که، افزایش نیاز به آب در بخش‌های مختلف و در نتیجه آن برداشت بیش‌تر از ظرفیت آبخوان‌ها منجر به تخریب منابع آب زیرزمینی و افت قابل توجه آنها شده است. همچنین، نفوذ انواع آلاینده به سفره‌های زیرزمینی در نتیجه توسعه شهری، صنعتی و کشاورزی، منجر به افت کیفی این منابع شده است (۷). از طرفی، فلزات سنگین از آلاینده‌های مهم محیط‌زیست بشمار می‌روند که اغلب از فعالیت‌های صنعتی، معدنی و کشاورزی حاصل می‌شوند. اساسی‌ترین مسئله در ارتباط با فلزات سنگین عدم متابولیسم شدن آنها در بدن، قابلیت تجمع‌پذیری و داشتن اثرات فیزیولوژیکی در غلظت‌های پائین بر فعالیت جانداران است (۶، ۱۴ و ۲۴). کیفیت آب یا از طریق عوامل طبیعی یا بوسیله عوامل غیرطبیعی (انسان‌ساخت) تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱۰). در همین خصوص، به منظور ارزیابی کیفی آب زیرزمینی، چندین شاخص معرفی شده است که از جمله می‌توان به شاخص آلودگی (Contamination Index: Ca)، شاخص آلودگی فلزات سنگین (Heavy Metal Pollution Index: HPI)، شاخص ارزیابی فلزات سنگین (Heavy Metal Evaluation Index: HEI)، شاخص فلزات سنگین (Metal Index: MI) و شاخص کیفی (Poseidon: PoS) اشاره کرد (۳۱). از طرفی، در خصوص مطالعه‌های ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی در ایران و سایر کشورها می‌توان به

پژوهش‌های زیر اشاره کرد: پژوهشی که با هدف ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی اطراف یک منطقه معدنی در هندوستان با استفاده شاخص HPI انجام شد و نتایج آن نشان داد که میانگین مقادیر شاخص در فصول تابستان و زمستان از محدوده خطر کم‌تر بوده است (۲۰). پژوهشی دیگر با هدف ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی شهر مدیاس رومانی انجام یافت و نتایج آن نشان داد که میانگین مقادیر شاخص‌های Cd و HPI بسیار کمتر از آستانه خطر و میانگین غلظت شاخص HEI در محدوده اثرات متوسط بهداشتی بوده است (۱۳). همچنین، پژوهشی با هدف ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی آبخوان ورامین از نظر قابلیت آشامیدن با استفاده از شاخص‌های HEI و HPI انجام یافت و نتایج آن نشان داد که آلودگی آبخوان به فلزات سنگین در بیش‌تر بخش‌ها خطرناک نبوده است (۱۸). از سوی دیگر، پژوهشی با هدف ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن همدان با استفاده از شاخص‌های MI و PoS انجام یافت و مشخص شد که میانگین مقادیر عناصر روی، سرب، کادمیم و سرب در منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی کوچک‌تر از حد استاندارد WHO و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای مصارف آشامیدن و کشاورزی بوده است و بر اساس مقادیر شاخص‌ها کیفیت منابع آب منطقه مورد بررسی برای مصرف با مشکل مواجه نبوده است (۳۳). همچنین، پژوهشی که در آن نسبت به ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان با استفاده از شاخص‌های کیفی آلودگی اقدام و مشخص شد که میانگین مقادیر شاخص‌های Cd، HPI و HEI در طول دوره نمونه‌برداری پائین‌تر از سطح مجاز آلودگی بوده است (۳۱)

حوضه آبخیز همدان- بهار از حوزه‌های آبریز مهم کشور است که با وجود خشک‌سالی‌های اخیر بسیار آسیب‌پذیر بوده و حفظ آن از نظر کمی و کیفی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. در این حوضه، آب زیرزمینی نقش مهمی را در تأمین آب کشاورزی، صنعتی و شرب ایفا می‌کند. بطوری‌که بهره‌برداری‌های بیش از حد باعث افت سطح ایستابی بخصوص در نواحی مرکزی این حوضه آبخیز شده است. از سوی دیگر،

شرب و کشاورزی و ثبت مختصات جغرافیایی آنها بوسیله دستگاه GPS اقدام شد (جدول ۱). همچنین، نقشه موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ آورده شده است.

نمونه‌برداری، آماده‌سازی نمونه‌ها و تعیین مقادیر پارامترهای کیفی
در این پژوهش توصیفی-مقطعی، از چاه‌های منتخب منطقه مورد مطالعه تعداد ۶۰ نمونه در اواسط فصل بهار و تعداد ۶۰ نمونه در اواسط فصل تابستان سال ۱۳۹۷ (در مجموع ۱۲۰ نمونه) به روش مرکب و با استفاده از ظروف پلی‌اتیلنی که از قبل بوسیله اسید نیتریک شستشو داده شده بودند، برداشت شد. بدین منظور، ابتدا ظروف را سه مرحله با آب چاه شستشو داده و از هر ایستگاه حدود ۲۵۰ میلی‌لیتر نمونه آب برداشت شد. مقادیر دما، pH و EC نمونه‌ها نیز در محل (In Situ) توسط دستگاه قابل حمل کالیبره Multi-Parameter مدل HQ30D قرائت شد. سپس، به منظور تعیین مقادیر پارامترهای کیفی، نمونه‌ها در اسرع وقت بوسیله یخدان به آزمایشگاه منتقل شدند (۲۵ و ۳۴). در آزمایشگاه مقادیر کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون توسط اتیلن‌دی‌آمین‌تترااستیک‌اسید (EDTA) ۰/۰۱ مولار (۷) و مقدار سدیم و پتاسیم نیز با دستگاه فلیم‌فتومتر PFP7، طبق روش استاندارد تعیین شد (۱۲). از طرفی، مقادیر کلر نیز به روش موهر (آرژانتومتری) تعیین و اندازه‌گیری مقادیر نترات، فسفات و سولفات هم به روش اسپکتروفتومتری با استفاده از طیف‌سنج Jenway مدل ۶۳۱۰ انجام شد (۹). در نهایت، به منظور قرائت محتوی عناصر، به نمونه‌های آبی که از قبل به منظور تثبیت و جلوگیری از رسوب‌گذاری عناصر در آنها، به‌ازای هر ۲۵ میلی‌لیتر، یک میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آنها افزوده شده بود، بمدت ۱۰ دقیقه روی هیتر در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در زیر هود قرار داده شدند. پس از آن، نمونه‌ها بمدت ۱۰ دقیقه در شیکر با سرعت ملایم ۸۵ دور در دقیقه قرار داده شده و محلول توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف شد. در نهایت، پس از ساخت محلول مادر (استوک) و استاندارد نمک عناصر و کالیبره کردن دستگاه نشر اتمی Varian

با توجه به توسعه کاربری‌های کشاورزی و صنعتی، استفاده بیش از حد سموم و کودهای شیمیایی توسط کشاورزان و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، حفر و بهره‌برداری از چاه‌های غیرمجاز احتمال افت کیفی آب و افزایش غلظت فلزات سنگین در این منابع را افزایش داده است. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی کیفی فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی دشت همدان- بهار در سال ۱۳۹۷ انجام شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

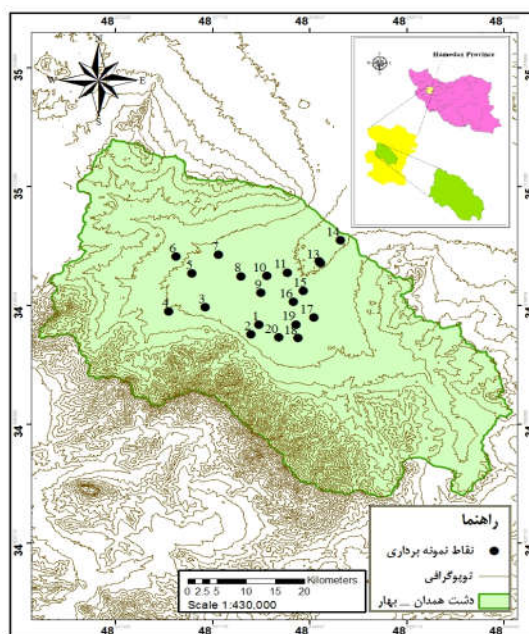
دشت همدان- بهار با وسعت ۲۴۵۹ کیلومتر مربع بین طول شرقی ۱۷' ۴۸° تا ۳۳' ۴۸° و عرض شمالی ۴۹' ۳۴° تا ۰۲' ۳۵° در دامنه شمالی ارتفاعات الوند واقع شده است. وسعت دشت ۸۸۰ کیلومتر مربع و گسترش آبخوان اصلی آن ۴۶۸ کیلومتر مربع است. حوضه از معبر باریکی در ناحیه شمالی با دشت‌های کبودرآهنگ و قهاوند ارتباط هیدروژئولوژیک دارد. وضعیت منابع آب دشت به مقدار زیادی به ریزش‌های برفی- بارانی و آبراهه‌های انشعاب یافته از دامنه الوند کوه وابسته است. نبود منابع آب سطحی کافی، کمبود بارندگی و عدم تناسب زمانی بارش‌ها موجب فشار بیش از حد بر منابع آب زیرزمینی برای تأمین حدود ۸۰٪ آب کشاورزی و ۵۰٪ آب شرب شهری و به تبع آن بیلان منفی آبخوان فوق شده است. از طرف دیگر، استفاده بی‌رویه و نامناسب از کودهای شیمیایی برای افزایش تولید محصولات کشاورزی نیز عاملی برای تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی این منطقه محسوب می‌شود (۷ و ۱۹).

انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری

در این مطالعه توصیفی-مقطعی، پس از انجام مطالعات اولیه کتابخانه‌ای و میدانی و با در نظر گرفتن پراکندگی یکنواخت ایستگاه‌ها در سطح منطقه مورد بررسی و همچنین محدودیت زمانی و اعتباری، نسبت به انتخاب ۲۰ حلقه چاه با کاربری

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه	محل نمونه‌برداری	طول جغرافیایی شرقی	عرض جغرافیایی شمالی
۱	یکن‌آباد	۲۶۷۷۲۶	۳۸۶۲۳۵۸
۲	مهدی‌آباد	۲۶۶۵۷۵	۳۸۶۰۶۰۱
۳	کشتارگاه (پلیس راه)	۲۶۰۲۴۳	۳۸۶۵۸۳۶
۴	آبرومند	۲۵۵۱۰۰	۳۸۶۵۱۸۰
۵	کریم‌آباد	۲۵۸۵۷۴	۳۸۷۲۲۷۹
۶	آق کهریز	۲۵۶۳۴۴	۳۸۷۵۵۰۷
۷	هارون‌آباد	۲۶۲۳۳۵	۳۸۷۵۶۶۲
۸	حسام‌آباد	۲۶۵۴۰۰	۳۸۷۱۵۶۴
۹	گنج‌تپه	۲۶۸۲۱۳	۳۸۶۸۳۶۵
۱۰	لاله‌جین	۲۶۹۱۱۲	۳۸۷۱۵۳۹
۱۱	دهنجرده	۲۷۱۹۸۲	۳۸۷۲۰۹۳
۱۲	لتگاه	۲۷۶۵۵۸	۳۸۷۴۱۱۴
۱۳	آق بلاغ	۲۷۶۷۲۶	۳۸۷۳۸۱۰
۱۴	حسین‌آباد (کارخانه قند)	۲۷۹۶۰۳	۳۸۷۷۹۷۸
۱۵	امزاجرد	۲۷۴۱۴۷	۳۸۶۸۵۸۷
۱۶	بهرام‌آباد	۲۷۲۷۰۹	۳۸۶۶۵۷۰
۱۷	جورقان	۲۷۵۵۶۳	۳۸۶۳۵۲۹
۱۸	گراچقا	۲۷۳۱۶۶	۳۸۵۹۷۰۶
۱۹	دهپياز	۲۷۲۹۹۳	۳۸۶۲۲۷۱
۲۰	ینگچه (انصارالامام)	۲۷۰۴۵۸	۳۸۵۹۹۰۱



شکل ۱. نقشه موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری (رنگی در نسخه الکترونیکی)

فلزات سنگین را بر سلامت انسان تعیین کرد.
در روابط ۳ و ۴:

W_i بیانگر نسبت وزنی عناصر مورد ارزیابی (برابر با ۰/۰۲ برای آرسنیک، ۰/۳ برای کادمیم، ۰/۰۲ برای کروم، ۰/۰۰۱ برای مس، ۰/۰۰۵ برای آهن، ۰/۰۲ برای منگنز، ۰/۰۵ برای نیکل، ۰/۷ برای سرب و ۰/۰۰۰۲ برای روی)، Q_i نشان‌دهنده زیرشاخص عنصر مورد ارزیابی، M_i نشان‌دهنده غلظت قرائت شده عنصر مورد ارزیابی برحسب میکروگرم در لیتر، I_i بیانگر غلظت ایده‌آل عنصر مورد ارزیابی برحسب میکروگرم در لیتر (برای عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب و روی به ترتیب برابر با ۱۰، ۳، ۵۰، ۲۰۰۰، ۲۰، ۵۰۰، ۲۰، ۱۰ و ۳۰۰۰) و S_i نشان‌دهنده رهنمود سازمان بهداشت جهانی برای عناصر مورد ارزیابی بر حسب میکروگرم در لیتر است (۱۷). شایان ذکر است که مقادیر $HPI > 100$ ، بیانگر آلودگی بالای آب به فلزات سنگین، مقادیر $HPI = 100$ بیانگر آستانه مخاطره آلودگی به فلزات سنگین و مقادیر $HPI < 100$ نیز بیانگر آلودگی اندک آب به فلزات سنگین است (۲۳ و ۳۸).

$$HEI = \sum_{i=1}^n \frac{Hc}{H_{mac}} \quad (5)$$

با محاسبه شاخص HEI نیز می‌توان نسبت به رتبه‌بندی کلی کیفیت آب براساس آلودگی فلزات سنگین و درک بهتر از شرایط کیفی آب اقدام کرد.
در رابطه ۵:

Hc نشان‌دهنده غلظت قرائت شده عنصر مورد ارزیابی و H_{mac} نیز بیانگر حداکثر غلظت مجاز هر عنصر مورد ارزیابی هر دو بر حسب میکروگرم در لیتر است (۳۴). مقادیر شاخص $HEI < 400$ نشان‌دهنده آلودگی کم آب به فلزات سنگین، $400 < HEI < 800$ بیانگر آلودگی متوسط آب به فلزات سنگین و $HEI > 800$ بیانگر آلودگی زیاد آب به فلزات سنگین است (۲ و ۳۸).

$$PoS = \sum_{j=1}^M Q_{fj} \quad (6)$$

مدل 710-ES، محتوی فلزات سنگین در نمونه‌ها در سه تکرار خوانده شد (۲۸ و ۳۸).

محاسبه مقادیر شاخص‌های کیفی آب

برای محاسبه شاخص آلودگی از روابط ۱ و ۲، شاخص آلودگی فلزات سنگین از روابط ۳ و ۴، شاخص ارزیابی فلزات سنگین از رابطه ۵ (۳)، شاخص کیفی از روابط ۶ و ۷ و شاخص فلزات از رابطه ۸ استفاده شد (۳۳ و ۳۶).

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_{fi} \quad (1)$$

$$C_{fi} = \frac{CA_i}{CNI} - 1 \quad (2)$$

شاخص C_d به منظور تعیین اثرات ترکیبی تعدادی از پارامترهای کیفی که می‌تواند اثرات نامطلوب بر کیفیت آب شرب داشته باشد، محاسبه می‌شود (۲۱).

در روابط ۱ و ۲:

C_{if} بیانگر عامل آلودگی هر عنصر، CA_i نشان‌دهنده غلظت قرائت شده عنصر مورد ارزیابی برحسب میکروگرم در لیتر و CNI نیز بیانگر بالاترین حد غلظت مجاز هر عنصر مورد ارزیابی برحسب میکروگرم در لیتر (برابر با ۱۰ برای آرسنیک، ۳ برای کادمیم، ۵۰ برای کروم، ۲۰۰۰ برای مس، ۳۰۰ برای آهن، ۴۰۰ برای منگنز، ۲۰ برای نیکل، ۱۰ برای سرب و ۵۰۰۰ برای روی است (۷ و ۱۷)). لازم به ذکر است که مقادیر شاخص $C_d < 1$ بیانگر آلودگی کم، $1 < C_d < 3$ بیانگر آلودگی متوسط و $C_d > 3$ نشان‌دهنده آلودگی زیاد است (۲۹ و ۳۸).

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (3)$$

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{[Mi(-)Ii]}{(Si - Ii)} \quad (4)$$

شاخص HPI یک روش برای رتبه‌بندی کیفیت آب بر اساس فلزات سنگین است. با استفاده از این شاخص می‌توان اثر

جدول ۲. مقادیر پاراسترهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی در فصل بهار به تفکیک ایستگاه‌های نمونه‌برداری

پاراستر ایستگاه	Zn	Pb	Ni	Mn	Fe	Cu	Cr	Cd	As	NO ₃	PO ₄	Cl	SO ₄	K	Na	Ca	Mg	EC	pH	T
۱	۱/۸۴	۷/۶۵	۲/۱۰	۱/۰۸	۲/۰۷	۱/۸۴	۱/۸۴	۰/۸۳	۱/۸۱	۲/۱۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۲/۱۰	۲/۱۰	۱/۸۴	۳/۰۸	۱/۷۶	۱۷۷۰	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۲	۲/۲۲	۷/۶۵	۲/۱۱	۰/۱۱	۲/۳۲	۱/۰۲	۱/۵۴	۰/۳۳	۱/۰۲	۳/۷۰	۰/۴۰	۰/۸۳	۴/۸۴	۲/۲۸	۲/۳۳	۴/۲۹	۲/۲۸	۹۳۳	۷/۳۰	۲۱/۳۰
۳	۵/۶۹	۵/۱۲	۱/۸۷	۰/۸۰	۳/۸۳	۳/۸۳	۱/۲۷	۰/۸۳	۵/۰۶	۲/۳۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۳/۸۳	۸/۳۱	۳/۸۳	۴/۲۹	۲/۲۸	۹۳۳	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۴	۲/۱۴	۵/۱۲	۱/۸۷	۰/۸۰	۳/۸۳	۳/۸۳	۱/۲۷	۰/۸۳	۵/۰۶	۲/۳۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۳/۸۳	۸/۳۱	۳/۸۳	۴/۲۹	۲/۲۸	۹۳۳	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۵	۳/۱۲	۷/۸۸	۱/۸۷	۰/۸۰	۳/۸۳	۳/۸۳	۱/۲۷	۰/۸۳	۵/۰۶	۲/۳۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۳/۸۳	۸/۳۱	۳/۸۳	۴/۲۹	۲/۲۸	۹۳۳	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۶	۳/۵۳	۵/۱۲	۱/۸۷	۰/۸۰	۳/۸۳	۳/۸۳	۱/۲۷	۰/۸۳	۵/۰۶	۲/۳۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۳/۸۳	۸/۳۱	۳/۸۳	۴/۲۹	۲/۲۸	۹۳۳	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۷	۱/۵۵	۷/۶۵	۲/۱۰	۱/۰۸	۲/۰۷	۱/۸۴	۱/۸۴	۰/۸۳	۱/۸۱	۲/۱۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۲/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۸	۳/۰۸	۱/۷۶	۱۷۷۰	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۸	۲/۹۴	۸/۸۳	۲/۸۱	۰/۸۰	۳/۸۳	۳/۸۳	۱/۲۷	۰/۸۳	۵/۰۶	۲/۳۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۳/۸۳	۸/۳۱	۳/۸۳	۴/۲۹	۲/۲۸	۹۳۳	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۹	۱/۸۴	۷/۶۵	۲/۱۰	۱/۰۸	۲/۰۷	۱/۸۴	۱/۸۴	۰/۸۳	۱/۸۱	۲/۱۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۲/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۸	۳/۰۸	۱/۷۶	۱۷۷۰	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۱۰	۲/۱۲	۷/۶۵	۲/۱۰	۱/۰۸	۲/۰۷	۱/۸۴	۱/۸۴	۰/۸۳	۱/۸۱	۲/۱۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۲/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۸	۳/۰۸	۱/۷۶	۱۷۷۰	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۱۱	۱/۴۴	۷/۶۵	۲/۱۰	۱/۰۸	۲/۰۷	۱/۸۴	۱/۸۴	۰/۸۳	۱/۸۱	۲/۱۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۲/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۸	۳/۰۸	۱/۷۶	۱۷۷۰	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۱۲	۰/۸۳	۷/۶۵	۲/۱۰	۱/۰۸	۲/۰۷	۱/۸۴	۱/۸۴	۰/۸۳	۱/۸۱	۲/۱۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۲/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۸	۳/۰۸	۱/۷۶	۱۷۷۰	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۱۳	۰/۸۳	۷/۶۵	۲/۱۰	۱/۰۸	۲/۰۷	۱/۸۴	۱/۸۴	۰/۸۳	۱/۸۱	۲/۱۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۲/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۸	۳/۰۸	۱/۷۶	۱۷۷۰	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۱۴	۰/۸۳	۷/۶۵	۲/۱۰	۱/۰۸	۲/۰۷	۱/۸۴	۱/۸۴	۰/۸۳	۱/۸۱	۲/۱۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۲/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۸	۳/۰۸	۱/۷۶	۱۷۷۰	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۱۵	۰/۸۳	۷/۶۵	۲/۱۰	۱/۰۸	۲/۰۷	۱/۸۴	۱/۸۴	۰/۸۳	۱/۸۱	۲/۱۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۲/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۸	۳/۰۸	۱/۷۶	۱۷۷۰	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۱۶	۰/۸۳	۷/۶۵	۲/۱۰	۱/۰۸	۲/۰۷	۱/۸۴	۱/۸۴	۰/۸۳	۱/۸۱	۲/۱۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۲/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۸	۳/۰۸	۱/۷۶	۱۷۷۰	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۱۷	۰/۸۳	۷/۶۵	۲/۱۰	۱/۰۸	۲/۰۷	۱/۸۴	۱/۸۴	۰/۸۳	۱/۸۱	۲/۱۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۲/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۸	۳/۰۸	۱/۷۶	۱۷۷۰	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۱۸	۰/۸۳	۷/۶۵	۲/۱۰	۱/۰۸	۲/۰۷	۱/۸۴	۱/۸۴	۰/۸۳	۱/۸۱	۲/۱۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۲/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۸	۳/۰۸	۱/۷۶	۱۷۷۰	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۱۹	۰/۸۳	۷/۶۵	۲/۱۰	۱/۰۸	۲/۰۷	۱/۸۴	۱/۸۴	۰/۸۳	۱/۸۱	۲/۱۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۲/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۸	۳/۰۸	۱/۷۶	۱۷۷۰	۷/۸۰	۲۱/۸۳
۲۰	۰/۸۳	۷/۶۵	۲/۱۰	۱/۰۸	۲/۰۷	۱/۸۴	۱/۸۴	۰/۸۳	۱/۸۱	۲/۱۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۲/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۸	۳/۰۸	۱/۷۶	۱۷۷۰	۷/۸۰	۲۱/۸۳
واحد	μg L ⁻¹	μg L ⁻¹	μg L ⁻¹	μg L ⁻¹	μg L ⁻¹	μg L ⁻¹	μg L ⁻¹	μg L ⁻¹	μg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	μs cm ⁻¹	-	°C
میگن	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵	۷/۷۵
MPL	۵۰۰۰	۱۰	۲۰	۱۰۰	۳۰۰	۲۰۰۰	۵۰	۳	۱۰	۵۰	۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۱۲	۲۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۱۹۰۰	۸۵	۳۲

محروف غیر مشترک (h, c, b و ...) در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار (P < ۰/۰۵) بین ایستگاه‌ها از نظر میگن غلظت عناصر مورد بررسی در نمونه‌های آب زیرزمینی براساس نتایج تحلیل واریانس یکطرفه (آزمون

دانکن) است.

سنگین در خاک و به دنبال آن منابع آب زیرزمینی منجر شود. به عبارتی، بارندگی‌های که در این منطقه به وقوع می‌پیوندد، موجب انحلال عناصر موجود در سنگ‌ها و کانی‌های حوزه آبخیز و ورود آنها به منابع آب زیرزمینی از طریق فرایند روان‌شویی شود (۳۲ و ۳۵). در نتیجه، تغییر در کیفیت و آلودگی این منابع دور از انتظار نخواهد بود.

نتایج آزمون تی تک‌نمونه‌ای حاکی از آن بود که میانگین غلظت پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در نمونه‌های آب زیرزمینی حوزه آبخیز همدان- بهار در فصول بهار و تابستان با مقادیر MPL (۳۸) اختلاف معنی‌دار آماری داشته ($P < 0/05$) و بجز در مورد میانگین غلظت عنصر آرسنیک مربوط به نمونه‌های فصل تابستان، در سایر موارد کمتر از حد مجاز بوده است. از این رو، گرچه بنظر می‌رسد که استحصال منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای شرب احتمالاً مخاطره بهداشتی برای مصرف‌کننده دنبال نخواهد داشت، اما در طولانی مدت می‌تواند بواسطه تجمع عناصر سمی و به‌ویژه آرسنیک در بدن عوارض و پیامدهای جبران‌ناپذیری را برای مصرف‌کننده در پی داشته باشد. در خصوص وجود مقادیر قابل توجه آرسنیک در نمونه‌های برداشت شده فصل تابستان، لازم به ذکر است که بخش عمده منطقه مورد مطالعه به کشت گندم و سیب‌زمینی اختصاص داشته و در اراضی زیر کشت سیب‌زمینی از مقادیر متناهی کود به‌ویژه کودهای مرغی حاوی آرسنیک استفاده می‌شود. به طوری که، فروشویی کودها و آفت‌کش‌ها همراه با آبیاری اراضی کشاورزی باعث افزایش غلظت آرسنیک در منابع آب زیرزمینی در فصل تابستان شده است (۳۵). در پژوهش‌های مشابه، سبحان اردکانی (۲۹) و شفوی و سبحان اردکانی (۳۳) عدم آلودگی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن- همدان به فلزات سنگین را گزارش کردند.

تغییر در غلظت پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و به‌ویژه فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی به عوامل مختلفی از جمله نوع، میزان و زمان کوددهی یا سم‌پاشی، شرایط اقلیمی، سطح سفره‌های آب زیرزمینی و زمین‌شناسی منطقه بستگی دارد.

۹ و ۳ بوده است. همچنین نتایج مندرج در جدول ۳ بیانگر آن است که بیشینه مقادیر دما، pH و EC، منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، سولفات، کلر، فسفات، نترات، آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب و روی در نمونه‌های فصل تابستان با ۲۸/۷، ۷/۹۳، ۱۵۴۱، ۷۰/۹، ۲۰۴، ۴۹/۵، ۱۵/۱، ۱۳/۲، ۰/۲۰۰، ۰/۲۱۰، ۵۰/۱، ۲۳/۴، ۰/۳۴۰، ۱/۳۶، ۱۱/۵، ۱/۷۸، ۱/۰۰، ۳/۱۴، ۱۰/۳ و ۶/۸۵ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۴، ۱۲، ۱۹، ۱۴، ۱۶، ۳، ۱۱، ۸، ۳، ۱۷، ۱۷، ۱۳، ۴، ۲۰، ۱۸، ۱۳، ۱، ۹، ۴ و ۳ بوده است.

نتایج آزمون‌های تحلیل واریانس یک‌طرفه و دانکن حاکی از آن بود که با توجه به حروف مشترک مندرج در هر ستون به‌عنوان مثال از نظر میانگین غلظت منیزیم در نمونه‌های فصل بهار بین ایستگاه‌های ۱، ۵، ۶ و ۱۷ و در نمونه‌های فصل تابستان نیز بین ایستگاه‌های ۶ و ۱۶ اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشته است. همچنین، از نظر میانگین غلظت آرسنیک در نمونه‌های فصل بهار بین ایستگاه‌های ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ و در نمونه‌های فصل تابستان نیز بین ایستگاه‌های ۱، ۳، ۴، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۲۰ اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشته است (جدول ۲ و ۳). همین تفاسیر در مورد سایر پارامترها نیز صادق است.

بیشتر بودن میانگین مقادیر برخی پارامترهای کیفی منابع آب در فصل تابستان در مقایسه با فصل بهار را می‌توان با کاهش دبی رودخانه و همچنین افزایش میزان تبخیر آب به‌علت افزایش درجه حرارت در فصل تابستان مرتبط دانست (۲۷). در این خصوص، سبحان اردکانی و نظری (۳۰) نیز در بررسی آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین، نتایج مشابهی را در ارتباط با افزایش غلظت فلزات سنگین در فصل تابستان (کم‌بارش) نسبت به فصل زمستان (پر بارش) گزارش کردند.

همچنین، استقرار صنایع آلاینده و از طرفی کشت وسیع انواع محصولات زراعی در منطقه مورد مطالعه و به‌تبع آن استفاده بی‌رویه از آفت‌کش‌ها، کودها و سموم شیمیایی حاوی آرسنیک، مس و کروم و نظایر آن می‌تواند به تجمع فلزات

جدول ۳. مقادیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی در فصل تابستان به تفکیک ایستگاه‌های نمونه‌برداری

پارامتر ایستگاه	T	pH	EC	Mg	Ca	Na	K	SO ₄	Cl	PO ₄	NO ₃	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
۱	۲۶/۵ ^{abc}	۷/۶ ^{abc}	۶۶۰/۶۰ ^{cd}	۲۷/۹ ^{abc}	۸۶/۴۰ ^{ab}	۱۸/۹ ^{abc}	۷/۴۳ ^f	۳/۸۳ ^b	۰/۱ ^{ab}	۰/۱۱ ^{ab}	۲۹/۰ ^{abc}	۱۸/۹۲ ^{abc}	۰/۲۰ ^{abc}	۱/۰ ^{abc}	۷/۱۱ ^{abc}	۱/۳۱ ^{abc}	۱/۰ ^{abc}	۳/۲۷ ^{cd}	۸/۳۳ ^{abcd}	۲/۰ ^{def}
۲	۲۳/۵ ^{abc}	۷/۴ ^{abc}	۱۱۲۸/۰۰ ⁱ	۳۱/۹ ^{abcdef}	۹۲/۵۳ ^{ab}	۲۵/۰ ^{abcde}	۵/۸۱ ^b	۴/۹ ^{bc}	۰/۱ ^a	۰/۰۹ ^a	۴۴/۸ ^{abcdef}	۳۳/۱۷ ^{ef}	۰/۲۰ ^{abc}	۰/۹ ^{bc}	۷/۳۷ ^{bcdef}	۱/۴ ^{bcdef}	۰/۸۵ ^g	۲/۰۰ ^{bc}	۶/۳۳ ^{ab}	۲/۶۱ ^{gh}
۳	۲۴/۴ ^{abc}	۶/۹ ^a	۹۵۵/۳۳ ^g	۴۱/۵ ^{bc}	۸۰/۵۳ ^a	۴۹/۴ ^{abc}	۸/۹۱ ⁱ	۵/۲۲ ^{ef}	۰/۲۰ ^{bc}	۰/۱۷ ^{abcd}	۲۸/۷ ^{bc}	۱۸/۲۱ ^{ab}	۰/۳۱ ^{ef}	۱/۰ ^{abcd}	۷/۷۷ ^{def}	۰/۹ ^g	۰/۹۱ ^{gh}	۱/۶۸ ^{abc}	۷/۱۵ ^{cd}	۶/۸۵ ^{cd}
۴	۲۸/۶ ^{ef}	۷/۸ ^{bc}	۸۹۴/۶ ^{ef}	۲۹/۴ ^{abcd}	۹۲/۳ ^{abc}	۳۸/۴۰ ^g	۶/۲۳ ^d	۷/۳۳ ^d	۰/۱۷ ^{abc}	۰/۲۰ ^{cd}	۴۸/۶ ^{ef}	۲۱/۱۲ ^{abc}	۰/۳۴ ^f	۱/۰ ^{abcd}	۸/۶ ^{cd}	۱/۰ ^{abc}	۰/۵۸ ^f	۲/۰ ^{cd}	۱۰/۳ ^{cd}	۲/۹۱ ^{gh}
۵	۲۴/۵ ^{abc}	۷/۷ ^{bc}	۹۴۶/۶ ^{ef}	۲۷/۱۳ ^{abc}	۱۳۰/۲۰ ^{abc}	۱۶/۳۰ ^{abc}	۱۱/۱۴ ^{cd}	۳/۹۱ ^e	۰/۱۸ ^{bc}	۰/۱۵ ^{abcd}	۴۲/۰ ^{def}	۲۰/۸۹ ^{abc}	۰/۲۵ ^{cd}	۰/۸ ^{abc}	۶/۶ ^{cd}	۱/۲۱ ^{abcd}	۰/۳۴ ^{abcd}	۷/۱۵ ^{cd}	۷/۸۳ ^{ab}	۲/۸۳ ^{gh}
۶	۲۵/۴ ^{ef}	۷/۰ ^{abc}	۱۰۰۸/۶ ^{ab}	۱۶/۶ ^{abc}	۱۲۲/۸ ^{abc}	۱۰/۶ ^{abc}	۴/۲۷ ^a	۱۰/۲۰ ^e	۰/۱۷ ^{abc}	۰/۱۸ ^{abcd}	۴۱/۶ ^{def}	۲۲/۳ ^{abc}	۰/۲۴ ^{bc}	۰/۸ ^{abc}	۶/۲۱ ^{abcd}	۱/۰ ^{abc}	۰/۳۰ ^{abc}	۰/۴۹ ^a	۸/۷ ^{abcd}	۲/۹۳ ^{gh}
۷	۲۸/۴ ^{ef}	۷/۵ ^{abc}	۶۲۱/۶ ^{ef}	۵۰/۱۰ ^{ab}	۱۱۴/۱۰ ^{cd}	۴۶/۹ ^{abc}	۱۰/۷۹ ⁱ	۶/۴ ^g	۰/۱۹ ^{bc}	۰/۱۷ ^{abcd}	۳۵/۷ ^{bc}	۱۹/۳۹ ^{abcd}	۰/۲۴ ^{bc}	۱/۰ ^{abcd}	۶/۱۲ ^{abcd}	۱/۰ ^{abcd}	۰/۲۳ ^{ab}	۰/۸۹ ^{ab}	۸/۰ ^{abcd}	۲/۸۵ ^{cd}
۸	۲۳/۳ ^{abc}	۷/۷ ^{bc}	۶۰۸/۰۰ ^b	۳۸/۴ ^{abc}	۱۰۰/۰ ^{abc}	۳۵/۹ ^{bc}	۹/۱۳ ⁱ	۱۳/۱۷ ^f	۰/۱۷ ^{abc}	۰/۱۷ ^{abcd}	۴۶/۳ ^{def}	۲۰/۴۸ ^{abc}	۰/۲۱ ^{bc}	۰/۹ ^{abc}	۵/۷ ^{bc}	۱/۶ ^{bc}	۰/۲۴ ^{ab}	۱/۰ ^{abcd}	۸/۷ ^{abcd}	۰/۹۲ ^{ab}
۹	۲۴/۵ ^{abc}	۷/۵ ^{abc}	۵۲۵/۶ ^g	۵۳/۵ ^{abc}	۱۳۰/۸ ^{abc}	۱۷/۴ ^{abc}	۹/۶ ^{bc}	۹/۳۱ ^g	۰/۱۷ ^{abc}	۰/۱۴ ^{abcd}	۳۵/۱ ^{abc}	۱۹/۷۱ ^{abc}	۰/۳۰ ^{def}	۰/۸ ^{abc}	۶/۷۸ ^{abcde}	۱/۸ ^{abcd}	۰/۸۸ ^{gh}	۳/۱ ^{cd}	۹/۷ ^{abcd}	۲/۵۳ ^{gh}
۱۰	۲۸/۱ ^{abc}	۷/۳ ^{abc}	۱۳۲۲/۶ ^{ef}	۶۲/۸۰ ^{abc}	۱۳۳/۱ ^{abc}	۱۹/۰ ^{abc}	۵/۴۱ ^e	۸/۱۵ ^{cd}	۰/۱۶ ^{abc}	۰/۱۶ ^{abcd}	۳۸/۹ ^{abcd}	۲۲/۰ ^{abc}	۰/۲۵ ^{cd}	۰/۸ ^{abc}	۷/۵۲ ^{bcdef}	۱/۴ ^{bc}	۰/۳۰ ^{abcd}	۷/۸۹ ^{abcd}	۷/۸۹ ^{abcd}	۰/۷۳ ^a
۱۱	۲۵/۲ ^{abc}	۷/۴ ^{abc}	۹۳۸/۰۰ ^g	۳۳/۷ ^{bcdef}	۹۶/۸ ^{abc}	۲۲/۳ ^{abcde}	۱۵/۰ ^{bc}	۷/۷۷ ^{bc}	۰/۱۹ ^{bc}	۰/۱۶ ^{abcd}	۲۸/۱۳ ^{cd}	۲۰/۳۳ ^{abc}	۰/۱۷ ^{abcd}	۰/۸ ^{abc}	۷/۲۲ ^{abc}	۱/۶ ^{bc}	۰/۵۶ ^f	۰/۹ ^{ab}	۷/۶۷ ^{abcd}	۱/۵ ^{abcde}
۱۲	۳۷/۱ ^{abc}	۷/۹ ^{bc}	۱۲۲۸/۳ ^{ef}	۶۱/۶ ^{abc}	۱۴۰/۷ ^{ef}	۳۷/۰ ^{abc}	۱۱/۱ ^{abc}	۴/۰ ^{cd}	۰/۱۴ ^a	۰/۱۷ ^{abcd}	۳۷/۷ ^{abcd}	۲۳/۰ ^{abc}	۰/۱۸ ^{abcd}	۱/۰ ^{abcd}	۶/۸ ^{abc}	۱/۶ ^{bc}	۰/۳۲ ^{abc}	۰/۹ ^{ab}	۸/۳ ^{abcd}	۱/۱ ^{abc}
۱۳	۲۳/۱ ^{abc}	۷/۷ ^{bc}	۱۴۹/۶ ^{ef}	۶۱/۰ ^{ef}	۱۲۱/۸ ^{abc}	۲۱/۳ ^{abcde}	۱۳/۰ ^{abc}	۶/۹ ^{bc}	۰/۱۸ ^{abcd}	۰/۱۸ ^{abcd}	۳۹/۷ ^{abcde}	۲۳/۳ ^{cd}	۰/۲۴ ^{bc}	۰/۷ ^{abc}	۷/۸۹ ^{cd}	۱/۷ ^{abc}	۰/۳۰ ^{abc}	۰/۹ ^{ab}	۹/۶ ^{abcd}	۱/۲ ^{abc}
۱۴	۲۵/۷ ^{abc}	۷/۵ ^{abc}	۱۳۵۹/۶ ^{ef}	۷۰/۸ ^{abc}	۱۶۰/۸ ^{abc}	۲۹/۶ ^{ef}	۷/۷ ^{bc}	۳/۲۸ ^a	۰/۱۶ ^{abc}	۰/۱۸ ^{abcd}	۳۸/۹ ^{abcd}	۱۹/۶ ^{abc}	۰/۲۰ ^{abc}	۱/۰ ^{abcd}	۷/۶ ^{cd}	۱/۳۴ ^{abc}	۰/۲۱ ^a	۱/۳ ^{abc}	۷/۸۸ ^{abcd}	۱/۳ ^{abcd}
۱۵	۲۶/۴ ^{abc}	۷/۰ ^{abc}	۱۲۲۸/۶ ^{ef}	۶۲/۴ ^{abc}	۱۳۵/۱ ^{ef}	۱۸/۴ ^{abc}	۹/۱۵ ⁱ	۸/۴ ^{bc}	۰/۱۹ ^{bc}	۰/۱۶ ^{abcd}	۴۸/۶ ^{def}	۲۰/۲۰ ^{abc}	۰/۲۱ ^{bc}	۰/۵ ^{abc}	۶/۵ ^{cd}	۱/۴ ^{bc}	۰/۵۰ ^{ef}	۰/۵ ^{abc}	۴/۴ ^{abc}	۰/۹ ^{abcd}
۱۶	۲۰/۴ ^{abc}	۷/۵ ^{abc}	۱۳۵۸/۰۰ ^m	۲۱/۶ ^{abc}	۲۰/۴ ^{abc}	۱۴/۸ ^{abc}	۱۳/۱ ^{abc}	۱۲/۸ ^{bc}	۰/۱۹ ^{abc}	۰/۱۷ ^{abcd}	۴۶/۱۰ ^{def}	۲۰/۱۱ ^{abc}	۰/۱۹ ^{abc}	۰/۸ ^{abc}	۶/۰ ^{abcd}	۱/۲۸ ^{abc}	۰/۴۷ ^{def}	۱/۰ ^{abcd}	۷/۰ ^{abcd}	۰/۸۲ ^a
۱۷	۲۲/۷ ^{abc}	۷/۳ ^{abc}	۱۲۳۰/۰۰ ^j	۴۲/۴ ^{abc}	۱۸۳/۰ ^{bc}	۲۵/۴ ^{abc}	۱۱/۵ ^{bc}	۱۱/۲ ^{bc}	۰/۱۷ ^{abc}	۰/۲۱ ^{abcd}	۵۰/۱۰ ^g	۱۷/۱ ^{abc}	۰/۱۳ ^{bc}	۰/۹ ^{abc}	۶/۰ ^{abcd}	۱/۳ ^{abcd}	۰/۶۱ ^f	۰/۹ ^{ab}	۸/۳ ^{abcd}	۱/۱ ^{abc}
۱۸	۲۶/۴ ^{abc}	۷/۶ ^{abc}	۱۳۰۲/۳ ^{ef}	۴۰/۸ ^{abc}	۱۴۱/۷ ^{ef}	۱۹۰/۳ ^{abcd}	۶/۲۱ ^d	۱۰/۸ ^{abc}	۰/۱۸ ^{abcd}	۰/۱۶ ^{abcd}	۴۸/۲ ^{bc}	۲۱/۶ ^{abc}	۰/۲۰ ^{abc}	۰/۹ ^{abc}	۱/۱ ^{abc}	۱/۳ ^{abcd}	۰/۵۱ ^{ef}	۱/۰ ^{abcd}	۹/۸ ^{abcd}	۳/۱ ^{abc}
۱۹	۲۳/۸ ^{abcd}	۷/۷ ^{bc}	۱۵۴۱/۰۰ ^p	۳۱/۳ ^{abcde}	۱۶۱/۳ ^{bc}	۱۴/۸۰ ^{ab}	۷/۸ ^{abc}	۷/۳ ^{abc}	۰/۱۷ ^{abcd}	۰/۱۷ ^{abcd}	۴۶/۵ ^{def}	۲۰/۸ ^{abc}	۰/۱۳ ^{bc}	۱/۳ ^{abcd}	۶/۰ ^{abcd}	۱/۴۰ ^{abc}	۰/۷۸ ^{abc}	۰/۶ ^{abc}	۸/۴ ^{abcd}	۱/۶ ^{abcd}
۲۰	۲۵/۲ ^{abc}	۷/۷ ^{bc}	۱۴۱۶/۳ ^{ef}	۳۱/۵ ^{abcde}	۱۵۱/۳ ^{bc}	۲۱/۴ ^{abc}	۷/۱۵ ^e	۱۲/۰ ^{abc}	۰/۱۶ ^{abcd}	۰/۱۵ ^{abcd}	۴۹/۴ ^{ef}	۲۰/۵ ^{abc}	۰/۲۰ ^{abc}	۱/۳ ^{abcd}	۷/۵۵ ^{bc}	۱/۳ ^{abcd}	۰/۳۱ ^{abc}	۱/۴ ^{abc}	۹/۷ ^{abcd}	۱/۷۰ ^{bcde}
واحد	°C	-	µs cm ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	µg L ⁻¹	µg L ⁻¹	µg L ⁻¹	µg L ⁻¹	µg L ⁻¹	µg L ⁻¹	µg L ⁻¹	µg L ⁻¹	µg L ⁻¹
میانگین	۲۵/۲۰	۷/۵۱	۱۰۹۷/۶۶	۴۱/۸۹	۱۲۸/۹۸	۲۵/۲۷	۹/۰۱	۷/۸۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۴۱/۲۲	۲۰/۶۵	۰/۲۲	۰/۹۵	۷/۱۲	۱/۳۴	۰/۴۹	۱/۲۹	۸/۲۳	۲/۰۸
MPL	۳۲	۸/۵	۱۵۰۰	۲۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۲	۲۵۰	۲۵۰	۵۰	۵۰	۱۰	۳	۵۰	۲۰۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۲۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰

*حروف غیر مشترک (a, b, c, ...) در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار (p < ۰/۰۵) بین ایستگاه‌ها از نظر میانگین غلظت عناصر مورد بررسی در نمونه‌های آب زیرزمینی براساس نتایج تحلیل واریانس یک طرفه (آزمون دانکن) است.

فلزات سنگین (۷) مرتبط دانست. به عنوان مثال، توده گرانیتهی دارای کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم به عنوان کانی حامل عنصر سرب، و یا سنگ نفوذی گرانیتهی یا گرانودیوریتی دارای کانی ارتوز، بیوتیت، کوارتز و آمفیبول حاوی عنصر مس هستند. از طرفی، سنگ‌های آهک رسی حاوی عناصر مس و سرب بوده و کانی آهک رس حاوی عناصر کادمیم، مس، روی و کروم بوده و همچنین با وجود ماسه‌سنگ در مناطق مورد بررسی و آبشویی آن میزان منیزیم در خاک و آب افزایش می‌یابد و ممکن است در اثر انحلال در آب زیرزمینی سبب افزایش غلظت این عناصر شود (۷). از سوی دیگر، حل شدن کاتیون‌های فلزی مانند کادمیم و سرب در آب به آن خاصیت قلیایی بخشیده و pH آب از ۷ تجاوز خواهد کرد. درحالی که، حل شدن آنیون‌ها نظیر هالیدها (فلوئور، کلر و ید) به آب خاصیت اسیدی می‌دهد (۱۵). بنابراین، افزایش pH (متوسط تا قلیایی) سبب کاهش تحرک و افزایش جذب کاتیون توسط کلئیدهای خاک می‌شود (۸). بطور کلی، غلظت فلزات سنگین دارای همبستگی چندان بالایی با سایر یون‌های اصلی نبود که می‌تواند بیانگر ورود این عناصر از طریق آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی (Anthropogenic activities) باشد. بطوری که، بخشی از عناصر می‌تواند از طریق مصرف نهاده‌های کشاورزی و به‌ویژه کودهای فسفاته، سموم شیمیایی و کودهای آلی بعنوان مهم‌ترین منابع انسانی خاک و در نهایت منابع آب زیرزمینی را آلوده کند (۴). سبحان اردکانی و نظری (۳۰) گزارش کرد که بین عناصر سرب و کادمیم در منابع آب زیرزمینی دشت رزن-همدان همبستگی مثبت و معنی‌دار آماری وجود داشته است.

نتایج محاسبه شاخص‌های C_d ، HPI، HEI، MI و PoS به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری در فصول بهار (جدول ۶) و تابستان (جدول ۷) به منظور ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در جداول ۶ و ۷ ارائه شده است. مقادیر شاخص‌های C_d ، HPI، HEI، MI و مربوط به فصل بهار نشان داد که کیفیت آب همه (۱۰۰٪) ایستگاه‌های نمونه‌برداری

همچنین، غلظت فلزات سنگین در طول زمان تغییر می‌کند و چاه‌های موجود در یک محل می‌تواند بطور گسترده دارای غلظت‌های متفاوتی از فلزات باشند. در واقع غلظت فلزات سنگین در چاه‌ها، مرتبط با محل و عمق چاه بوده و در چاه‌های کم‌عمق‌تر در نواحی مشخص زمین‌شناسی غلظت فلزات بیشتر است (۲۰ و ۲۲).

نتایج همبستگی پیرسون نمونه‌های آب زیرزمینی مربوط به فصل بهار (جدول ۴) نشان داد که بین پیراسنجه‌های منیزیم و کلسیم با $(r=0/560)$ ، بین منیزیم و فسفات $(r=0/490)$ ، بین کادمیم و کروم $(r=0/480)$ ، بین کادمیم و منگنز $(r=0/640)$ ، بین آهن و منگنز $(r=0/500)$ ، بین منگنز و منیزیم $(r=0/450)$ در سطح معنی‌داری $P<0/05$ و بین پیراسنجه‌های سدیم و روی $(r=0/590)$ و بین آهن و نیکل $(r=0/60)$ در سطح معنی‌داری $P<0/01$ همبستگی مثبت و معنی‌دار آماری وجود داشت. همچنین، نمونه‌های آب زیرزمینی مربوط به فصل تابستان (جدول ۵) نیز نشان داد که بین کلسیم و نترات $(r=0/530)$ ، بین کادمیم و نترات $(r=0/520)$ ، بین کادمیم و روی $(r=0/540)$ ، بین مس و سرب $(r=0/470)$ و بین منگنز و روی $(r=0/500)$ در سطح معنی‌داری $P<0/05$ و از طرفی، بین پیراسنجه‌های هدایت الکتریکی و کلسیم $(r=0/600)$ و بین منگنز و نیکل $(r=0/700)$ در سطح معنی‌داری $P<0/01$ همبستگی مثبت و معنی‌دار آماری وجود داشت. از این‌رو، وجود همبستگی مثبت و قابل توجه بین برخی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی را می‌توان با منشأ مشترک این پارامترها در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه و از سویی تأثیر ساختار زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه دارای سنگ‌های شیل تیره توف‌دار، فیلیت، نمک و ماسه‌سنگ، سنگ‌های کنگلومرا، سنگ‌های نفوذی گرانیتهی تا دیوریتی، آهک اربیتولین‌دار، سنگ آهک ریفی توده‌ای، ذخایر تراسی، سنگ‌های آتش‌فشانی دگرگونی، گابرو-دیوریت، دیوریت و ترانجمیت، میکاهورنفلس، هورنفلس کوردینیت، هورنفلس آندالوزیت-سیلمانیت و سنگ‌های کربناتی دگرگون شده (اسکارن) حاوی

جدول ۴. ماتریس همبستگی پیرسون بین پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی در فصل بهار

پارامتر	Zn	Pb	Ni	Mn	Fe	Cu	Cr	Cd	As	NO ₃	PO ₄	Cl	SO ₄	K	Na	Ca	Mg	EC	pH	pH			
pH																							
EC																						۰/۸۵	
Mg																							۰/۲۲
Ca																							۰/۲۴
Na																							۰/۲۳
K																							۰/۳۲
SO ₄																							۰/۲۷
Cl																							۰/۳۶
PO ₄																							۰/۳۴
NO ₃																							۰/۲۳
As																							۰/۱۷
Cd																							۰/۴۰
Cr																							۰/۱۳
Cu																							۰/۱۸
Fe																							۰/۴۹
Mn																							۰/۳۳
Ni																							۰/۲۲
Pb																							۰/۳۵
Zn																							۰/۴۷

* همبستگی معنی دار در سطح ۰/۰۵

** همبستگی معنی دار در سطح ۰/۰۱

جدول ۵. ماتریس همبستگی پیوسون بین پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی در فصل تابستان

پارامتر	Zn	Pb	Ni	Mn	Fe	Cu	Cr	Cd	As	NO ₃	PO ₄	Cl	SO ₄	K	Na	Ca	Mg	EC	pH	pH							
pH																				۱							
EC																					۱						
Mg																	۱	۰/۱۷									
Ca																	۱	۰/۶۰**									
Na															۱			۰/۳۴									
K														۱				۰/۲									
SO ₄															۱			۰/۷									
Cl																۱		۰/۳									
PO ₄																	۱	۰/۲									
NO ₃																		۱									
As																			۱								
Cd																				۱							
Cr																					۱						
Cu																						۱					
Fe																							۱				
Mn																								۱			
Ni																									۱		
Pb																										۱	
Zn																											۱

* همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

** همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

جدول ۶. نتایج محاسبه شاخص‌های ارزیابی کیفی آب به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری در فصل بهار

کیفیت آب	MI	کیفیت آب	PoS	کیفیت آب	HEI	کیفیت آب	HPI	کیفیت آب	Cd	شاخص ایستگاه
تحت تأثیر اندک	۱/۳۳	آلودگی اندک	۲۶۸/۱۶	آلودگی کم	۱/۳۳	آلودگی اندک	۹/۸۹	آلودگی کم	-۷/۶۴	۱
تحت تأثیر اندک	۲/۰۱	آلودگی متوسط	۲۳۶/۵۴	آلودگی کم	۲/۰۱	آلودگی اندک	۹/۹۰	آلودگی کم	-۷/۰۴	۲
تحت تأثیر اندک	۱/۲۲	آلودگی اندک	۲۸۵/۰۲	آلودگی کم	۱/۲۲	آلودگی اندک	۹/۹۰	آلودگی کم	-۷/۷۴	۳
تحت تأثیر اندک	۱/۱۳	آلودگی اندک	۲۹۲/۷۲	آلودگی کم	۱/۱۳	آلودگی اندک	۹/۹۱	آلودگی کم	-۷/۸۳	۴
تحت تأثیر اندک	۱/۰۸	آلودگی اندک	۲۶۵/۳۵	آلودگی کم	۱/۰۸	آلودگی اندک	۹/۹۱	آلودگی کم	-۷/۸۵	۵
تحت تأثیر اندک	۱/۲۷	آلودگی اندک	۲۷۸/۹۱	آلودگی کم	۱/۲۷	آلودگی اندک	۹/۹۰	آلودگی کم	-۷/۶۵	۶
تحت تأثیر اندک	۱/۳۳	آلودگی متوسط	۳۱۷/۴۱	آلودگی کم	۱/۳۳	آلودگی اندک	۹/۹۲	آلودگی کم	-۷/۵۹	۷
تحت تأثیر اندک	۱/۷۵	آلودگی متوسط	۳۹۵/۶۰	آلودگی کم	۱/۷۵	آلودگی اندک	۹/۹۰	آلودگی کم	-۷/۱۷	۸
تحت تأثیر اندک	۱/۹۵	آلودگی متوسط	۴۰۷/۱۱	آلودگی کم	۱/۹۵	آلودگی اندک	۹/۹۰	آلودگی کم	-۷/۹۸	۹
تحت تأثیر اندک	۱/۳۱	آلودگی اندک	۲۱۰/۰۶	آلودگی کم	۱/۳۱	آلودگی اندک	۹/۹۱	آلودگی کم	-۷/۶۲	۱۰
تحت تأثیر اندک	۱/۴۵	آلودگی متوسط	۳۲۸/۷۸	آلودگی کم	۱/۴۵	آلودگی اندک	۹/۹۱	آلودگی کم	-۷/۴۷	۱۱
تحت تأثیر اندک	۱/۵۵	آلودگی متوسط	۳۵۹/۸۲	آلودگی کم	۱/۵۵	آلودگی اندک	۹/۹۰	آلودگی کم	-۷/۳۸	۱۲
تحت تأثیر اندک	۱/۵۴	آلودگی متوسط	۳۵۱/۸۳	آلودگی کم	۱/۵۴	آلودگی اندک	۹/۹۲	آلودگی کم	-۷/۳۹	۱۳
تحت تأثیر اندک	۱/۳۲	آلودگی متوسط	۳۲۲/۶۴	آلودگی کم	۱/۳۲	آلودگی اندک	۹/۹۱	آلودگی کم	-۷/۶۱	۱۴
تحت تأثیر اندک	۱/۳۷	آلودگی متوسط	۳۳۶/۲۸	آلودگی کم	۱/۳۷	آلودگی اندک	۱۰	آلودگی کم	-۷/۵۵	۱۵
تحت تأثیر اندک	۱/۵۷	آلودگی متوسط	۳۰۱/۹۱	آلودگی کم	۱/۵۷	آلودگی اندک	۹/۹۰	آلودگی کم	-۷/۳۸	۱۶
تحت تأثیر اندک	۱/۲۴	آلودگی اندک	۲۹۶/۹۳	آلودگی کم	۱/۲۴	آلودگی اندک	۱۰	آلودگی کم	-۷/۶۹	۱۷
تحت تأثیر اندک	۱/۲۶	آلودگی اندک	۲۹۵/۵۹	آلودگی کم	۱/۲۶	آلودگی اندک	۹/۹۹	آلودگی کم	-۷/۶۶	۱۸
تحت تأثیر اندک	۱/۵۴	آلودگی متوسط	۳۴۰/۰۱	آلودگی کم	۱/۵۴	آلودگی اندک	۱۰	آلودگی کم	-۷/۳۹	۱۹
تحت تأثیر اندک	۱/۴۲	آلودگی متوسط	۳۱۷/۱۲	آلودگی کم	۱/۴۲	آلودگی اندک	۱۰	آلودگی کم	-۶/۸۰	۲۰
تحت تأثیر اندک	۱/۴۲	آلودگی متوسط	۳۲۸/۱۳	آلودگی کم	۱/۴۲	آلودگی اندک	۹/۹۱	آلودگی کم	-۷/۵۱	میانگین

جدول ۷. نتایج محاسبه شاخص‌های ارزیابی کیفی آب به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری در فصل تابستان

کیفیت آب	MI	کیفیت آب	POs	کیفیت آب	HEI	کیفیت آب	HPI	کیفیت آب	Cd	شاخص ایستگاه
تحت تأثیر متوسط	۲/۹۲	آلودگی زیاد	۶۰۳/۴۳	آلودگی کم	۲/۹۲	آلودگی اندک	۹/۹۰	آلودگی کم	-۶/۰۱	۱
تحت تأثیر متوسط	۳/۱۴	آلودگی زیاد	۶۸۱/۳۰	آلودگی کم	۳/۱۴	آلودگی اندک	۹/۹۹	آلودگی کم	-۵/۸۲	۲
تحت تأثیر متوسط	۳/۸۶	آلودگی زیاد	۶۰۶/۹۸	آلودگی کم	۲/۸۶	آلودگی اندک	۹/۹۰	آلودگی کم	-۶/۱۳	۳
تحت تأثیر متوسط	۳/۳۶	آلودگی زیاد	۷۱۵/۸۴	آلودگی کم	۳/۳۶	آلودگی اندک	۹/۹۹	آلودگی کم	-۵/۵۶	۴
تحت تأثیر متوسط	۳/۱۶	آلودگی زیاد	۶۶۵/۰۶	آلودگی کم	۳/۱۶	آلودگی اندک	۱۰	آلودگی کم	-۵/۷۷	۵
تحت تأثیر متوسط	۳/۲۲	آلودگی زیاد	۶۸۵/۶۸	آلودگی کم	۳/۲۲	آلودگی اندک	۱۰	آلودگی کم	-۵/۷۲	۶
تحت تأثیر متوسط	۲/۸۸	آلودگی زیاد	۶۴۳/۹۷	آلودگی کم	۲/۸۷	آلودگی اندک	۹/۹۰	آلودگی کم	-۶/۰۶	۷
تحت تأثیر متوسط	۳/۰۵	آلودگی زیاد	۶۷۱/۵۸	آلودگی کم	۳/۰۵	آلودگی اندک	۹/۹۲	آلودگی کم	-۵/۹۰	۸
تحت تأثیر متوسط	۳/۲۰	آلودگی زیاد	۶۷۹/۷۹	آلودگی کم	۳/۲۰	آلودگی اندک	۹/۹۰	آلودگی کم	-۵/۷۳	۹
تحت تأثیر متوسط	۳/۱۴	آلودگی زیاد	۶۹۷/۴۰	آلودگی کم	۳/۱۴	آلودگی اندک	۹/۹۱	آلودگی کم	-۵/۷۸	۱۰
تحت تأثیر متوسط	۲/۹۲	آلودگی زیاد	۶۳۳/۹۶	آلودگی کم	۲/۹۱	آلودگی اندک	۹/۹۰	آلودگی کم	-۶/۰۳	۱۱
تحت تأثیر متوسط	۳/۲۶	آلودگی زیاد	۷۳۲/۶۷	آلودگی کم	۳/۲۶	آلودگی اندک	۹/۹۱	آلودگی کم	-۵/۶۸	۱۲
تحت تأثیر متوسط	۳/۴۴	آلودگی زیاد	۷۵۲/۸۵	آلودگی کم	۳/۴۴	آلودگی اندک	۱۰	آلودگی کم	-۵/۱۰	۱۳
تحت تأثیر متوسط	۲/۸۹	آلودگی زیاد	۶۶۵/۵۹	آلودگی کم	۲/۸۹	آلودگی اندک	۹/۸۳	آلودگی کم	-۶/۰۵	۱۴
تحت تأثیر متوسط	۲/۵۷	آلودگی زیاد	۶۲۱/۶۸	آلودگی کم	۲/۵۷	آلودگی اندک	۱۰	آلودگی کم	-۶/۳۷	۱۵
تحت تأثیر متوسط	۲/۸۴	آلودگی زیاد	۶۶۶/۵۳	آلودگی کم	۲/۸۴	آلودگی اندک	۹/۹۱	آلودگی کم	-۶/۰۹	۱۶
تحت تأثیر متوسط	۲/۶۴	آلودگی زیاد	۶۳۲/۵۲	آلودگی کم	۲/۶۴	آلودگی اندک	۹/۹۰	آلودگی کم	-۶/۳۰	۱۷
تحت تأثیر متوسط	۳/۲۸	آلودگی متوسط	۵۵۵/۸۴	آلودگی کم	۳/۲۸	آلودگی اندک	۹/۹۹	آلودگی کم	-۵/۶۷	۱۸
تحت تأثیر متوسط	۳/۰۳	آلودگی زیاد	۶۷۲/۴۵	آلودگی کم	۳/۰۳	آلودگی اندک	۱۰	آلودگی کم	-۵/۹۱	۱۹
تحت تأثیر متوسط	۳/۱۴	آلودگی زیاد	۶۹۹/۴۹	آلودگی کم	۳/۱۴	آلودگی اندک	۹/۹۱	آلودگی کم	-۶/۴۸	۲۰
تحت تأثیر متوسط	۳/۰۴	آلودگی زیاد	۶۷۳/۴۲	آلودگی کم	۳/۰۴	آلودگی اندک	۱۰	آلودگی کم	-۵/۹۰	میانگین

منطقه مورد مطالعه نیز نباید چشم‌پوشی کرد. این درحالی است که در طول مسیر دفع فاضلاب شهری برخی از کشاورزان برای آبیاری زمین‌های کشاورزی مبادرت به برداشت فاضلاب شهر می‌کنند که این مورد نیز می‌تواند به افزایش غلظت آلاینده‌ها و کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت بهار منجر شود. به‌طور کلی، از مهم‌ترین منابع انسان‌ساخت آلودگی منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی می‌توان به سطح زیر کشت وسیع محصولات کشاورزی و استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و آلی، سموم شیمیایی، فاضلاب شهری، چاه‌های جذب خانگی، کشتارگاه‌های صنعتی و دامداری‌ها، کارگاه‌های آسیاب پلاستیک، صنایع غذایی، صنایع لبنی، شهرک‌های صنعتی، کارخانه قند و کارگاه‌های ریخته‌گری اشاره کرد (۱۶). در این خصوص، نتایج پژوهشی که با هدف ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد انجام یافت، نشان داد که میانگین مقادیر شاخص‌های HPI و HEI در فصل بهار به ترتیب برابر با ۹/۲۹ و ۲۵/۶ و در فصل تابستان نیز به ترتیب برابر با ۸/۸۸ و ۲۷/۳ و بسیار کم‌تر از آستانه خطر (۱۰۰) بوده است (۲۹). در مطالعه‌ای دیگر که با هدف ارزیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین انجام شد، میانگین مقادیر شاخص‌های C_h و HEI برای فصل زمستان ۱۳۹۲ به ترتیب برابر با ۰/۶۱- و ۳/۳۰ و برای فصل تابستان ۱۳۹۳ به ترتیب برابر با ۰/۹۰۰ و ۴/۵۴ و در هر دو فصل بسیار کمتر از آستانه خطر گزارش شد (۳۸). همچنین، در مطالعه‌ای که به‌منظور ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن- همدان با استفاده از شاخص MI و PoS انجام یافت، گزارش شد که میانگین مقادیر شاخص‌های MI و PoS در فصل بهار با ۰/۹۲۰ و ۰/۳۶۰ به ترتیب بیانگر سطح کیفی پاک و آلودگی حداقل و در فصل تابستان نیز با ۱/۰۵ و ۰/۴۱۰ به ترتیب بیانگر سطح کیفی تحت تأثیر اندک و آلودگی حداقل بوده است (۳۳).

نتیجه‌گیری

با استناد به نتایج محاسبه شاخص آلودگی فلزات سنگین و

به ترتیب در طبقه آلودگی کم، آلودگی اندک، آلودگی کم و تحت تأثیر اندک قرار داشته است. بطوری‌که، میانگین مقادیر این شاخص‌ها با مقادیر ۷/۵۱-، ۹/۹۱، ۱/۴۲ و ۱/۴۲ به ترتیب حاکی از آلودگی کم، آلودگی اندک، آلودگی کم و تحت تأثیر اندک منابع آب زیرزمینی بوده است. از طرفی، مقادیر شاخص PoS در فصل بهار نشان داد که در ایستگاه‌های ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۱۰، ۱۷ و ۱۸ کیفیت آب در طبقه آلودگی اندک (۴۰٪) و در سایر ایستگاه‌ها در طبقه آلودگی متوسط (۶۰٪) قرار داشته است و بطور کلی میانگین مقادیر شاخص با ۳۲۸ حاکی از آلودگی متوسط منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بوده است. مقادیر شاخص‌های HPI، C_h، HEI و MI مربوط به فصل تابستان نیز نشان داد که کیفیت آب همه (۱۰۰٪) ایستگاه‌های نمونه‌برداری به ترتیب در طبقه آلودگی کم، آلودگی اندک، آلودگی کم و تحت تأثیر متوسط قرار داشته است و بطور کلی میانگین مقادیر شاخص‌ها با ۵/۹۰-، ۱۰/۰، ۳/۰۴ و ۳/۰۴ به ترتیب حاکی از آلودگی کم، آلودگی اندک، آلودگی کم و تحت تأثیر متوسط منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بوده است. بعلاوه، نتایج محاسبه شاخص PoS در فصل تابستان نشان داد که فقط کیفیت آب ایستگاه ۱۸ در طبقه آلودگی متوسط (۵٪) قرار داشته است و سایر ایستگاه‌ها در طبقه آلودگی زیاد (۹۵٪) گروه‌بندی شده‌اند. همچنین، میانگین مقادیر شاخص با ۶۷۳ حاکی از آلودگی زیاد آب بوده است که اغلب می‌تواند مربوط به محتوی عنصر آرسنیک باشد. بدین معنی که آرسنیک بیش‌ترین نقش را در افت کیفیت منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز همدان- بهار داشته است. در واقع در فصل بهار سطح آب‌های زیرزمینی افزایش می‌یابد. بطوری‌که با سطح زمین برخورد می‌کند. این شرایط باعث انتقال قابل توجه آلاینده‌های موجود در خاک و فاضلاب شهر به آبخوان‌ها می‌شود (۵ و ۱۱). در فصل تابستان هم بدلیل نبود جریان‌های سطحی ناشی از بارش و تشدید تبخیر، غلظت آلاینده‌ها افزایش می‌یابد و بر منابع آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد. البته از تأثیر توسعه فعالیت‌های کشاورزی در آلودگی منابع آب زیرزمینی

آب زیرزمینی دشت همدان- بهار توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری تخصصی محیط زیست مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان است. بدین وسیله نویسندگان از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه برای فراهم کردن امکانات اجرای مطالعه، سپاسگزاری می‌کنند.

همچنین، مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد بررسی در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت همدان- بهار با رهنمود WHO، در حال حاضر منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه فقط در مورد عنصر آرسنیک می‌تواند در طولانی مدت مخاطرات بهداشتی ایجاد کند. اما با توجه به کشت دو بار در سال زمین‌های کشاورزی و همچنین عدم مدیریت اصولی مصرف نهاده‌های کشاورزی به ویژه انواع کودها، آفت‌کش‌های شیمیایی و کودهای آلی امکان آلوده شدن منابع آب زیرزمینی این منطقه در طولانی مدت دور از انتظار نیست. بنابراین، نسبت به پایش دوره‌ای و منظم منابع

منابع مورد استفاده

1. Alloway, B. J. 1990. Heavy Metals in Soils. Blackie and Son Ltd., London.
2. Caerio, S., M. H. Costa, T. B. Ramos, F. Fernandes, N. Silveira and A. Coimbra. 2005. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach. *Journal of Ecological Indicators* 5(2): 155-169.
3. Edet, A. E. and O. E. Offiong. 2002. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring. A study case from Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (southeastern Nigeria). *GeoJournal* 57(4): 295-304.
4. Fakhri, S., A. Asghari Moghaddam, R. Barzegar, N. Kazemian and N. Najib. 2016. Investigating the origin of some heavy metals in groundwater of Marand Plain using multivariate statistical methods. *Journal of water and soil* 26(2): 237-253 (In Farsi).
5. Farzan, M. and S. Sobhanardakani. 2016. Analysis of Fe, Pb, and Cd content of surface runoff in regions with high traffic intensity in Hamedan, Iran. *Journal of Health System Research* 12(2): 208-213 (In Farsi).
6. Ghobadi, A. and A. Jahangard. 2017. Chromium, nickel and manganese in the groundwater resources of Asadabad Plain, Iran. *Journal of Hygiene Sciences* 6(1): 81-87.
7. Ghobadi, A., M. Cheraghi, S. Sobhanardakani, B. Lorestani and H. Merrikhpour. 2020. Hydrogeochemical characteristics, temporal, and spatial variations for evaluation of groundwater quality of Hamedan- Bahar Plain as a major agricultural region, West of Iran. *Journal of Environmental Earth Sciences* 79: 428.
8. Hassanzadeh, R., A. Abbasnejad and M. Ali Hamzeh. 2011. Assessment of groundwater pollution in Kerman urban areas. *Journal of Environmental Studies* 36(56): 101-110 (In Farsi).
9. Helbling, D. E. and J. M. VanBriesen. 2008. Continuous monitoring of residual chlorine concentrations in response to controlled microbial intrusions in a laboratory-scale distribution system. *Journal of Water Reserch* 42: 3162-3172.
10. Jalali, M. and H. Merrikhpour. 2008. Effects of poor quality irrigation waters on the nutrient leaching and groundwater quality from sandy soil. *Journal of Environmental Geology* 53(6): 1289-1298.
11. Kalantari, N., A. Anbari and H. Mohammadi. 2108. Hydrochemical assessment of surface and groundwater resources of the Bostan Plain using multivariate statistical techniques. *Journal of Iran-Water Resources Research* 14(2): 236-248 (In Farsi).
12. Kumar, S. K., V. Rammoham, J. D. Sahayan and M. Jeevandane. 2009. Assessment of groundwater quality and hydrogeochemistry of Manimuktha River basin, Tamil Nadu, India. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment* 1599: 341-351.
13. Maria-Alexandra, H., C. Roman, D. Ristoiu, G. Popita and C. Tanaselia. 2013. Assessing of water quality pollution Indices for hevay metal contamination. A study case from Medias City groundwaters. *Journal of Agricultural Science* 87(3-4): 25-31.
14. Mohammadi Roozbahani, M., S. Sobhanardakani, H. Karimi and R. Sorooshnia. 2015. Natural and anthropogenic source of heavy metals pollution in the soil samples of an industrial complex; a case study. *Iranian Journal of Toxicology* 29: 1336-1341 (In Farsi).

15. Mohammadi, M., M. Mohammadi Ghaleney and K. Ebrahimi. 2011. Spatial and temporal variations of groundwater quality of Qazvin Plain. Iran. *Journal of Water Research* 5(8): 41-52 (In Farsi).
16. Naseri, H., Z. Kihamayoun and M. Nakhaei. 2013. The effect of natural and human factors on the quality of water resources in Isfahan Lenjanat Plain. *Journal of Earth Sciences* 22(85): 186-173 (In Farsi).
17. Nazari, S. and S. Sobhanardakani. 2015. Assessment of pollution index of heavy metals in groundwater resources of Qaleh Shahin plain (2013-2014). *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences* 19(2): 102-108 (In Farsi).
18. Nejatijahromi, Z., H. Nassery, M. Nakhaei and F. Alijani. 2018. Assessment of the quality of groundwater for drinking purposes in Varamin aquifer: heavy metals contamination. Iran. *Journal of Environmental Health* 10(4): 559-572 (In Farsi).
19. Nozari, H. and A. Zali. 2014. Investigating groundwater extraction from the Hamedan-Bahar Plain. *Journal of Water and Soil* 23(4): 278-290 (In Farsi).
20. Prasad, B. and K. Sangita. 2008. Heavy metal pollution index of groundwater of an abandoned open cast mine filled with fly Ash: a case study. *Journal of Mine Water and the Environment* 27(4): 265-267.
21. Prasanna, M. V., S. M. Praveena, S. Chidambaram, R. Nagarajan and A. Elayaraja. 2012. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: a case study from Curtin Lake, Miri City, East Malaysia. *Journal of Environmental Earth Sciences* 67(7): 1987-2001.
22. Rajaei, Q., A. R. Pourkhabbaz and S. Hesari Motlagh. 2012. Assessment of heavy metals health risk of groundwater in Ali Abad Katoul Plian. *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences* 4(2): 155-162 (In Farsi).
23. Reza, R. and G. Singh. 2010. Heavy metal contamination and its indexing approach for river water. *International Journal of Environmental Science and Technology* 7(4): 785-792.
24. Rezaei Raja, O., S. Sobhanardakani and M. Cheraghi. 2016. Health risk assessment of citrus contaminated with heavy metals in Hamedan City, potential risk of Al and Cu. *Journal of Environmental Health Engineering and Management* 3(3): 131-135.
25. Sobhanardakani, S., M. Jamali and M. Maànijou. 2014a. Evaluation of As, Zn, Cr and Mn concentrations in groundwater resources of Razan Plain and preparing the zoning map using GIS. *Journal of Environmental Science and Technology* 16(2): 25-38 (In Farsi).
26. Sobhanardakani, S., S. S. Razban and M. Maànijou. 2014b. Evaluation of concentration of some heavy metals in ground water resources of Qahavand Plain-Hamedan. *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences* 18(6): 339-348 (In Farsi).
27. Sobhanardakani, S. and S. M. Jafari. 2014. Assessment of heavy metals (Cu, Pb and Zn) in different tissues of common carp (*Cyprinus carpio*) caught from Shirinsu Wetland, Western Iran. *Journal of Chemical Health Risks* 4(2): 47-54.
28. Sobhanardakani, S., M. Maànijou and H. Asadi. 2015. Investigation of Pb, Cd, Cu and Mg concentrations in groundwater resources of Razan Plain. *Journal of Hamadan University of Medical Sciences* 21(4): 319-329 (In Farsi).
29. Sobhanardakani, S. 2016. Assessing of As, Zn, Pb, Cd, Cr, Cu and Mn contamination in groundwater resources of Razan Plain using water quality pollution indices. *Journal of Neyshabur University of Medical Sciences* 4(4): 33-45 (In Farsi).
30. Sobhanardakani, S. and S. Nazari. 2016. Assessment of Pb and Cd pollution in groundwater resources of Qaleeh Shahin Plain using heavy metal pollution index in 2014. *Journal of Health System Research* 12(3): 300-306 (In Farsi).
31. Sobhanardakani, S., L. Taghavi, B. Shahmoradi and A. Jahangard. 2017. Groundwater quality assessment using the water quality pollution indices in Toyserkan Plain. *Environmental Health Engineering and Management Journal* 4(1): 21-27.
32. Sobhanardakani, S., L. Tayebi and S. V. Hosseini. 2018. Health risk assessment of arsenic and heavy metals (Cd, Cu, Co, Pb, and Sn) through consumption of Caviar of *Acipenser persicus* from Southern Caspian Sea. *Environmental Science and Pollution Research* 25: 2664-2671.
33. Shafavi, F. and S. Sobhanardakani. 2020. Groundwater quality assessment using MI and PoS indices in Razan Watershed, Hamedan, Iran. *Environment and Water Engineering* 6(3): 258-273 (In Farsi).
34. Tayebi, L. and S. Sobhanardakani. 2012. Monitoring of water quality parameters of Gamasiab River and affecting factors on these parameters. *Journal of Environmental Science and Technology* 53 (2): 37-48 (In Farsi).
35. Touzandejani, M., A. Soffianian, N. Mirghaffari and M. Soleimani. 2017. Assessment of arsenic contamination probability of groundwater in Hamedan Bahar Basin using geostatistical methods. *Water and Soil* 31(3): 874-885 (In Farsi).
36. Tziritis, E., A. Panagopoulos and G. Arampatzis. 2014. Development of an operational index of water quality (PoS) as a versatile tool to assist groundwater resources management and strategic planning. *Journal of Hydrology* 517: 339-350.

37. World Health Organization (WHO). 2011. Guidelines for Drinking-Water Quality, Fourth Edition. Zurich, Switzerland.
38. Yari, A. R. and S. Sobhanardakani. 2016. Water quality assessment of groundwater resources in Qaleh Shahin Plain based on Cd and HEI. *International Archives of Health Sciences* 3(3): 101-106.

Heavy Metals Pollution Assessment in Groundwater Resources of Hamadan-Bahar Plain in 2018

A. Ghobadi¹, M. Cheraghi^{1*}, S. Sobhanardakani¹, B. Lorestani¹ and H. Merrikhpour²

(Received: April 1-2021; Accepted: June 29-2021)

Abstract

The qualitative assessment of groundwater resources as the most important sources of drinking and agricultural water is very important. Therefore, the present study was conducted to evaluate the quality of heavy metals in groundwater resources of the Hamadan-Bahar plain in 2018 using water quality indices. In so doing, a total of 120 groundwater samples were collected from 20 stations during the spring and summer seasons and the values of physico-chemical parameters were determined based on the standard methods and also the content of heavy metals was determined using inductively coupled plasma spectroscopy (ICP). The results showed that the mean concentrations of As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn ($\mu\text{g/L}$) in the samples in the spring season were 5.08, 0.260, 1.05, 2.70, 1.50, 0.490, 1.50, 7.48, and 1.75, respectively, and in the summer season were 20.7, 0.220, 0.950, 7.12, 1.34, 0.490, 1.29, 8.23, and 2.08, respectively and except for As in the summer season, the mean content of other elements was lower than maximum permissible limits established by WHO for drinking water. Meanwhile, the mean values of C_d , HPI, HEI, MI, and PoS indices in the spring season with -7.51, 9.91, 1.42, 1.42, and 328, respectively, indicate the water quality was categorized as low, low, low, low and moderately affected and in the summer season with -5.90, 10.0, 3.04, 3.04, and 673, respectively, were categorized as low, low, low, moderately affected, and high pollution. Due to the extensive use of agricultural inputs, especially chemical and organic fertilizers and chemical pesticides containing heavy metals by farmers in the study area, the possibility of increasing the concentration of heavy metals in the soil and their penetration into groundwater aquifers will not be unexpected in the medium term. Therefore, periodic monitoring in groundwater resources of the study area is recommended.

Keywords: Groundwater, Monitoring, Hamedan-Bahar plain, Qualitative indices, Heavy metals

1. Department of Environmental Science and Engineering, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

2. Department of Green Space, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Sayyed Jamaledin Asadabadi University, Asadabad, Iran.

*: Corresponding author, cheraghi@iauh.ac.ir