

مقدمه

امروزه با رشد روز افزون جمعیت، نیاز مردم به آب به منظور مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی افزایش یافته و به تبع آن نرخ استحصال از منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع تأمین نیاز آبی در اکثر نقاط جهان و به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا به‌شدت رو به تزايد است.^{۱-۳} به‌طوری‌که، افزایش نیاز آبی و در نتیجه برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها منجر به تخریب منابع آب زیرزمینی و افت کیفی قابل توجه آن‌ها شده است.^۴ علاوه بر آن، تخلیه بی‌رویه فاضلاب‌های شهری و صنعتی و ورود شیرابه‌های ناشی از زباله‌ها به محیط‌زیست و از طرفی، استفاده گسترده از کودهای شیمیایی، انواع آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها در بخش کشاورزی در سال‌های اخیر موجب آلودگی و کاهش کیفیت منابع آبی و به‌ویژه منابع آب زیرزمینی شده است.^۵

مصرف آب ناسالم و با کیفیت پائین می‌تواند بر سلامتی انسان تأثیرگذار باشد و ضمن بروز بسیاری از بیماری‌های حاد و مزمن، به‌عنوان یک عامل بسیار مهم در مرگ و میر جوامع به‌حساب آید. از این‌رو، آب مورد استفاده باید از شاخصه‌های فیزیکوشیمیایی مناسب برخوردار باشد.^۶

فلزات سنگین به‌عنوان عناصر سمی از ویژگی‌هایی همچون نیم عمر زیستی طولانی (long Biological Half-Lives)، تخریب ناپذیری (Indestructibility)، پایداری (Persistently)، زیست تخریب ناپذیری (Non-Biodegradability)، قابلیت بزرگنمایی زیستی (Bioaccumulation Capability) و همچنین تجمع‌زیستی (Bioaccumulation Potential) در بافت‌های بدن موجودات زنده برخوردار بوده که اغلب از طریق فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی به منابع آب زیرزمینی وارد شده و با انباشته شدن و رسوب کردن در بافت‌هایی مثل چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل به بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن منجر می‌شوند. از سوی دیگر خاصیت تجمع‌پذیری فلزات

سنگین در گیاهان و ورود آن‌ها به زنجیر غذایی خطرات ناشی از آن‌ها را دو چندان می‌کند.^{۷-۹}

شاخص‌های کیفی آب ابزاری برای ارزیابی و پایش تغییرات زمانی-مکانی پارامترهای کیفی آب و میزان تأثیر فعالیت‌های انسانی و طبیعی بر این منابع هستند که اطلاعات بسیار مفیدی در خصوص کیفیت منابع آب در اختیار قرار می‌دهند. بدین‌صورت که، شاخص‌های کیفی مقادیر ویژگی‌های کیفی آب را به یک مقدار کمی تبدیل کرده تا برای مدیریت و تحلیل کیفیت آب و همچنین پایش تغییرات کیفی آب در مقیاس زمانی-مکانی مورد استفاده قرار گیرند.^{۱۰} تاکنون، به‌منظور ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی چندین شاخص معرفی شده است که از جمله می‌توان به شاخص‌های کیفیت آب (Water Quality Index)، آلودگی (Contamination Index)، آلودگی فلزات سنگین (Heavy metal Pollution Index)، ارزیابی فلزات سنگین (Heavy metal Evaluation index)، فلزات سنگین (Metal Index) و کیفی (Poseidon) اشاره کرد.^{۱۱،۱۲}

در رابطه با ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی چندین مطالعه در ایران و سایر کشورها انجام شده است که از جمله می‌توان به پژوهشی که در آن به منظور ارزیابی کیفی آب زیرزمینی منطقه گجرات هند از شاخص WQI استفاده و مشخص شد که کمینه و بیشینه مقدار شاخص به‌ترتیب برابر با ۲۷/۰ و ۹۸/۰ بوده است.^{۱۳} مطالعه‌ای که در آن میانگین مقادیر شاخص‌های C_d و HPI منابع آب زیرزمینی شهر مدیاس رومانی بسیار کم‌تر از آستانه خطر و میانگین غلظت شاخص HEI در محدوده اثرات بهداشتی متوسط گزارش شد^{۱۴}، پژوهشی که نتایج آن نشان داد کیفیت منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن همدان با استناد به میانگین مقادیر شاخص‌های MI و PoS عناصر روی، سرب، کادمیم و سرب در حد قابل قبول بوده است^{۱۵}، پژوهشی که در آن مقادیر شاخص‌های C_d، HPI و HEI برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان محاسبه شد^{۱۶}، پژوهشی که پس از ارزیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی

منابع آب سطحی دائمی در استان همدان در مقایسه با دیگر مناطق کوهستانی کشور کم‌تر است، در مواجهه با خشکسالی‌های اخیر فشار بر منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و شرب به شدت افزایش یافته که منجر به آلودگی و افت کیفی این منابع شده است^{۱۵}، به همین منظور، این پژوهش با هدف ارزیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد با استفاده از شاخص‌های کیفی آب در سال ۱۳۹۷ انجام یافت.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان اسدآباد با ارتفاع ۱۶۵۰ متر از سطح دریا بین مدار ۳۷° ۳۴' تا ۵۰° ۳۴' عرض شمالی و ۴۷° ۵۱' تا ۴۷° ۵۱' طول شرقی در غرب ایران و در حاشیه شمال شرقی دشت اسدآباد واقع شده است. دشت اسدآباد با وسعت معادل ۹۶۲ کیلومتر مربع و شیب کلی از شمال شرق به جنوب غرب، بخشی از حوضه علیای کرخه محسوب می‌شود. مرتفع‌ترین نقطه این حوضه، کوه آلموبلاغ با ارتفاع بیش‌تر از ۲۹۰۰ متر و پست‌ترین نقطه آن، ایستگاه خروجی حوضه در جوار روستای خسروآباد با ارتفاع ۱۴۰۰ متر است. این دشت به دلیل تأمین آب مورد نیاز شرب، کشاورزی و صنعت منطقه از اهمیت به‌سزایی برخوردار است که در حال حاضر بهره‌برداری بی‌رویه و غیرمجاز از منابع آبی آن باعث افت سطح آبخوان شده است و سالانه حدود ۲۵ میلیون مترمکعب بر کسری آن افزوده می‌شود. از این‌رو، از سال ۱۳۷۸ این دشت از طرف وزارت نیرو جزو دشت‌های ممنوعه اعلام شد. با توجه به حجم بالای فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی در منطقه، تخلیه حجم بالایی از فاضلاب انسانی و مدیریت ضعیف جمع‌آوری و بازیابی فاضلاب، تأثیرپذیری کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه از آلاینده‌ها دور از انتظار نیست^{۱۵،۱۹}.

نمونه‌برداری

دشت رزن توسط شاخص‌های کیفی HPI، CEI و HEI نشان داد که مقادیر شاخص‌ها کم‌تر از آستانه خطر تعیین شده بوده است^{۱۶}، مطالعه‌ای که طی آن نسبت به ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت قهاوند با استفاده از شاخص‌های HPI، CEI و HEI اقدام شد^{۱۴}، پژوهشی که در آن نسبت به ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین سرپل ذهاب با استفاده از شاخص‌های CEI و HEI اقدام شد^{۱۵}، مطالعه‌ای که مقادیر شاخص‌های HEI و HPI منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد در فصول بهار و تابستان گزارش شد^{۱۶}، و در پژوهش‌هایی که در آن‌ها نسبت به ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین توسط شاخص HPI اقدام شد^{۱۷، ۱۸}، اشاره کرد.

طبق برآوردها حدود یک سوم از نیاز آبی در جهان و تقریباً ۹۰٪ آب مورد نیاز در مناطق خشک و نیم‌خشک از طریق منابع آب زیرزمین تأمین می‌شود و کمبود آب در سال‌های اخیر به یک بحران، به‌ویژه در مناطق خشک و نیم‌خشک دنیا تبدیل شده است، لذا، پایش کیفیت آب یکی از ابزارهای اصلی توسعه پایدار و در برگزیده اطلاعات ارزشمند برای مدیریت نواحی واجد بحران آبی به‌شمار می‌رود^{۱۹، ۱۸}. با توجه به محدودیت منابع آبی به دلیل وضعیت اقلیمی کشور و تشدید افت سطح آب‌های زیرزمینی و کسری مخازن در آبخوان‌ها، همچنین استحصال و استفاده بی‌رویه از این منابع به‌ویژه در بخش کشاورزی و عدم مدیریت صحیح منابع آب در استان همدان، در حال حاضر این استان از کمبود آب در مقیاس وسیع رنج می‌برد. به‌طوری‌که، این موضوع به چالش مهمی در عرصه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی تبدیل شده تا جایی که همه شهرستان‌های استان با بحران کمبود آب مواجه شده و از این‌رو به برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به‌عنوان ذخایر راهبردی و بخشی از منابع پویا و تجدیدپذیر روی آورده‌اند. بنابراین، به‌منظور مدیریت پایدار منابع آب به‌ویژه منابع آب زیرزمینی مطالعه مؤلفه‌های کیفیت منابع آب استان همدان ضروری است^{۱۶، ۱۴}. از آن‌جا که، تراکم شبکه آبراه‌ای و حجم

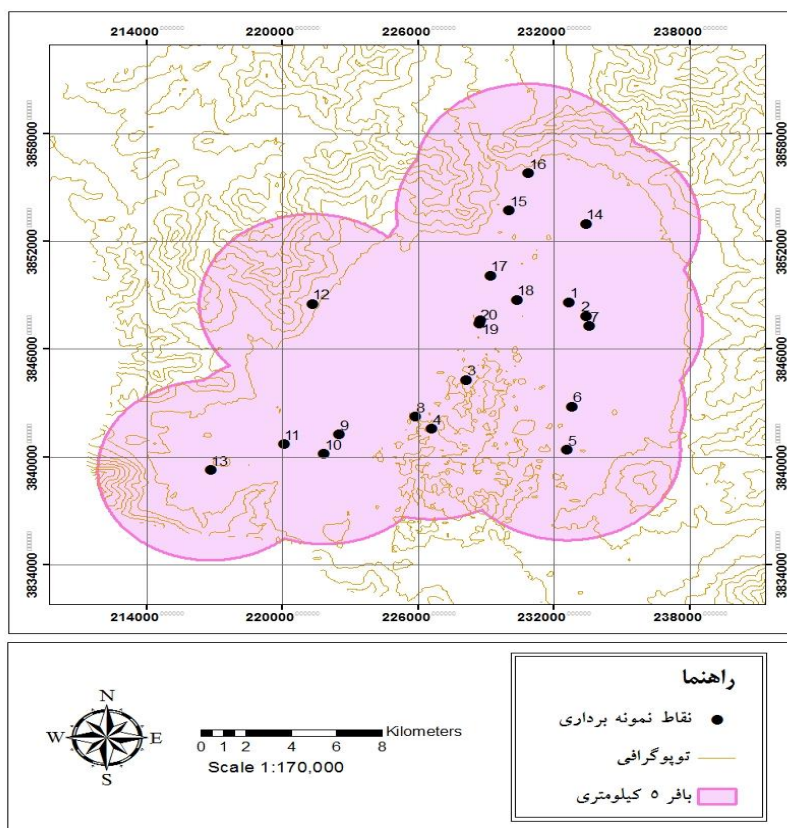
خشک) سال ۱۳۹۷ به‌روش مرکب انجام شد. بدین صورت که، در هر فصل نسبت به برداشت ۶۰ نمونه و در مجموع ۱۲۰ نمونه آب با استفاده از ظروف پلی‌اتیلنی که از قبل به‌وسیله اسید نیتریک شستشو داده شده بودند، اقدام شد. بدین منظور، ابتدا ظروف را سه مرحله با آب چاه شستشو داده و از هر ایستگاه حدود ۲۵۰ میلی‌لیتر نمونه آب برداشت شد. مقادیر دما، pH و EC نمونه‌ها نیز در محل و توسط دستگاه قابل حمل کالیبره Multi-Parameter مدل HQ30D خوانده شد. سپس، به‌منظور تعیین مقادیر پارامترهای کیفی، نمونه‌ها در اسرع وقت به‌وسیله یخدان به آزمایشگاه منتقل شدند ۲۲-۲۰.

در این مطالعه توصیفی- مقطعی، پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی و با در نظر گرفتن پراکندگی یکنواخت ایستگاه‌ها در سطح منطقه مورد بررسی و همچنین محدودیت‌های زمانی و اعتباری، با استفاده از رابطه $N=Z^2S^2/D^2$ نسبت به انتخاب ۲۰ حلقه چاه با کاربری شرب و کشاورزی و ثبت مختصات جغرافیایی آن‌ها به‌وسیله دستگاه GPS مدل ETREX 32X ساخت شرکت گارمین اقدام شد (جدول ۱). موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ آورده شده است. نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد در اواسط فصول بهار (فصل تر) و تابستان (فصل

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از آب زیرزمینی

| ایستگاه | محل نمونه‌برداری | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ایستگاه | محل نمونه‌برداری | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی |
|---------|------------------|---------------|---------------|---------|------------------|---------------|---------------|
| ۱ | بادخوره | ۲۷۶۵۲۳ | ۳۸۶۵۲۵۸ | ۱۱ | لک لک | ۷۶۹۷۳۵ | ۳۸۴۰۳۷۱ |
| ۲ | مزرعه‌بید | ۲۳۳۴۲۵ | ۳۸۴۷۸۳۸ | ۱۲ | گنجه | ۷۷۰۸۲۲ | ۳۸۴۷۸۶۲ |
| ۳ | سیف‌آباد | ۲۲۸۱۱۶ | ۳۸۴۴۲۷۰ | ۱۳ | بیتروان | ۷۶۷۰۹۳ | ۳۸۳۸۴۹۰ |
| ۴ | دولت‌آباد | ۲۲۶۵۹۱ | ۳۸۴۱۵۵۴ | ۱۴ | خاک‌ریز | ۲۳۳۴۲۰ | ۳۸۵۲۹۵۶ |
| ۵ | وندرآباد | ۲۳۲۵۸۰ | ۳۸۴۰۳۸۷ | ۱۵ | گذرگچین | ۲۳۰۰۲۱ | ۳۸۵۳۶۹۹ |
| ۶ | بهراز | ۲۳۲۷۹۱ | ۳۸۴۲۸۰۳ | ۱۶ | بوجین | ۲۳۰۸۶۷ | ۳۸۵۵۷۵۶ |
| ۷ | جنت‌آباد | ۲۳۳۵۵۶ | ۳۸۴۷۲۷۳ | ۱۷ | دهنو | ۲۲۹۱۹۱ | ۳۸۵۰۰۶۵ |
| ۸ | موسی‌آباد | ۲۲۵۸۷۹ | ۳۸۴۲۲۲۶ | ۱۸ | لطیف | ۲۳۰۳۶۷ | ۳۸۴۸۷۲۰ |
| ۹ | قاسم‌آباد | ۷۷۲۲۳۴ | ۳۸۴۰۹۳۹ | ۱۹ | احمدآباد | ۲۲۸۷۶۸ | ۳۸۴۷۵۸۴ |
| ۱۰ | نصرت‌آباد | ۷۷۱۵۲۴ | ۳۸۴۰۰۰۴ | ۲۰ | یوسف‌آباد | ۲۲۸۷۲۳ | ۳۸۴۷۳۹۵ |

آزاده قبادی و همکاران



شکل ۱: نقشه موقعیت استقرار ایستگاههای نمونه برداری

آماده سازی نمونه ها و تعیین مقادیر پارامترهای کیفی آب

در آزمایشگاه تعیین مقادیر پارامترهای کیفی آب با استناد به دستورالعمل ارائه شده در کتاب روش های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب (استاندارد متدز) انجام شد، به طوری که، مقادیر کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون توسط اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) ۰/۰۱۰ مولار^{۲۳} و مقدار سدیم نیز با روش فلیم فتومتری PFP7 تعیین شدند^{۲۴}. از طرفی، مقادیر کلر به روش موهر (آرژانومتري)، مقادیر نیترات و فسفات هم به روش اسپکتوفتومتری با اسپکترومتر Jenway مدل ۶۳۱۰ تعیین شدند^{۲۵}. در نهایت، به منظور قرائت محتوی عناصر در نمونه های آب، به نمونه هایی که از قبل با هدف تثبیت و جلوگیری از رسوب گذاری عناصر، به ازای هر ۲۵ میلی لیتر، یک

میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن ها افزوده شده بود، به مدت ۱۰ دقیقه روی هیتر در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد در زیر هود قرار داده شدند. پس از آن، نمونه ها به مدت ۱۰ دقیقه در شیکر با سرعت ملایم ۸۵ دور در دقیقه قرار داده شده و محلول ها توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف شدند. در نهایت، پس از ساخت محلول مادر (استوک) و استاندارد نمک عناصر و کالیبره کردن دستگاه نشر اتمی، محتوی عناصر در نمونه ها با روش طیف سنجی پلاسمای جفت شده القایی توسط دستگاه نشر اتمی Varian مدل 710-ES در سه تکرار خوانده شد^{۱۱۵}.

محاسبه مقادیر شاخص های کیفی آب

در این پژوهش، برای محاسبه شاخص کیفیت آب از روابط ۱ تا ۳، شاخص آلودگی از روابط ۴ و ۵، شاخص آلودگی فلزات

$$Sli = qi \times Wi \quad (3)$$

$$WQI = \sum Sli$$

در رابطه ۳: SI_i بیان‌گر شاخص بحرانی هر پارامتر، q_i بیان‌گر کیفیت نسبی هر پارامتر و W_i نیز نشان‌دهنده وزن نسبی برای هر پارامتر است. مقادیر شاخص $WQI < 50/0$ بیان‌گر کیفیت عالی و بسیار خوب، $100 < WQI < 50/0$ بیان‌گر کیفیت خوب، $200 < WQI < 100$ نشان‌دهنده کیفیت ضعیف، $300 < WQI < 200$ بیان‌گر کیفیت بسیار ضعیف و $WQI > 300$ نیز نشان‌دهنده کیفیت نامناسب برای استفاده آب به منظور آشامیدن است.^{۲۹}

$$Cd = \sum_{i=1}^n Cfi \quad (4)$$

$$Cfi = \frac{CAi}{CNI} - 1 \quad (5)$$

در روابط ۴ و ۵: شاخص Cd به منظور تعیین اثرات ترکیبی تعدادی از پارامترهای کیفی که می‌تواند اثرات نامطلوب بر کیفیت آب شرب داشته باشد، محاسبه می‌شود.^{۳۰} C_{if} بیان‌گر عامل آلودگی هر عنصر، C_{Ai} نشان‌دهنده غلظت قرائت شده عنصر مورد ارزیابی برحسب میکروگرم در لیتر و C_{Ni} نیز بیان‌گر پیشینه رواداری عناصر مورد ارزیابی برحسب میکروگرم در لیتر (برابر با ۱۰/۰ برای آرسنیک، ۳/۰۰ برای کادمیم، ۵۰/۰ برای کروم، ۲۰۰۰ برای مس، ۳۰۰ برای آهن، ۴۰۰ برای منگنز، ۲۰/۰ برای نیکل، ۱۰/۰ برای سرب و ۵۰۰۰ برای روی) است.^{۱۰} مقادیر $Cd < 1/00$ بیان‌گر آلودگی کم، $3/00 < Cd < 1/00$ بیان‌گر آلودگی متوسط و $Cd > 3/00$ نیز نشان‌دهنده آلودگی زیاد است.^{۱۰۱۴}

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n WiQi}{\sum_{i=1}^n Wi} \quad (6)$$

$$Qi = \sum_{i=1}^n \frac{\{Mi(-)Ii\}}{(Si-Ii)} \times 100 \quad (7)$$

سنگین از روابط ۶ و ۷، شاخص ارزیابی فلزات سنگین از رابطه ۲۸، شاخص کیفی از روابط ۹ و ۱۰ و شاخص فلزات از رابطه ۱۱ استفاده شد.^{۲۷،۱۱} بدین صورت که، شاخص WQI طی سه مرحله محاسبه شد. در مرحله اول، به هر پارامتر براساس اهمیت آن در کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف آشامیدن و تاثیر آن بر سلامتی، یک وزن (W_i) بین یک تا پنج تعلق گرفت که در این پژوهش بیش‌ترین وزن برابر با پنج و مربوط به نیترات بود. همچنین، به پارامترهای pH ، EC و فسفات وزن چهار، به کلر وزن سه، به کلسیم، سدیم و عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل و سرب همگی وزن دو، و به منیزیم و روی نیز وزن یک اختصاص داده شد. در مرحله دوم وزن نسبی (W_i) برای هر پارامتر با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.^{۲۸}

$$Wi = \frac{wi}{\sum_{i=1}^n wi} \quad (1)$$

در رابطه ۱: W_i بیان‌گر وزن نسبی هر پارامتر، w_i نشان‌دهنده وزن اختصاص یافته به هر پارامتر و n نیز بیان‌گر تعداد پارامترهای مورد بررسی است.

$$qi = (ci/si) \times 100 \quad (2)$$

در رابطه ۲: q_i نشان‌دهنده کیفیت نسبی هر پارامتر، c_i بیان‌گر غلظت اندازه‌گیری شده هر پارامتر در نمونه (میلی گرم در لیتر) و s_i نیز نشان‌دهنده استاندارد WHO برای هر پارامتر (میلی گرم در لیتر) به ترتیب برابر با ۸/۵۰، ۱۵۰۰، ۲۵۰، ۲۰۰، ۵۰/۰ و ۵۰/۰ برای pH ، EC ، منیزیم، کلسیم، سدیم، کلر، فسفات و نیترات و برابر با ۱۰/۰، ۳/۰۰، ۵۰/۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۲۰/۰، ۱۰/۰ و ۵۰۰۰ به ترتیب برای عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب و روی است.^{۲۹}

وجود نداشته است ($p > 0/050$). همین تفاسیر در مورد سایر پارامترهای کیفی مورد بررسی در منابع آب زیرزمینی نیز صادق است.

نتایج آزمون تی تک‌نمونه‌ای حاکی از آن بود که میانگین غلظت پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اسدآباد در فصول بهار و تابستان اختلاف معنی‌دار آماری ($p < 0/50$) با بیشینه رواداری داشته و به‌جز در مورد میانگین غلظت عنصر آرسنیک مربوط به نمونه‌های فصل تابستان، در سایر موارد کم‌تر از حد مجاز بوده است.

ماتریس همبستگی پیرسون مربوط به نمونه‌های آب زیرزمینی فصل بهار (جدول ۴) نشان داد که بین میانگین مقادیر پارامترهای EC و منیزیوم با ضریب همبستگی (r) برابر با ۰/۵۰۰ و بین میانگین مقادیر پارامترهای EC و فسفات با ۰/۶۱۰ $r =$ به ترتیب در سطوح معنی‌داری ۰/۰۵۰ و ۰/۰۱۰، بین میانگین مقادیر پارامتر منیزیوم با کلسیم و سدیم با ضریب همبستگی به ترتیب برابر با ۰/۵۶۰ و ۰/۵۸۰ هر دو در سطح معنی‌داری ۰/۰۱۰، بین میانگین مقادیر پارامتر کلسیم با سدیم با ضریب همبستگی برابر با ۰/۷۶۰ در سطح معنی‌داری ۰/۰۱۰، بین میانگین مقادیر پارامتر کلر با فسفات و سرب با ضریب همبستگی به ترتیب برابر با ۰/۵۷۰ و ۰/۵۸۰ هر دو در سطح

معنی‌داری ۰/۰۱۰، بین میانگین مقادیر پارامتر منیزیوم با کلسیم و سدیم با ضریب همبستگی به ترتیب برابر با ۰/۵۶۰ و ۰/۵۸۰ هر دو در سطح معنی‌داری ۰/۰۱۰، بین میانگین مقادیر پارامتر نیترات با مس با ضریب همبستگی برابر با ۰/۶۷۰ در سطح معنی‌داری ۰/۰۱۰، و بین میانگین مقادیر پارامتر آهن با منگنز با $r = 0/530$ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵۰، همبستگی مثبت و معنی‌دار آماری وجود داشت. علاوه بر آن، ماتریس همبستگی پیرسون مربوط به نمونه‌های آب زیرزمینی فصل تابستان (جدول ۵) نشان داد که بین میانگین مقادیر پارامتر pH و منیزیوم با ۰/۵۳۰ $r =$ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵۰، بین میانگین مقادیر پارامتر EC با نیترات ($r = 0/500$) و کلسیم ($r = 0/680$) به ترتیب در سطوح معنی‌داری ۰/۰۵۰ و ۰/۰۱۰، بین میانگین مقادیر پارامتر کلسیم با کروم ($r = 0/500$)، کادمیم ($r = 0/620$) $r =$ و نیترات ($r = 0/700$) به ترتیب در سطوح معنی‌داری ۰/۰۵۰، ۰/۰۱۰ و ۰/۰۱۰، بین میانگین مقادیر پارامتر کلر و کروم با $r = 0/490$ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵۰ و بین میانگین مقادیر پارامتر نیترات با کادمیم ($r = 0/490$) و کروم ($r = 0/490$) هر دو در سطح معنی‌داری ۰/۰۵۰، همبستگی مثبت و معنی‌دار آماری وجود داشت.

جدول ۲: مقادیر پارامترهای فیزیکی شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری در فصل بهار

| پارامتر ایستگاه | Zn | Pb | Ni | Mn | Fe | Cu | Cr | Cd | As | NO ₃ | PO ₄ | Cl | Na | Ca | Mg | EC | pH | T |
|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| ۱ | ۰/۸۶۰ ^{def} | ۱/۹۷ ^{ab} | ۰/۶۲۰ ^a | ۰/۳۰۰ ^{abcd} | ۱/۲۷ ^{abc} | ۲/۵۷ ^{cd} | ۱/۳۳ ^{abcd} | ۰/۶۵۰ ^a | ۴/۵۲ ^{abc} | ۱۰/۷ ^a | ۰/۶۰۰ ^{abcde} | ۰/۶۰۰ ^a | ۱۵/۰ ^{ab} | ۶۰/۲ ^{bc} | ۱۷/۵ ^{bc} | ۳۳۰ ^c | ۷/۳ ^{cd} | ۲۱/۵ ^c |
| ۲ | ۰/۹۶۰ ^{def} | ۹/۵۴ ^{de} | ۱/۳۷ ^{abc} | ۰/۶۰۰ ^a | ۱/۲۰ ^{abc} | ۳/۱۳ ^{cd} | ۱/۱۱ ^{abc} | ۰/۳۱۰ ^a | ۲/۲۷ ^a | ۱۴/۴ ^{abc} | ۰/۱۴۰ ^{ab} | ۰/۱۹۰ ^{abc} | ۱۸/۰ ^{bc} | ۵۰/۸ ^a | ۱۵/۶ ^{ab} | ۳۰۷ ^a | ۷/۸ ^{cd} | ۳۳/۹ ^{de} |
| ۳ | ۰/۹۵۰ ^{def} | ۹/۱۳ ^{cd} | ۱/۴۳ ^{abc} | ۰/۳۹۰ ^{abcd} | ۱/۵۱ ^{abcd} | ۵/۰۳ ^{cd} | ۰/۹۵۰ ^{ab} | ۰/۱۸۰ ^a | ۲/۱۴ ^{abc} | ۲۲/۰ ^{def} | ۰/۱۹۰ ^{abcd} | ۰/۱۶۰ ^{ab} | ۱۸/۴ ^{bc} | ۵۷/۴ ^{ab} | ۱۷/۸ ^{bc} | ۴۵۶ ^{bc} | ۷/۳ ^{ab} | ۲۲/۸ ^c |
| ۴ | ۰/۹۴۰ ^{def} | ۷/۸۸ ^{ab} | ۰/۹۵۰ ^{abc} | ۰/۳۳۰ ^{abcde} | ۱/۵۳ ^{abcd} | ۴/۱۰ ^{cd} | ۱/۷۹ ^{cd} | ۰/۳۶۰ ^a | ۳/۸۴ ^c | ۱۷/۳ ^{abc} | ۰/۳۳۰ ^{def} | ۰/۶۰۰ ^{abc} | ۱۷/۳ ^{ab} | ۷۰/۳ ^{def} | ۱۳/۰ ^a | ۴۰۹ ⁱ | ۷/۸ ^{cd} | ۳۲/۱ ^{cd} |
| ۵ | ۰/۸۵۰ ^{def} | ۸/۸۸ ^{ab} | ۱/۲۹ ^{abc} | ۰/۳۸۰ ^{abcd} | ۱/۳۳ ^{abc} | ۳/۱۰ ^{ab} | ۱/۵۰ ^{cd} | ۰/۲۹۰ ^a | ۴/۵۰ ^{abc} | ۱۱/۶ ^{ab} | ۰/۲۱۰ ^{abc} | ۰/۱۷۰ ^{abc} | ۱۱/۰ ^a | ۴۸/۶ ^a | ۱۳/۴ ^a | ۳۳۷ ^d | ۷/۵ ^{abcd} | ۳۲/۱ ^{bc} |
| ۶ | ۱/۷۴ ^l | ۵/۳۳ ^{ab} | ۱/۴۵ ^{abc} | ۰/۷۷۰ ^{abc} | ۱/۶۸ ^{cd} | ۲/۴۹ ^{abc} | ۱/۶۸ ^{cd} | ۰/۳۳۰ ^a | ۵/۷۴ ^{abc} | ۱۸/۰ ^{abcd} | ۰/۱۷۰ ^{abc} | ۰/۱۶۰ ^{ab} | ۱۸/۹ ^{bc} | ۶۹/۰ ^{abcd} | ۱۵/۶ ^{ab} | ۳۱۸ ^c | ۷/۸ ^{cd} | ۲۴/۵ ^e |
| ۷ | ۱/۸۷ ^l | ۷/۰۷ ^{abcd} | ۱/۰۴ ^{abc} | ۰/۲۹۰ ^{abcd} | ۱/۱۴ ^{ab} | ۵/۱۹ ^{ij} | ۱/۱۱ ^{abc} | ۰/۲۹۰ ^a | ۲/۵۱ ^{gh} | ۲۵/۱ ^{gh} | ۰/۱۴۰ ^a | ۰/۱۴۰ ^a | ۳۳/۱ ^{abcd} | ۲۲/۷ ^{abcd} | ۱۹/۰ ^{abcde} | ۴۹۹ ^b | ۷/۶ ^{abcd} | ۲۶/۴ ^{def} |
| ۸ | ۱/۲۲ ^l | ۲/۹۹ ^{abcd} | ۱/۳۷ ^{abc} | ۰/۵۰۰ ^h | ۱/۲۷ ^{abc} | ۴/۳۹ ^{gh} | ۱/۳۰ ^{abcde} | ۰/۲۱۰ ^a | ۴/۱۰ ^{abc} | ۲۱/۹ ^{def} | ۰/۲۰۰ ^{abc} | ۰/۱۶۰ ^{ab} | ۱۸/۷ ^{bc} | ۸۰/۶ ^{gh} | ۱۶/۰ ^{abc} | ۴۱۱ ^{def} | ۷/۵ ^{abcd} | ۲۷/۴ ^{def} |
| ۹ | ۰/۸۴۰ ^{def} | ۷/۴۴ ^{ab} | ۱/۸۱ ^{abc} | ۰/۴۶۰ ^{gh} | ۱/۵۰ ^{abcd} | ۳/۸۵ ^{def} | ۱/۵۰ ^{cd} | ۰/۲۵۰ ^a | ۳/۱۷ ^{ab} | ۱۷/۱ ^{abc} | ۰/۶۵۰ ^{def} | ۰/۱۷۰ ^{abc} | ۳۳/۷ ^{cd} | ۶۱/۵ ^{abcd} | ۱۶/۳ ^{ab} | ۵۶۵ ^g | ۷/۳ ^{abc} | ۲۲/۵ ^{de} |
| ۱۰ | ۱/۱۶ ^l | ۲/۶۷ ^{abcd} | ۱/۰۳ ^{abc} | ۰/۲۲۰ ^{ab} | ۱/۴۳ ^{abcd} | ۳/۳۰ ^{cd} | ۰/۹۸۰ ^{ab} | ۰/۲۷۰ ^a | ۵/۳۳ ^{abc} | ۱۸/۵ ^{abcd} | ۰/۶۴۰ ^{def} | ۰/۱۷۰ ^{ab} | ۳۶/۵ ^{de} | ۶۵/۵ ^{abcd} | ۲۲/۷ ^{def} | ۴۹۳ ⁱ | ۷/۸ ^{cd} | ۳۶/۴ ^{def} |
| ۱۱ | ۱/۰۸ ^{gh} | ۷/۴۰ ^{abcd} | ۱/۸۳ ^{abc} | ۰/۲۷۰ ⁱ | ۲/۳۵ ^e | ۲/۹۳ ^{cd} | ۱/۲۵ ^{abcd} | ۰/۳۳۰ ^a | ۵/۸۲ ^{abc} | ۱۶/۷ ^{cd} | ۰/۲۲۰ ^{abcd} | ۰/۱۴۰ ^a | ۳۷/۱ ^{de} | ۷۵/۳ ^{def} | ۲۲/۴ ^{def} | ۹۱۳ ⁱ | ۷/۸ ^{cd} | ۲۲/۴ ^{de} |
| ۱۲ | ۱/۸۳ ^l | ۷/۱۷ ^{abcd} | ۱/۱۵ ^{abc} | ۰/۴۱۰ ^{def} | ۲/۸۹ ^f | ۳/۹۹ ^{def} | ۱/۳۰ ^{abcde} | ۰/۱۷۰ ^a | ۳/۵۵ ^{ab} | ۱۴/۸ ^{abc} | ۰/۲۷۰ ^{gh} | ۰/۲۱۰ ^{bc} | ۱۸/۵ ^{bc} | ۶۱/۷ ^{abcd} | ۳۳/۵ ^{de} | ۴۵۶ ^{de} | ۷/۵ ^{abcd} | ۲۷/۷ ^{def} |
| ۱۳ | ۱/۰۴ ^{de} | ۷/۷۴ ^{ab} | ۰/۶۵۰ ^{ab} | ۰/۴۴۰ ^{def} | ۲/۳۳ ^e | ۳/۴۸ ^{cd} | ۱/۳۱ ^{abcde} | ۰/۱۹۰ ^a | ۳/۵۲ ^{ab} | ۱۵/۶ ^{abcd} | ۰/۳۳۰ ^{ij} | ۰/۱۹۰ ^{abc} | ۳۶/۰ ^{de} | ۷۰/۱ ^{def} | ۲۰/۸ ^{abcd} | ۶۱۸ ^m | ۷/۵ ^{abcd} | ۲۰/۵ ^e |
| ۱۴ | ۰/۸۰۰ ^{de} | ۴/۷۵ ^a | ۱/۱۰ ^{abc} | ۰/۴۷۰ ^{gh} | ۱/۸۷ ^{bc} | ۳/۹۳ ^{def} | ۰/۸۸۰ ^a | ۰/۲۶۰ ^a | ۲/۰۰ ^{abc} | ۱۴/۷ ^{abc} | ۰/۶۴۰ ^{def} | ۰/۱۵۰ ^{ab} | ۱۸/۵ ^{bc} | ۵۷/۴ ^{ab} | ۱۸/۷ ^{abcd} | ۴۵۵ ^{de} | ۷/۶۰ ^a | ۲۴/۸ ^c |
| ۱۵ | ۰/۹۹۰ ^{def} | ۱/۵۸ ^l | ۱/۳۷ ^{abc} | ۰/۳۷۰ ^{def} | ۲/۲۰ ^e | ۲/۰۳ ^{abc} | ۱/۰۳ ^{abc} | ۰/۶۵۰ ^a | ۴/۴۳ ^{abc} | ۲۴/۳ ^{gh} | ۰/۶۴۰ ^j | ۰/۳۳۰ ^c | ۲۸/۶ ^c | ۸۷/۱ | ۲۴/۱ ^{gh} | ۴۶۸ ^h | ۷/۴ ^{abc} | ۳۶/۴ ^{gh} |
| ۱۶ | ۰/۶۸۰ ^{cd} | ۷/۴۹ ^{ab} | ۰/۵۸۰ ^a | ۰/۳۷۰ ^{abc} | ۱/۳۳ ^{abcd} | ۳/۹۱ ^{def} | ۱/۳۳ ^{abcd} | ۰/۲۰۰ ^a | ۵/۱۳ ^{abc} | ۳۰/۴ ⁱ | ۰/۶۰۰ ^{abcde} | ۰/۱۷۰ ^{abc} | ۳۴/۰ ^f | ۱۰/۶ ^j | ۳۷/۵ ^{ab} | ۳۸۰ ⁿ | ۷/۳ ^{ab} | ۲۸/۹ ⁱ |
| ۱۷ | ۰/۴۹۰ ^{ab} | ۲/۳۳ ^{abcd} | ۲/۰۶ ^c | ۰/۴۵۰ ^{def} | ۱/۵۸ ^{abc} | ۴/۴۳ ^{def} | ۱/۵۷ ^{abcd} | ۰/۲۹۰ ^a | ۵/۳۳ ^{abc} | ۲۰/۴ ^{def} | ۰/۱۹۰ ^{abcd} | ۰/۱۶۰ ^{ab} | ۲۴/۱ ^{de} | ۶۹/۶ ^{abcd} | ۲۵/۴ ^{gh} | ۵۸۰ ^k | ۷/۵ ^{abcd} | ۲۲/۶ ^c |
| ۱۸ | ۰/۵۶۰ ^{bc} | ۱۰/۸ ^c | ۰/۸۹۰ ^{abc} | ۰/۴۷۰ ^{gh} | ۱/۵۰ ^{abcd} | ۵/۸۰ ^j | ۱/۴۶ ^{abcd} | ۰/۳۷۰ ^a | ۵/۹۱ ^{abc} | ۳۶/۴ ^{gh} | ۰/۶۸۰ ^{def} | ۰/۱۸۰ ^{abc} | ۲۵/۲ ^{de} | ۷۷/۵ ^{gh} | ۲۵/۵ ^{gh} | ۶۱۵ ^m | ۷/۸ ^{cd} | ۲۲/۸ ^c |
| ۱۹ | ۰/۳۸۰ ⁿ | ۵/۶۰ ^{abc} | ۱/۸۸ ^{bc} | ۰/۲۱۰ ^a | ۱/۳۳ ^{abc} | ۳/۱۰ ^{abcd} | ۰/۹۸۰ ^{ab} | ۰/۱۸۰ ^a | ۴/۱۰ ^{abc} | ۲۴/۷ ^{hi} | ۰/۶۹۰ ^{hi} | ۰/۱۹۰ ^{abc} | ۲۵/۲ ^{de} | ۸۴/۳ ^{hi} | ۲۴/۲ ⁱ | ۴۴۵ ^e | ۷/۸ ^{cd} | ۲۵/۹ ^f |
| ۲۰ | ۰/۰۴۴ ^{ab} | ۲/۶۵ ^{abcd} | ۱/۸۱ ^{abc} | ۰/۳۳۰ ^{ab} | ۱/۰۲ ^a | ۱/۳۱ ^a | ۱/۱۳ ^{abc} | ۰/۲۵۰ ^a | ۷/۳۰ ^{bc} | ۴/۵۰ ^{def} | ۰/۶۴۰ ^{def} | ۰/۱۷۰ ^{abc} | ۱۸/۸ ^{bc} | ۷۳/۵ ^{def} | ۳۳/۰ ⁱ | ۵۹۲ ⁱ | ۷/۵ ^{abcd} | ۲۴/۳ ^c |
| واحد | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | μscm | - | °C |
| میلگین | ۰/۹۷۰ | ۷/۸۲ | ۱/۳۰ | ۰/۳۳۰ | ۱/۶۱ | ۳/۵۸ | ۱/۲۵ | ۰/۳۳۰ | ۵/۱۰ | ۱۹/۳ | ۰/۳۳۰ | ۰/۱۷۰ | ۲۱/۸ | ۳۹/۴ | ۲۱/۱ | ۴۸۷ | ۷/۵۸ | ۲۴/۳ |
| MPL | ۵۰۰۰ | ۱۰۰ | ۲۰۰ | ۴۰۰ | ۳۰۰ | ۲۰۰۰ | ۵۰۰ | ۳۰۰ | ۱۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۲۵۰ | ۱۵۰۰ | ۸۵۰ | ۳۲/۰ |

حروف غیر مشترک (a, b, c, ...) در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری (p < ۰/۰۵) است.

جدول ۳: مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی به‌تکنیک ایستگاه نمونه‌برداری در فصل تابستان

| پارامتر ایستگاه | Zn | Pb | Ni | Mn | Fe | Cu | Cr | Cd | As | NO3 | PO4 | Cl | Na | Ca | Mg | EC | pH | T |
|-----------------|----------|---------|-------------|-------------|------------|-----------|-----------|-------------|--------|----------|------------|------------|-----------|-----------|----------|-------|---------|---------|
| ۱ | ۷/۱۲bcd | ۷/۸ab | ۰/۸۹۰abcde | ۰/۴۷۰fghi | ۱/۹۴h | ۸/۴۰e | ۱/۰۳abc | ۰/۱۴۰۰a | ۲۱/۸۵b | ۱۰/۴ a | ۰/۳۳۰def | ۰/۱۷۰ abcd | ۵/۳۳ ab | ۵۷/۵ bc | ۱۳/۴ cde | ۳۴۴ b | ۷/۳۳ab | ۲۱/۱b |
| ۲ | ۷/۱۱bcd | ۹/۴۵b | ۱/۸۳g | ۰/۵۱۰ghij | ۱/۷۷fghi | ۶/۱abc | ۱/۵۷d | ۰/۱۴۰۰a | ۱۸/۴۵a | ۱۱/۴ a | ۰/۳۱۰cdef | ۰/۱۶۰ abcd | ۳/۳۳ ab | ۴۳/۵ a | ۱۱/۵ bcd | ۳۹۹ a | ۷/۱۵۰ab | ۲۴/۵hij |
| ۳ | ۷/۳۳cd | ۷/۳۳ab | ۱/۳۱bcdefg | ۰/۴۴۰fghi | ۱/۸۷gh | ۶/۹abcd | ۰/۸۸۰abc | ۰/۱۶۰۰abc | ۲۱/۱ab | ۱۸/۸ bcd | ۰/۳۰۰cdef | ۰/۱۸۰ bcd | ۱/۱/۲ def | ۵۰/۵ b | ۱۶/۷ efg | ۵۸۱ | ۷/۳۳ab | ۲۱/۱bcd |
| ۴ | ۰/۸۸۰ab | ۹/۴۰ab | ۱/۳۸cdefg | ۰/۴۶۰fghi | ۷/۶۴i | ۶/۹bcd | ۰/۷۶۰۰a | ۰/۲۰۰۰abcde | ۲۱/۳ab | ۱۶/۰ b | ۰/۱۵۰۰ab | ۰/۱۵۰ abc | ۱/۴۳ f | ۴۸/۷ h | ۱۱/۰ bc | ۴۸۷ h | ۷/۳۳ ab | ۳۷/۵de |
| ۵ | ۰/۸۴۰abc | ۸/۵۵ab | ۱/۳۸bcdefg | ۰/۴۶۰fghi | ۱/۳۸bcdef | ۶/۱۷bc | ۱/۹۹abcd | ۰/۱۹۰۰abcde | ۲۱/۳ab | ۱۰/۷ a | ۰/۳۳۰def | ۰/۱۶۰ abcd | ۴/۳۳ a | ۶۵/۳ cdef | ۴/۴ a | ۴۴۱ f | ۷/۱۵۰ab | ۲۴/۱hi |
| ۶ | ۷/۴۴g | ۶/۱۸ a | ۱/۸۳fgh | ۰/۴۷۰fghi | ۱/۳۰bcdefg | ۶/۹bcd | ۱/۵۷d | ۰/۱۹۰۰abcd | ۲۳/۷b | ۱۷/۱ b | ۰/۱۷۰abcd | ۰/۱۱۰ a | ۹/۴۰ bcde | ۵۷/۱ bc | ۱۱/۰ bc | ۳۸۰ c | ۷/۳۳ ab | ۲۵/۵jk |
| ۷ | ۱/۴۵de | ۷/۶۹ ab | ۰/۵۹۰abcde | ۰/۵۲۰bcdef | ۱/۰۵abc | ۷/۴۵cde | ۰/۸۲۰abc | ۰/۲۲۰۰cde | ۲۳/۷b | ۲۱/۷ cde | ۰/۳۳۰ef | ۰/۱۵۰ abc | ۱/۰۷ cdef | ۶۴/۹ cde | ۱۷/۵ fg | ۳۰۳ a | ۷/۱۳a | ۳۳/۳ef |
| ۸ | ۱/۹۴fg | ۷/۴۴ ab | ۰/۸۸۰abcde | ۰/۴۶۰fghi | ۱/۸۴cdefgh | ۶/۹۵bcd | ۰/۸۰۰abc | ۰/۲۱۰۰bcde | ۲۳/۳ab | ۲۲/۵ def | ۰/۲۶۰ f | ۰/۱۷۰ abcd | ۷/۵۰ abcd | ۸۵/۴ hi | ۳۳/۵ i | ۴۵۵ d | ۷/۳۳ab | ۲۴/۳ghi |
| ۹ | ۱/۱۵abcd | ۶/۷۳ ab | ۰/۸۵۰ abcde | ۰/۶۳۰cdefg | ۱/۳۰cdefg | ۶/۹bcd | ۰/۸۷۰abc | ۰/۱۴۰۰ab | ۲۳/۱ab | ۱۶/۵ b | ۰/۱۷۰ abcd | ۰/۱۶۰ abcd | ۳/۳۳ ab | ۳۳/۶ fg | ۱۳/۵ cde | ۴۵۵ g | ۷/۱۵۰ab | ۲۱/۱b |
| ۱۰ | ۲/۱۸gh | ۷/۵۸ ab | ۰/۸۴۰ abcde | ۰/۳۳۰ abcde | ۰/۸۳ab | ۶/۰۱ b | ۱/۱۸abcd | ۰/۳۳۰ cde | ۲۰/۳ab | ۱۷/۹ b | ۰/۲۴۰ ef | ۰/۱۴۰ ab | ۶/۶۶ abcd | ۷۲/۵ efg | ۱۷/۳ fg | ۵۹۹ j | ۷/۴۰ ab | ۲۴/۵hij |
| ۱۱ | ۱/۳۳cd | ۸/۶۶ ab | ۱/۳۳abcd | ۰/۴۳۰cdefg | ۰/۷۵۰a | ۶/۹bcd | ۱/۰۳abc | ۰/۱۹۰۰abcd | ۲۰/۳ab | ۱۶/۶ b | ۰/۲۲۰def | ۰/۱۴۰ abc | ۸/۳۰ abcd | ۷۸/۶ gh | ۳۳/۶ i | ۴۵۹ g | ۷/۶۶ ab | ۳۳/۴fg |
| ۱۲ | ۱/۰۳abc | ۷/۵۵ ab | ۱/۸۴bcdefg | ۰/۴۳۰cdefg | ۰/۷۵۰a | ۶/۹bcd | ۱/۰۳abc | ۰/۲۰۰۰abcde | ۲۰/۳ab | ۲۳/۱ efg | ۰/۱۶۰abc | ۰/۱۳۰ ab | ۸/۱۶ abcd | ۷۳/۸ efg | ۱۸/۹ gh | ۴۳۰ e | ۷/۴۰ ab | ۳۳/۹lm |
| ۱۳ | ۱/۳۳ef | ۷/۶۵ ab | ۱/۳۰cdefg | ۰/۴۵۰fgh | ۲/۰۱i | ۶/۸۵bcd | ۰/۹۵۰abc | ۰/۱۷۰۰abc | ۲۳/۳ab | ۲۳/۵ gh | ۰/۲۳۰a | ۰/۱۷۰abcd | ۶/۵۳ abc | ۸/۹۴ ij | ۱۸/۳ fg | ۵۵۵ l | ۷/۳۳ ab | ۱۹/۵۵a |
| ۱۴ | ۱/۱۴bcd | ۶/۳۰ ab | ۱/۰۰ abcdef | ۰/۵۹۰ i | ۲/۶۴i | ۷/۰۳bcd | ۰/۹۹۰ abc | ۰/۱۸۰۰abcd | ۲۱/۳ab | ۲۴/۸ efg | ۰/۲۳۰def | ۰/۲۰۰ cd | ۶/۵۳ abc | ۶۶/۵ def | ۱۴/۸ def | ۴۶۱ d | ۷/۶۶ b | ۲۵/۰ij |
| ۱۵ | ۰/۹۱۰abc | ۷/۶۹ ab | ۰/۸۰۰ abcde | ۰/۳۹۰ab | ۲/۵۱i | ۷/۱۰ bcde | ۰/۹۹۰abc | ۰/۲۰۰۰abcde | ۲۱/۳ab | ۲۳/۶ efg | ۰/۱۵۰abc | ۰/۱۵۰ abc | ۱۳/۰ ef | ۹۶/۹ jk | ۲۳/۳ i | ۵۵۲ k | ۷/۳۳ab | ۲۵/۵jk |
| ۱۶ | ۰/۸۰۰ab | ۸/۵۹ ab | ۰/۸۵۰ abcde | ۰/۷۰۰۰ j | ۱/۵۵efgh | ۶/۸۱ bcd | ۱/۰۳abc | ۰/۳۳۰ cde | ۱۹/۳ab | ۲۲/۳ def | ۰/۱۸۰abcd | ۰/۱۵۰ abc | ۱/۰۳ cdef | ۱۰/۲ k | ۲۱/۵ hi | ۵۵۲ k | ۷/۳۳ab | ۳۷/۱m |
| ۱۷ | ۱/۳۳cd | ۸/۵۶ ab | ۰/۴۸۰ abc | ۰/۵۷۰hi | ۱/۱۸abcde | ۷/۳۳ d | ۱/۹۹cd | ۰/۳۳۰ cde | ۲۱/۳ab | ۱۸/۵ bc | ۰/۲۱۰cdef | ۰/۱۶۰ abcd | ۴/۶۰ a | ۸۱/۷ hi | ۱۳/۷ cde | ۵۸۰ l | ۷/۴۰ ab | ۳۶/۶kl |
| ۱۸ | ۰/۸۲۰a | ۷/۹۴ ab | ۰/۳۷۰ a | ۰/۲۴۰a | ۱/۳۳bcdef | ۶/۱۵ a | ۰/۸۷۰ abc | ۰/۲۰۰۰abcde | ۲۰/۳ab | ۲۸/۵ h | ۰/۱۵۰ab | ۰/۱۸۰ bcd | ۵/۳۳ ab | ۹۷/۳ jk | ۸/۳۰ b | ۶۶۰ m | ۷/۷۰ b | ۲۱/۴bc |
| ۱۹ | ۰/۹۵۰abc | ۶/۶۴ ab | ۱/۵۲efg | ۰/۳۳۰bcdef | ۱/۵۰cdefgh | ۶/۸۵bcd | ۰/۹۴۰ ab | ۰/۳۳۰ e | ۱۹/۳ab | ۲۳/۳ fgh | ۰/۱۴۰ab | ۰/۳۳۰d | ۵/۸۶ ab | ۹۶/۱ jk | ۱۰/۵ bc | ۴۴۳ f | ۷/۶۶ ab | ۲۴/۱fgh |
| ۲۰ | ۰/۹۷۰abc | ۶/۷۹ ab | ۰/۳۰۰ abcde | ۰/۳۰۰ abc | ۱/۵۰cdefgh | ۷/۵۲cde | ۰/۸۶۰ ab | ۰/۷۵۰ de | ۲۳/۳b | ۲۲/۵ def | ۰/۱۹۰ bcde | ۰/۱۸۰bcd | ۹/۴۰ bcde | ۹۶/۰ jk | ۱۰/۸bc | ۵۵۷ l | ۷/۶۶b | ۲۷/۰cd |
| واحد | µg/L | µg/L | µg/L | µg/L | µg/L | µg/L | µg/L | µg/L | µg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | µs/cm | - | °C |
| میلگن | ۷/۶۴ | ۷/۳۳ | ۱/۰۱ | ۰/۴۳۰ | ۱/۶۳ | ۶/۷۳ | ۱/۰۰ | ۰/۲۰۰ | ۲۱/۴ | ۱۹/۸ | ۰/۱۹۰ | ۰/۱۶۰ | ۸/۱۴ | ۶۵/۳ | ۱۵/۱ | ۴۷۱ | ۷/۳۸ | ۳۳/۷ |
| MPL | ۵۰۰۰ | ۱/۰ | ۲/۰ | ۴۰۰ | ۳۰۰ | ۲۰۰۰ | ۵۰/۰ | ۳/۰۰ | ۱۰/۰ | ۵۰/۰ | ۵۰/۰ | ۶۵۰ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۶۵۰ | ۱۵۰۰ | ۸/۵۰ | ۳۲/۰ |

*حروف غیر مشترک (a, b, c و ...) در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری (۰/۰۵)

جدول ۴: ماتریس همبستگی پیروسون برای بررسی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد در فصل بهار

| پارامتر | pH | EC | Mg | Ca | Na | Cl | PO ₄ | NO ₃ | As | Cd | Cr | Cu | Fe | Mn | Ni | Pb | Zn |
|-----------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------|-----------------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|------|
| pH | ۱/۰۰ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EC | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | ۰/۱۰۰ | ۰/۵۰۰* | ۱/۰۰ | | | | | | | | | | | | | | |
| Ca | ۰/۰۷۰ | ۰/۱۸۰ | ۰/۵۶۰** | ۱/۰۰ | | | | | | | | | | | | | |
| Na | ۰/۱۱۰ | ۰/۲۷۰ | ۰/۵۸۰** | ۰/۲۶۰** | ۱/۰۰ | | | | | | | | | | | | |
| Cl | ۰/۱۵۰ | ۰/۰۶۰ | ۰/۰۶۰ | ۰/۱۳۰ | ۰/۰۰۶ | ۱/۰۰ | | | | | | | | | | | |
| PO ₄ | ۰/۰۶۰ | ۰/۶۱۰** | ۰/۳۷۰ | ۰/۳۴۰ | ۰/۵۷۰** | ۰/۵۷۰** | ۱/۰۰ | | | | | | | | | | |
| NO ₃ | ۰/۱۴۰ | ۰/۱۰۰ | ۰/۱۱۰ | ۰/۶۶۰** | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۵۰ | ۱/۰۰ | | | | | | | | | |
| As | ۰/۱۱۰ | ۰/۲۴۰ | ۰/۱۱۰ | ۰/۱۴۰ | ۰/۰۶۰ | ۰/۰۳۰ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۶ | ۱/۰۰ | | | | | | | | |
| Cd | ۰/۱۶۰ | ۰/۱۱۰ | ۰/۰۷۰ | ۰/۳۴۰ | ۰/۱۴۰ | ۰/۲۶۰ | ۰/۱۹۰ | ۰/۳۸۰ | ۰/۲۸۰ | ۱/۰۰ | | | | | | | |
| Cr | ۰/۳۵۰ | ۰/۱۰۰ | ۰/۲۶۰ | ۰/۰۳۰ | ۰/۲۷۰ | ۰/۰۶۰ | ۰/۰۵۰ | ۰/۲۴۰ | ۰/۲۸۰ | ۰/۰۳۰ | ۱/۰۰ | | | | | | |
| Cu | ۰/۱۶۰ | ۰/۰۹۰ | ۰/۰۵۰ | ۰/۱۲۰ | ۰/۲۸۰ | ۰/۱۷۰ | ۰/۰۶۰ | ۰/۶۷۰** | ۰/۱۱۰ | ۰/۰۴۰ | ۰/۰۱۰ | ۱/۰۰ | | | | | |
| Fe | ۰/۱۳۰ | ۰/۲۵۰ | ۰/۰۹۰ | ۰/۰۴۰ | ۰/۲۲۰ | ۰/۳۰۰ | ۰/۵۲۰ | ۰/۲۰۰ | ۰/۲۰۰ | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۳۰ | ۰/۰۷۰ | ۱/۰۰ | | | | |
| Mn | ۰/۲۶۰ | ۰/۳۱۰ | ۰/۱۱۰ | ۰/۰۰۰۸ | ۰/۰۶۰ | ۰/۲۷۰ | ۰/۲۲۰ | ۰/۰۳۰ | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۱۰ | ۰/۱۱۰ | ۰/۲۹۰ | ۰/۵۳۰* | ۱/۰۰ | | | |
| Ni | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۶۰ | ۰/۱۲۰ | ۰/۱۲۰ | ۰/۰۷۰ | ۰/۲۳۰ | ۰/۱۱۰ | ۰/۱۰۰ | ۰/۱۰۰ | ۰/۰۱۰ | ۰/۱۰۰ | ۰/۰۶۰ | ۰/۰۲۱۰ | ۰/۰۷۰ | ۱/۰۰ | | |
| Pb | ۰/۰۱۲۰ | ۰/۰۴۰ | ۰/۰۶۰ | ۰/۱۴۰ | ۰/۱۸۰ | ۰/۵۸۰** | ۰/۳۶۰ | ۰/۲۳۰ | ۰/۱۵۰ | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۶۰ | ۰/۰۶۰ | ۰/۱۵۰ | ۰/۰۷۰ | ۰/۱۰۰ | ۱/۰۰ | |
| Zn | ۰/۱۴۰ | ۰/۰۴۰ | ۰/۰۳۹۰ | ۰/۰۲۵۰ | ۰/۰۱۶۰ | ۰/۰۶۰ | ۰/۰۲۶۰ | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۸۰ | ۰/۰۱۳۰ | ۰/۱۲۰ | ۰/۱۲۰ | ۰/۳۹۰ | ۰/۰۶۰ | ۰/۰۲۲۰ | ۰/۰۹۰ | ۱/۰۰ |

* همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

** همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

آزاده قبادی و همکاران

جدول ۵: ماتریس همبستگی پیرسون برای بررسی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد در فصل تابستان

| پارامتر | pH | EC | Mg | Ca | Na | Cl | PO ₄ | NO ₃ | As | Cd | Cr | Cu | Fe | Mn | Ni | Pb | Zn |
|-----------------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|-----------------|-----------------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|------|
| pH | ۱/۰۰ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EC | ۰/۳۰۰ | ۱/۰۰ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | ۰/۵۳۰* | ۰/۰۴۰ | ۱/۰۰ | | | | | | | | | | | | | | |
| Ca | ۰/۰۶۰ | ۰/۶۸۰** | ۰/۶۶۰ | ۱/۰۰ | | | | | | | | | | | | | |
| Na | -۰/۴۴۰* | ۰/۰۷۰ | ۰/۳۶۰ | -۰/۰۰۶ | ۱/۰۰ | | | | | | | | | | | | |
| Cl | ۰/۲۷۰ | ۰/۱۵۰ | -۰/۲۵۰ | ۰/۲۵۰ | -۰/۳۳۰ | ۱/۰۰ | | | | | | | | | | | |
| PO ₄ | -۰/۰۳۰ | -۰/۳۹۰ | ۰/۱۹۰ | -۰/۳۹۰ | -۰/۰۶۰ | -۰/۰۶۰ | ۱/۰۰ | | | | | | | | | | |
| NO ₃ | ۰/۰۸۰ | ۰/۵۰۰* | ۰/۲۷۰ | ۰/۷۰۰** | ۰/۱۱۰ | ۰/۳۵۰ | -۰/۴۳۰ | ۱/۰۰ | | | | | | | | | |
| As | -۰/۱۱۰ | ۰/۰۵۰ | -۰/۰۶۰ | ۰/۰۲۰ | ۰/۱۴۰ | -۰/۲۱۰ | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۷۰ | ۱/۰۰ | | | | | | | | |
| Cd | -۰/۰۸۰ | ۰/۳۶۰ | ۰/۰۵۰ | ۰/۶۲۰** | ۰/۱۴۰ | ۰/۱۱۰ | -۰/۰۵۰ | ۰/۴۹۰* | ۰/۱۰۰ | ۱/۰۰ | | | | | | | |
| Cr | ۰/۱۴۰ | -۰/۳۷۰ | -۰/۱۶۰ | ۰/۵۰۰* | -۰/۳۵۰ | ۰/۴۹۰* | ۰/۲۴۰ | ۰/۴۹۰* | -۰/۱۵۰ | -۰/۲۷۰ | ۱/۰۰ | | | | | | |
| Cu | -۰/۴۹۰* | -۰/۳۲۰ | ۰/۲۶۰ | -۰/۱۸۰ | ۰/۲۰۰ | ۰/۰۰۹ | ۰/۲۱۰ | ۰/۲۴۰ | ۰/۳۵۰ | ۰/۰۲۰ | ۰/۰۰۳ | ۱/۰۰ | | | | | |
| Fe | -۰/۰۸۰ | ۰/۱۴۰ | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۳۰ | ۰/۲۸۰ | ۰/۳۳۰ | -۰/۳۷۰ | ۰/۱۶۰ | ۰/۰۵۰ | -۰/۲۸۰ | -۰/۳۱۰ | ۰/۲۷۰ | ۱/۰۰ | | | | |
| Mn | -۰/۰۴۰ | -۰/۲۱۰ | ۰/۱۱۰ | -۰/۲۰۰ | -۰/۰۹۰ | -۰/۰۲۰ | ۰/۲۲۰ | -۰/۲۰۰ | -۰/۱۸۰ | -۰/۱۵۰ | ۰/۳۶۰ | ۰/۳۷۰ | ۰/۲۰۰ | ۱/۰۰ | | | |
| Ni | -۰/۰۴۰ | -۰/۴۳۰ | -۰/۳۶۰ | -۰/۴۵۰* | ۰/۰۴۰ | -۰/۰۷۰ | -۰/۲۰۰ | -۰/۲۶۰* | -۰/۱۲۰ | -۰/۲۱۰ | ۰/۴۲۰ | ۰/۱۳۰ | ۰/۲۴۰ | ۰/۲۶۰ | ۱/۰۰ | | |
| Pb | -۰/۰۳۰ | ۰/۰۸۰ | ۰/۰۰۴ | -۰/۱۷۰ | ۰/۱۳۰ | -۰/۲۵۰ | ۰/۱۲۰ | -۰/۴۶۰* | -۰/۰۸۰ | ۰-۰/۰۸۰ | ۰/۱۶۰ | -۰/۰۷۰ | -۰/۰۷۰ | ۰/۱۹۰ | -۰/۰۴۰ | ۱/۰۰ | |
| Zn | -۰/۳۱۰ | -۰/۲۵۰ | ۰/۲۵۰ | -۰/۲۵۰ | -۰/۰۵۰ | -۰/۴۱۰ | ۰/۳۴۰ | -۰/۰۵۰ | -۰/۴۰۰ | -۰/۰۱۰ | ۰/۴۳۰ | ۰/۱۴۰ | -۰/۱۹۰ | ۰/۳۰ | -۰/۲۰۰ | -۰/۳۴۰ | ۱/۰۰ |

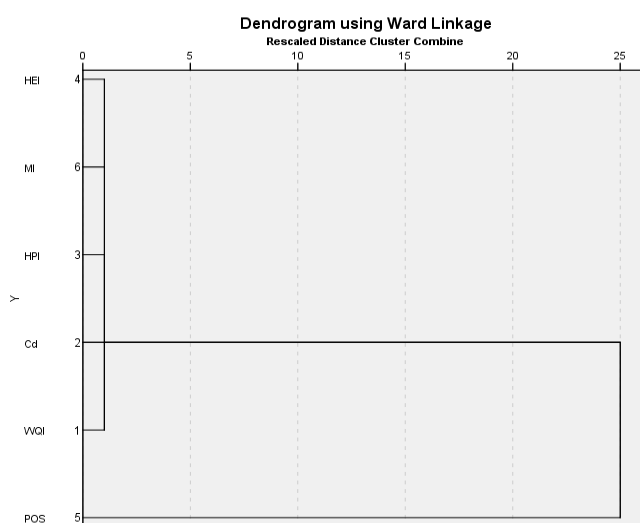
* همبستگی معنی دار در سطح ۰/۰۵۰

** همبستگی معنی دار در سطح ۰/۰۱۰

شاخص WQI در طبقه "عالی و بسیار خوب"، برای شاخص Cd در طبقه "آلودگی کم"، برای شاخص HPI در طبقه "آلودگی اندک" و برای شاخص HEI در طبقه "آلودگی کم" قرار داشته است. نتایج محاسبه مقادیر شاخص PoS نمونه‌های فصل تابستان نیز نشان داد که کیفیت آب در ۴۵٪ از ایستگاه‌ها (۱، ۲، ۳، ۹، ۱۱، ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۹) در طبقه "آلودگی متوسط" و در سایر ایستگاه‌ها در طبقه "آلودگی زیاد" قرار داشته است و به‌طور کلی میانگین مقادیر این شاخص با ۶۰۲ حاکی از "آلودگی زیاد" منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بوده است. مقادیر شاخص MI فصل تابستان با میانگین ۳/۰۵ نیز نشان داد که کیفیت آب همه ایستگاه‌ها در طبقه "تحت تأثیر متوسط" قرار داشته است.

نتایج تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی در نمودارهای ۱ و ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که شاخص‌های کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد در فصول بهار و تابستان در دو دسته قرار گرفته‌اند. به‌نحوی که، در هر دو فصل شاخص‌های WQI, Cd, HPI, HEI, MI در خوشه اول و شاخص PoS در خوشه دوم قرار گرفته است که حاکی از آن است شاخص‌های واقع در خوشه اول بیان‌گر کیفیت بهتر آب نسبت به خوشه دوم است.

نتایج محاسبه شاخص‌های WQI, Cd, HPI, HEI, MI و PoS به منظور ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در فصول بهار و تابستان به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری در جداول ۶ و ۷ آورده شده است. میانگین مقادیر شاخص‌های WQI, Cd, HPI و HEI مربوط به نمونه‌های فصل بهار نشان داد به ترتیب با ۱۸/۲، -۷/۵۳، ۹/۸۷ و ۱/۶۴ حاکی از کیفیت "عالی و بسیار خوب"، "آلودگی کم"، "آلودگی اندک" و "آلودگی کم" منابع آب زیرزمینی است. همچنین، مقادیر شاخص PoS در فصل بهار نشان داد که کیفیت آب در ۶۰٪ ایستگاه‌ها (۱، ۲، ۵، ۶، ۸، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۷ و ۱۹) در طبقه "آلودگی اندک" و در ۴۰٪ ایستگاه‌ها نیز در طبقه "آلودگی متوسط" قرار داشته و به‌طور کلی میانگین مقادیر شاخص با ۲۹۸ حاکی از "آلودگی اندک" منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بوده است. در حالی که، مقادیر شاخص MI با میانگین ۱/۶۴ نشان داد که در ۹۵٪ ایستگاه‌ها کیفیت آب در طبقه "تحت تأثیر اندک" و در ۵٪ ایستگاه‌ها (ایستگاه ۱۵) کیفیت آب در طبقه "تحت تأثیر متوسط" قرار داشته است. از سوی دیگر، میانگین مقادیر شاخص‌های کیفی WQI, Cd, HPI و HEI در نمونه‌های فصل تابستان به ترتیب با ۱۸/۰، -۵/۹۴، ۹/۸۷ و ۳/۰۵ نشان داد که کیفیت آب همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری برای

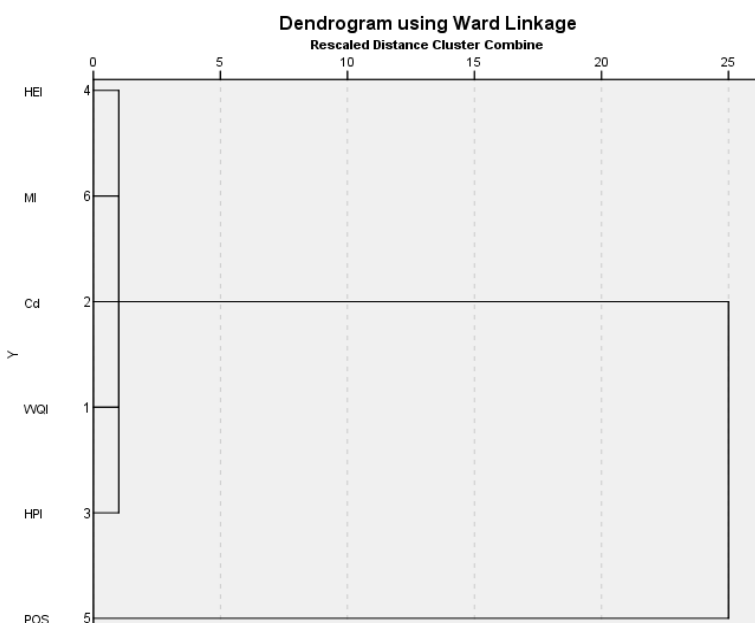


نمودار ۱: نتایج تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی شاخص‌های کیفی منابع آبی دشت اسدآباد در فصل بهار

آزاده قبادی و همکاران

جدول ۶: نتایج محاسبه شاخص‌های ارزیابی کیفی نمونه‌های آب فصل بهار به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری

| شاخص ایستگاه | WQI | کیفیت آب | Cd | کیفیت آب | HPI | کیفیت آب | HEI | کیفیت آب | PoS | کیفیت آب | MI | کیفیت آب |
|--------------|------|------------------|-------|-----------|------|-------------|------|-----------|-----|--------------|------|-----------------|
| ۱ | ۱۴/۷ | عالی و بسیار خوب | -۶/۰۴ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۲/۹۵ | آلودگی کم | ۵۶۹ | آلودگی متوسط | ۲/۹۵ | تحت تأثیر متوسط |
| ۲ | ۱۵/۳ | عالی و بسیار خوب | -۶/۰۲ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۲/۹۷ | آلودگی کم | ۵۵۸ | آلودگی متوسط | ۲/۹۷ | تحت تأثیر متوسط |
| ۳ | ۱۷/۹ | عالی و بسیار خوب | -۶/۹۶ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۳/۰۳ | آلودگی کم | ۵۹۵ | آلودگی متوسط | ۳/۰۳ | تحت تأثیر متوسط |
| ۴ | ۱۷/۲ | عالی و بسیار خوب | -۵/۸۳ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۳/۲۶ | آلودگی کم | ۶۲۷ | آلودگی زیاد | ۳/۲۶ | تحت تأثیر متوسط |
| ۵ | ۱۵/۱ | عالی و بسیار خوب | -۵/۷۸ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۳/۲۱ | آلودگی کم | ۶۰۴ | آلودگی زیاد | ۳/۲۱ | تحت تأثیر متوسط |
| ۶ | ۱۶/۷ | عالی و بسیار خوب | -۵/۸۲ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۳/۱۷ | آلودگی کم | ۶۱۹ | آلودگی زیاد | ۳/۱۷ | تحت تأثیر متوسط |
| ۷ | ۱۷/۷ | عالی و بسیار خوب | -۵/۸۳ | آلودگی کم | ۹/۸۷ | آلودگی اندک | ۳/۱۶ | آلودگی کم | ۶۳۰ | آلودگی زیاد | ۳/۱۶ | تحت تأثیر متوسط |
| ۸ | ۱۸/۲ | عالی و بسیار خوب | -۵/۸۵ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۳/۱۴ | آلودگی کم | ۶۲۳ | آلودگی زیاد | ۳/۱۴ | تحت تأثیر متوسط |
| ۹ | ۱۷/۲ | عالی و بسیار خوب | -۶/۰۱ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۲/۹۸ | آلودگی کم | ۵۸۹ | آلودگی متوسط | ۲/۹۸ | تحت تأثیر متوسط |
| ۱۰ | ۱۸/۳ | عالی و بسیار خوب | -۶/۰۰ | آلودگی کم | ۹/۸۷ | آلودگی اندک | ۲/۹۹ | آلودگی کم | ۵۹۲ | آلودگی متوسط | ۲/۹۹ | تحت تأثیر متوسط |
| ۱۱ | ۱۷/۵ | عالی و بسیار خوب | -۵/۹۶ | آلودگی کم | ۹/۸۷ | آلودگی اندک | ۳/۰۳ | آلودگی کم | ۵۹۸ | آلودگی متوسط | ۳/۰۳ | تحت تأثیر متوسط |
| ۱۲ | ۱۶/۵ | عالی و بسیار خوب | -۶/۰۰ | آلودگی کم | ۹/۸۷ | آلودگی اندک | ۲/۹۹ | آلودگی کم | ۵۸۲ | آلودگی متوسط | ۲/۹۹ | تحت تأثیر متوسط |
| ۱۳ | ۱۸/۰ | عالی و بسیار خوب | -۵/۸۷ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۳/۱۲ | آلودگی کم | ۶۱۳ | آلودگی زیاد | ۳/۱۲ | تحت تأثیر متوسط |
| ۱۴ | ۱۶/۷ | عالی و بسیار خوب | -۶/۱۱ | آلودگی کم | ۹/۸۵ | آلودگی اندک | ۲/۸۸ | آلودگی کم | ۵۶۵ | آلودگی متوسط | ۲/۸۸ | تحت تأثیر متوسط |
| ۱۵ | ۱۹/۴ | عالی و بسیار خوب | -۵/۹۶ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۳/۰۳ | آلودگی کم | ۶۱۴ | آلودگی زیاد | ۳/۰۳ | تحت تأثیر متوسط |
| ۱۶ | ۲۰/۹ | عالی و بسیار خوب | -۶/۰۵ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۲/۹۴ | آلودگی کم | ۶۰۷ | آلودگی زیاد | ۲/۹۴ | تحت تأثیر متوسط |
| ۱۷ | ۱۸/۹ | عالی و بسیار خوب | -۵/۸۱ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۳/۱۸ | آلودگی کم | ۶۰۳ | آلودگی زیاد | ۳/۱۸ | تحت تأثیر متوسط |
| ۱۸ | ۲۱/۰ | عالی و بسیار خوب | -۶/۰۲ | آلودگی کم | ۹/۸۷ | آلودگی اندک | ۲/۹۷ | آلودگی کم | ۶۰۶ | آلودگی زیاد | ۲/۹۷ | تحت تأثیر متوسط |
| ۱۹ | ۱۹/۲ | عالی و بسیار خوب | -۶/۲۰ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۲/۷۹ | آلودگی کم | ۵۶۸ | آلودگی متوسط | ۲/۷۹ | تحت تأثیر متوسط |
| ۲۰ | ۱۵/۸ | عالی و بسیار خوب | -۵/۸۲ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۳/۱۷ | آلودگی کم | ۶۱۶ | آلودگی زیاد | ۳/۱۷ | تحت تأثیر متوسط |
| میانگین | ۱۷/۹ | عالی و بسیار خوب | -۵/۹۴ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۳/۰۵ | آلودگی کم | ۶۰۲ | آلودگی زیاد | ۳/۰۵ | تحت تأثیر متوسط |



نمودار ۲: نتایج تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی شاخص‌های کیفی منابع آبی دشت اسدآباد در فصل تابستان

جدول ۷: نتایج محاسبه شاخص‌های ارزیابی کیفی نمونه‌های آب فصل تابستان به تفکیک ایستگاه نمونه برداری

| شاخص ایستگاه | WQI | کیفیت آب | Cd | کیفیت آب | HPI | کیفیت آب | HEI | کیفیت آب | PoS | کیفیت آب | MI | کیفیت آب |
|--------------|------|------------------|-------|-----------|------|-------------|------|-----------|-----|--------------|------|-----------------|
| ۱ | ۱۵/۳ | عالی و بسیار خوب | -۷/۶۰ | آلودگی کم | ۹/۸۷ | آلودگی اندک | ۱/۳۹ | آلودگی کم | ۲۶۷ | آلودگی اندک | ۱/۳۹ | تحت تأثیر اندک |
| ۲ | ۱۵/۵ | عالی و بسیار خوب | -۷/۸۶ | آلودگی کم | ۹/۸۷ | آلودگی اندک | ۱/۳۶ | آلودگی کم | ۲۵۳ | آلودگی اندک | ۱/۳۶ | تحت تأثیر اندک |
| ۳ | ۱۷/۸ | عالی و بسیار خوب | -۷/۳۱ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۱/۶۸ | آلودگی کم | ۳۳۳ | آلودگی متوسط | ۱/۶۸ | تحت تأثیر اندک |
| ۴ | ۱۷/۹ | عالی و بسیار خوب | -۷/۱۶ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۱/۸۳ | آلودگی کم | ۳۶۱ | آلودگی متوسط | ۱/۸۳ | تحت تأثیر اندک |
| ۵ | ۱۵/۱ | عالی و بسیار خوب | -۷/۴۷ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۱/۵۲ | آلودگی کم | ۲۸۱ | آلودگی اندک | ۱/۵۲ | تحت تأثیر اندک |
| ۶ | ۱۷/۱ | عالی و بسیار خوب | -۷/۷۰ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۱/۲۹ | آلودگی کم | ۲۶۶ | آلودگی اندک | ۱/۲۹ | تحت تأثیر اندک |
| ۷ | ۱۸/۳ | عالی و بسیار خوب | -۷/۴۸ | آلودگی کم | ۹/۸۷ | آلودگی اندک | ۱/۵۱ | آلودگی کم | ۳۱۴ | آلودگی متوسط | ۱/۵۱ | تحت تأثیر اندک |
| ۸ | ۱۸/۶ | عالی و بسیار خوب | -۷/۷۰ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۱/۲۹ | آلودگی کم | ۲۷۲ | آلودگی اندک | ۱/۲۹ | تحت تأثیر اندک |
| ۹ | ۱۷/۱ | عالی و بسیار خوب | -۷/۴۳ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۱/۲۶ | آلودگی کم | ۲۵۲ | آلودگی اندک | ۱/۲۶ | تحت تأثیر اندک |
| ۱۰ | ۱۸/۸ | عالی و بسیار خوب | -۷/۶۴ | آلودگی کم | ۹/۸۷ | آلودگی اندک | ۱/۳۵ | آلودگی کم | ۲۸۴ | آلودگی اندک | ۱/۳۵ | تحت تأثیر اندک |
| ۱۱ | ۱۸/۱ | عالی و بسیار خوب | -۷/۴۶ | آلودگی کم | ۹/۸۵ | آلودگی اندک | ۱/۵۳ | آلودگی کم | ۳۰۹ | آلودگی متوسط | ۱/۵۳ | تحت تأثیر اندک |
| ۱۲ | ۱۶/۷ | عالی و بسیار خوب | -۷/۷۷ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۱/۲۲ | آلودگی کم | ۲۴۶ | آلودگی اندک | ۱/۲۲ | تحت تأثیر اندک |
| ۱۳ | ۱۸/۳ | عالی و بسیار خوب | -۷/۴۳ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۱/۲۶ | آلودگی کم | ۲۶۱ | آلودگی اندک | ۱/۲۶ | تحت تأثیر اندک |
| ۱۴ | ۱۶/۱ | عالی و بسیار خوب | -۷/۷۵ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۱/۲۴ | آلودگی کم | ۲۵۷ | آلودگی اندک | ۱/۲۴ | تحت تأثیر اندک |
| ۱۵ | ۱۹/۶ | عالی و بسیار خوب | -۶/۷۸ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۲/۲۱ | آلودگی کم | ۴۲۱ | آلودگی متوسط | ۲/۲۱ | تحت تأثیر متوسط |
| ۱۶ | ۲۰/۸ | عالی و بسیار خوب | -۷/۶۱ | آلودگی کم | ۹/۸۷ | آلودگی اندک | ۱/۳۸ | آلودگی کم | ۳۱۷ | آلودگی متوسط | ۱/۳۸ | تحت تأثیر اندک |
| ۱۷ | ۱۹/۰ | عالی و بسیار خوب | -۷/۵۷ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۱/۴۲ | آلودگی کم | ۲۹۴ | آلودگی اندک | ۱/۴۲ | تحت تأثیر اندک |
| ۱۸ | ۲۱/۰ | عالی و بسیار خوب | -۷/۱۵ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۱/۸۴ | آلودگی کم | ۳۴۷ | آلودگی متوسط | ۱/۸۴ | تحت تأثیر اندک |
| ۱۹ | ۱۹/۸ | عالی و بسیار خوب | -۷/۸۵ | آلودگی کم | ۹/۸۷ | آلودگی اندک | ۱/۱۴ | آلودگی کم | ۲۵۷ | آلودگی اندک | ۱/۱۴ | تحت تأثیر اندک |
| ۲۰ | ۱۵/۷ | عالی و بسیار خوب | -۶/۴۰ | آلودگی کم | ۹/۸۷ | آلودگی اندک | ۱/۵۹ | آلودگی کم | ۳۱۲ | آلودگی متوسط | ۱/۵۹ | تحت تأثیر اندک |
| میانگین | ۱۸/۲ | عالی و بسیار خوب | -۷/۵۳ | آلودگی کم | ۹/۸۶ | آلودگی اندک | ۱/۶۴ | آلودگی کم | ۲۹۸ | آلودگی اندک | ۱/۶۴ | تحت تأثیر اندک |

بحث

برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی، می‌تواند علاوه بر بروز تغییر در کیفیت آب زیرزمینی، در افت سفره‌های این منابع نیز بسیار مؤثر باشد که در نهایت به شوری و ناپایداری منابع آبی منجر می‌شود^{۳۴}. همچنین، کشت وسیع انواع محصولات کشاورزی در منطقه مورد مطالعه و به تبع آن استفاده بی‌رویه از آفت‌کش‌ها، کودها و سموم شیمیایی حاوی آرسنیک، مس و کروم و نظایر آن می‌تواند به تجمع آلاینده‌ها به‌ویژه فلزات سنگین در خاک و به دنبال آن منابع آب زیرزمینی منجر شود^{۳۵،۳۶}. بنابراین، تغییر در کیفیت و آلودگی این منابع دور از انتظار نخواهد بود. به‌علاوه، بیش‌تر بودن میانگین مقادیر برخی پارامترهای کیفی

منابع آب در فصل تابستان در مقایسه با فصل بهار را می‌توان با نبود جریان‌های سطحی ناشی از بارش، افزایش میزان تبخیر آب به‌علت افزایش درجه حرارت در فصل خشک (تابستان) و یا حتی در برخی موارد به کاهش میزان جریان منابع آب سطحی مرتبط دانست^{۳۷}. در این رابطه، نتایج پژوهشی که با هدف ارزیابی کیفی و تعیین مقادیر عناصر روی، سرب، کادمیم و مس منابع آب زیرزمینی اطراف یک ناحیه معدنی سنگ آهک در نیجریه طی فصول خشک و پرباران انجام یافت، نشان داد که مقادیر شاخص HPI آب در دوره فصل خشک با ۱۴۰۸ بسیار بزرگ‌تر از مقادیر شاخص در فصل پرباران با ۲۹۹ بوده است^{۳۸}. این در حالی است که، سبجان اردکانی و نظری نیز با مطالعه آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین، نتایج مشابهی

رومانی نشان داد که میانگین مقادیر شاخص‌های C_d و HPI به ترتیب برابر با $6/61-$ و $3/78$ و بسیار کم‌تر از آستانه خطر و میانگین مقادیر شاخص HEI برابر با $2/39$ و در محدوده اثرات بهداشتی متوسط گزارش شد^{۱۳}. بیشینه مقادیر شاخص HPI منابع آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین در فصول زمستان و تابستان به ترتیب برابر با $11/4$ و $19/5$ گزارش شد. مقادیر شاخص‌های C_d ، HPI و HEI منابع آب زیرزمینی دشت رزن در فصل بهار به ترتیب برابر با $2/96-$ ، $45/4$ و $4/04$ و در فصل تابستان نیز به ترتیب برابر با $3/54-$ ، $45/0$ و $3/59$ و در هر دو فصل کم‌تر از آستانه خطر گزارش شد^{۱۴}. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت قهاوند نشان داد که مقادیر شاخص‌های C_d ، HPI و HEI در فصل بهار به ترتیب برابر با $2/27-$ ، $9/01$ و $1/73$ و در فصل تابستان نیز به ترتیب برابر با $1/95-$ ، $8/69$ و $2/04$ و در هر دو فصل در سطوح آلودگی اندک بوده است^{۱۵}، میانگین مقادیر شاخص‌های C_d و HEI برای ارزیابی آلودگی عناصر آرسنیک، روی، سرب و کادمیم در منابع آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین در استان کرمانشاه برای فصول زمستان و تابستان 1392 به ترتیب برابر با $0/610-$ و $3/30$ و $0/900$ و $4/54$ و در هر دو فصل بسیار کم‌تر از آستانه خطر گزارش شد^{۱۶}. مقادیر شاخص‌های HPI و HEI برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد در فصل بهار به ترتیب برابر با $9/29$ و $25/6$ و در فصل تابستان نیز به ترتیب برابر با $8/88$ و $27/2$ و بسیار کم‌تر از آستانه خطر گزارش شد^{۱۷}. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین نشان داد که مقادیر شاخص HPI برای فصول زمستان و تابستان به ترتیب برابر با $4/73$ و $11/7$ و بسیار کم‌تر از مقادیر بحرانی آلودگی بود^{۱۸}. نتایج ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان با استفاده از شاخص‌های C_d ، HPI و HEI نشان داد که مقادیر این شاخص‌ها در فصل بهار به ترتیب برابر با $2/81-$ ، $9/74$ و $1/20$ و در فصل تابستان نیز به ترتیب برابر با $2/67-$ ، $9/51$ و $1/32$ بوده است^{۱۹} و میانگین مقادیر شاخص‌های MI و PoS برای

را در ارتباط با افزایش غلظت فلزات سنگین در فصل کم‌بارش (تابستان) نسبت به فصل پر بارش (زمستان) گزارش کردند^{۱۶}. گرچه به نظر می‌رسد که استحصال از منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان داد که مقادیر شاخص‌های C_d ، HPI و HEI در نمونه‌های پائین دست به ترتیب برابر با $3/15-$ (آلودگی کم)، $10/5$ (آلودگی اندک) و $4/84$ (آلودگی کم) و در نمونه‌های بالادست نیز به ترتیب برابر $6/20-$ (آلودگی کم)، $3/12$ (آلودگی اندک) و $1/54$ (آلودگی کم) بوده است^{۱۷}. میانگین مقادیر شاخص‌های C_d ، HPI و HEI برای ارزیابی آلودگی عناصر آرسنیک، روی سرب، کادمیم، کروم، مس و منگنز در منابع آب زیرزمینی دشت رزن در فصل بهار با $2/96-$ ، $45/4$ و $4/04$ به ترتیب نشان‌دهنده "آلودگی کم"، "آلودگی اندک" و "آلودگی کم" و در فصل تابستان نیز با $3/54-$ ، $45/0$ و $3/59$ به ترتیب بیان‌گر "آلودگی کم"، "آلودگی اندک" و "آلودگی کم" منابع آب مورد مطالعه بود^{۱۸}. از طرفی، نتایج ارزیابی کیفی منابع آب آشامیدنی شهر رفسنجان با استفاده از شاخص WQI نشان داد که کیفیت $14/3\%$ از منابع آب در طبقه "عالی و بسیار خوب" و $85/7\%$ از منابع در طبقه "خوب" قرار داشته است^{۱۹}. نتایج ارزیابی کیفی مخازن چاه نیمه استان سیستان و بلوچستان نشان داد که کیفیت بیشتر نمونه‌های آب از محدوده "خوب" تا "ضعیف" متغیر بوده است^{۲۰}. همچنین، نتایج ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد نشان داد که میانگین مقادیر شاخص‌های HPI و HEI در فصل بهار به ترتیب برابر با $9/29$ و $25/6$ و در فصل تابستان نیز به ترتیب برابر با $8/88$ و $27/3$ و بسیار کم‌تر از آستانه خطر (100) بوده است^{۲۱}. میانگین مقادیر شاخص‌های MI و PoS برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن همدان در فصل بهار با $0/920$ و $0/360$ به ترتیب بیان‌گر سطح کیفی "پاک" و "آلودگی حداقل" و در فصل تابستان نیز با $1/05$ و $0/410$ به ترتیب بیان‌گر سطح کیفی "تحت تأثیر اندک" و "آلودگی حداقل" گزارش شد^{۲۲}. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی شهر مدیاس

این مطالعه با هدف ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد با استفاده از شاخص‌های WQI، Cd، HPI، HEI، PoS و MI در سال ۱۳۹۷ انجام یافت. نتایج نشان داد که به جز در مورد عنصر آرسنیک مربوط به نمونه‌های فصل تابستان، میانگین غلظت همه عناصر در نمونه‌های آب فصول بهار و تابستان کمتر از حداکثر غلظت مجاز سازمان بهداشت جهانی برای شرب بوده است. لذا، مصرف طولانی‌مدت از منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه می‌تواند مخاطرات بهداشتی ناشی از عنصر آرسنیک را برای مصرف‌کنندگان به دنبال داشته باشد. البته با استفاده بی‌رویه از نهاده‌های کشاورزی همچون آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای فسفاته، رواج استفاده از کودهای آلی با احتمال آلودگی به انواع فلزات سنگین، استفاده از فاضلاب‌های شهری برای آبیاری و لجن فاضلاب به‌عنوان کود، که می‌تواند افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک اراضی و به تبع آن آلودگی منابع آب زیرزمینی از طریق فرآیند روان‌شویی را به دنبال داشته باشد، دور از انتظار نخواهد بود. لذا، با توجه به نتایج پژوهش و به‌منظور کنترل کیفیت منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه نسبت به بررسی منشأیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی در دشت اسدآباد و سایر دشت‌های استان، اعمال مدیریت تلفیقی آفات و اعمال پایش دوره‌ای کیفیت منابع آب زیرزمینی پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری تخصصی محیط‌زیست مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان با کد ۱۷۱۴۸۰۰۶۹۰۷۶۴۲۱۱۶۲۲۹۲۵۰۰ است. بدین‌وسیله نویسندگان از حوزه معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه برای فراهم کردن امکانات اجرای مطالعه، سپاسگزاری می‌کنند.

ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن همدان در فصل بهار با ۰/۹۲۰ و ۰/۳۶۰ به ترتیب سطح کیفی "پاک" و "آلودگی حداقل" و در تابستان نیز با ۱/۰۵ و ۰/۴۱۰ به ترتیب سطح کیفی "تحت تاثیر اندک" و "آلودگی حداقل" را نشان داد.^۸

با توجه به نتایج تحلیل خوشه‌ای و همچنین میانگین مقادیر شاخص PoS فصل تابستان با ۶۰۲، می‌توان آلودگی زیاد منابع آب در منطقه مورد مطالعه را با میانگین مقادیر بیش‌تر از حد استاندارد عنصر آرسنیک مرتبط دانست. لذا، می‌توان اذعان داشت که عنصر آرسنیک بیش‌ترین نقش را در کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز دشت اسدآباد داشته است و مصرف آب این منابع در طولانی‌مدت به احتمال زیاد اثرات جبران‌ناپذیری را برای مصرف‌کننده به دنبال خواهد داشت. در خصوص منشأ عنصر آرسنیک در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از فعالیت‌های انسانی نیز علاوه بر کاربرد علف‌کش‌های حاوی آرسنیک^۹، می‌توان به نقش یون‌های کربنات در کربناتی کردن کانی‌های سولفید آرسنیک که به آب‌شویی آرسنیک و به تبع آن ورود این عنصر به منابع آب زیرزمینی منجر می‌شود^۶، اشاره کرد. از سوی دیگر، نباید کاهش جریان‌های سطحی ناشی از افت بارش و تشدید تبخیر در فصل تابستان، استفاده از فاضلاب شهری برای آبیاری زمین‌های کشاورزی و از طرفی استقرار کشتارگاه‌های صنعتی و دامداری‌ها، کارگاه‌های آسیاب پلاستیک، صنایع غذایی، صنایع لبنی، شهرک‌های صنعتی، کارخانه قند و کارگاه‌های ریخته‌گری در حاشیه دشت اسدآباد^۷ در افزایش غلظت آلاینده‌های منابع آب زیرزمینی نادیده گرفته شود.

نتیجه‌گیری

Reference

- Sobhanardakani S, Mañijou M, Asadi H. Investigation of Pb, Cd, Cu and Mg concentrations in groundwater resources of Razan Plain. *J Hamadan Univ Med Sci* 2015; 21(4): 319-29 (In Persian).
- Eslami H, Tajik R, Esmaeili M, et al. Assessment of the quality of Rafsanjan drinking water resources using water quality index (WQI) model in 2018: A descriptive study. *J Rafsanjan Univ Med Sci* 2020; 18(10): 996-85 (In Persian).
- Ibrahim MN. Assessing groundwater quality for drinking purpose in Jordan: application of water quality index. *J Ecol Eng* 2019; 20(3): 101-11.
- Nazari S, Sobhanardakani S. Assessment of pollution index of heavy metals in groundwater resources of Qaleh Shahin plain (2013-2014). *J Kermanshah Univ Med Sci* 2015; 19(2): 102-08 (In Persian).
- Abbasnia A, Yousefi N, Mahvi AH, et al. Evaluation of groundwater quality using water quality index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: Case study of Sistan and Baluchistan province (Iran). *Hum Ecol Risk Assess* 2019; 25(4): 988-1005.
- Milovanovic M. Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axios/Vardar River Southeastern Europe. *Desalination* 2007; 213(1): 159-73.
- Rezaei Raja O, Sobhanardakani S, Cheraghi M. Health risk assessment of citrus contaminated with heavy metals in Hamedan city, potential risk of Al and Cu. *Environ Health Eng Manage J* 2016; 3(3): 131-5.
- Sobhanardakani S. Assessing of As, Zn, Pb, Cd, Cr, Cu and Mn contamination in groundwater resources of Razan Plain using water quality pollution indices. *J Neyshabur Univ Med Sci* 2017; 4(4): 33-45 (In Persian).
- Sobhanardakani S. Ecological and human health risk assessment of heavy metals content of atmospheric dry deposition, a case study: Kermanshah, Iran. *Biol Trace Elem Res* 2019; 187(2): 602-10.
- Sobhanardakani S, Taghavi L, Shahmoradi B, et al. Groundwater quality assessment using the water quality pollution indices in Toyserkan Plain. *Environ Health Eng Manage J* 2017; 4(1): 21-7.
- Shafavi F, Sobhanardakani S. Groundwater quality assessment using MI and PoS indices in Razan Watershed Hamedan Iran. *Environ Water Eng* 2020; 6(3): 258-73 (In Persian).
- Krishan G, Singh S, Kumar C, et al. Assessment of groundwater quality for drinking purpose by using water quality index (WQI) in Muzaffarnagar and Shamli Districts Uttar Pradesh India. *Hydrol Current Res* 2016; 7(227): 1-4.
- Maria-Alexandra H, Roman C, Ristoiu D, et al. Assessing of water quality pollution Indices for heavy metal contamination A study case from Medias City groundwaters. *J Agric Sci* 2013; 87(3-4): 25-31.
- Sobhanardakani S. Evaluation of the water quality pollution indices for groundwater resources of Ghahavand Plain, Hamadan Province, Western Iran. *Iran J Toxicol* 2016; 10(3): 35-40.
- Yari AR, Sobhanardakani S. Water quality assessment of groundwater resources in Qaleeh Shahin Plain based on Cd and HEI. *Int Arch Health Sci* 2016; 3(3): 101-06.
- Sobhanardakani S, Yari AR, Taghavi L, et al. Water quality pollution indices to assess the heavy metal contamination, Case study: Groundwater resources of Asadabad Plain in 2012. *Arch Hyg Sci* 2016; 5(4): 221-8.
- Sobhanardakani S, Nazari S. Assessment of Pb and Cd pollution in groundwater resources of Qaleeh Shahin Plain using heavy metal pollution index in 2014. *J Health Sys Res* 2016; 12(3): 300-06 (In Persian).
- Aly AA, Al-Omran AM, Alharby MM. The water quality index and hydrochemical characterization of groundwater resources in Hafar Albatin Saudi Arabia. *Arab J Geosci* 2015; 8(6): 4177-90.
- Ghobadi A, Cheraghi M, Sobhanardakani S, et al. Groundwater quality modeling using a novel hybrid data-intelligence model based on gray wolf optimization algorithm and multi-layer perceptron artificial neural network a case study in Asadabad Plain Hamedan Iran. *Environ Sci Pollut Res* doi: 10.1007/s11356-021-16300-4.
- Sobhanardakani S, Jamali M, Mañijou 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 Technol* 2014a; 16(2): 25-38 (In Persian).
- Sobhanardakani S, Razban SS, Mañijou M. Evaluation of concentration of some heavy metals in ground water resources of Qahavand Plain-Hamedan. *J Kermanshah Univ Med Sci* 2014b; 18(6): 339-48 (In Persian).
- Tayebi L, Sobhanardakani S. Monitoring of water quality parameters of Gamasiab River and affecting factors on these parameters. *J Environ Sci Technol* 2012; 53(2): 37-48 (In Persian).
- Ghobadi A, Cheraghi M, Sobhanardakani S, et al. Hydrogeochemical characteristics temporal and spatial variations for evaluation of groundwater quality of Hamedan-Bahar Plain as a major agricultural region West of Iran. *J Environ Earth Sci* 2020; 79: 428.
- Kumar SK, Rammoham V, Sahayan JD, et al. Assessment of groundwater quality and hydrogeochemistry of Manimuktha River basin Tamil Nadu India. *J Environ Monit Assess* 2009; 1599: 341-51.

25. Helbling DE, VanBriesen JM. Continuous monitoring of residual chlorine concentrations in response to controlled microbial intrusions in a laboratory-scale distribution system. *J Water Res* 2008; 42: 3162-72.
26. Edet AE, Offiong OE. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring, A case study from Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (southeastern Nigeria). *GeoJ* 2002; 57(4): 295-304.
27. Tziritis E, Panagopoulos A, Arampatzis G. Development of an operational index of water quality (PoS) as a versatile tool to assist groundwater resources management and strategic planning. *J Hydrol* 2014; 517: 339-50.
28. Al-Hadithi M. Application of water quality index to assess suitability of groundwater quality for drinking purposes in Ratmao-Pathri Rao watershed Haridwar District India. *Am J Sci Ind Res* 2012; 3(6): 395-402.
29. Logeshkumaran A, Magesh N, Godson PS, et al. Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment Anna Nagar part of Chennai City Tamil Nadu India. *Appl Water Sci* 2015; 5(4): 335-43.
30. Prasanna MV, Praveena SM, Chidambaram S, et al. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring a case study from Curtin Lake Miri City East Malaysia. *J Environ Earth Sci* 2012; 67(7): 1987-2001.
31. World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking-Water Quality. Fourth Edition 2011; pp 564.
32. Reza R, Singh G. Heavy metal contamination and its indexing approach for river water. *Int J Environ Sci Technol* 2010; 7(4): 785-92.
33. Caerio S, Costa MH, Ramos TB, et al. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment an index analysis approach. *J Ecol Indic* 2005; 5(2): 155-69.
34. Bahrami F, Dastourani M. Quality assessment of groundwater in the plain of Sarayan using water quality index (WQI). *Iran J Irrigat Drain* 2019; 4(3): 1064-74 (In Persian).
35. Sobhanardakani S, Tayebi L, Hosseini SV. 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. *Environ Sci Pollut Res* 2018; 25: 2664-71.
36. Touzandejani M, Soffianian A, Mirghafari N, et al. Assessment of arsenic contamination probability of groundwater in Hamedan-Bahar Basin using geostatistical methods. *Water Soil* 2017; 31(3): 874-85 (In Persian).
37. Sobhanardakani S, Jafari SM. Assessment of heavy metals (Cu, Pb and Zn) in different tissues of common carp (*Cyprinus carpio*) caught from Shirinsu Wetland Western Iran. *J Chem Health Risk* 2014; 4(2): 47-54.
38. Ameh EG, Akpah FA. Heavy metal pollution indexing and multivariate statistical evaluation of hydrogeochemistry of River PovPov in Itakpe ironore mining area Kogi State Nigeria. *Adv Appl Sci Res* 2011; 2(1): 33-46.
39. Khalaji M, Ebrahimi E, Motaghe E, et al. Water quality assessment of the Zayandehroud Lake using WQI index. *Iran Sci Fish J* 2016; 25(5): 51-63 (In Persian).
40. Mohammadi M, Mohammadi Ghaleney M, Ebrahimi K. Spatial and temporal variations of groundwater quality of Qazvin Plain. *Iran Water Res J* 2011; 5(8): 41-52 (In Persian).
41. Hassanzadeh R, Abbasnejad A, Hamzeh MA. Assessment of groundwater pollution in Kerman urban areas. *J Environ Stud* 2011; 36(56): 101-10 (In Persian).
42. Sakizadeh M. The quality variation of groundwater in Malayer City with an emphasis on the impacts of agricultural land use on the quality of water. *Human Environ* 2017; 15(1): 25-36 (In Persian).
43. Hosseinpour Moghaddam M, Lashkaripour GR, Dehghan P. Assessing the effect of heavy metal concentrations (Fe, Pb, Zn, Ni, Cd, As, Cu, Cr) on the quality of adjacent groundwater resources of Khorasan steel complex. *Int J Plant Anim Env Sci* 2014; 4(2): 511-8.
44. Hosseini H, Shakeri A, Rezaei M, et al. Application of water quality index (WQI) and hydro-geochemistry for surface water quality assessment, Chahnimeh reservoirs in the Sistan and Baluchestan Province. *Iran J Health Environ* 2019; 11(4): 575-86 (In Persian).
45. Asghari Moghaddam A, Barzegar R. Considering factors affecting high arsenic concentration in groundwater resources of Tabriz Plain aquifers. *GeoSci* 2015; 24(94): 177-91 (In Persian).
46. Ramanathan AL, Balakrishna PM, Chidambaram S. Groundwater arsenic contamination and its health effect case studies from India and South East Asia. *Ind J Geochem* 2007; 22: 371-84.
47. Sobhanardakani S. Health risk assessment of inorganic arsenic through groundwater drinking pathway in some agricultural districts of Hamedan, west of Iran. *Avicenna J Environ Health Eng* 2018; 5(2): 73-7.

Qualitative Assessment of Groundwater Resources of Asadabad Plain using WQI, C_d, HPI, HEI, PoS and MI Indices in 2018

A. Ghobadi¹, M. Cheraghi^{2*}, S. Sobhanardakani³ and B. Lorestani²

¹ Ph.D. of Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

² Ph.D. of Environmental Science, Associate Professor in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

³ Ph.D. of Environmental Science, Professor in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

*E-mail: cheraghi@iauh.ac.ir

Received: 7 November. 2021; Accepted: 18 December. 2021

ABSTRACT

Background & Objective: Nowadays, the increase in population growth rate and followed by anthropogenic activities such as urbanization, industrialization, mining and agriculture practices continuously increase the amount of heavy metals in the environment especially groundwater resources. Therefore, qualitative assessment of groundwater resources is of great importance for maintaining public health and for this reason, this study was conducted to qualitative assessment of groundwater resources of Asadabad Plain using WQI, C_d, HPI, HEI, PoS and MI indices in 2018.

Materials & Methods: In this descriptive cross-sectional study, 120 groundwater samples were collected from 20 stations in the spring and the summer seasons and their temperature, pH and EC values were measured on-site. In the laboratory, the values of physicochemical parameters were determined according to the standard methods. Also, the content of heavy metals was determined using inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES). All statistical analyses were performed using SPSS software.

Results: The results showed that the average concentrations of Na, PO₄, Cl⁻, Ca, Mg and NO₃⁻ (mg/L) in samples of the spring season were 21.8, 0.230, 0.170, 69.0, 21.1 and 19.3, respectively; and in the summer season were 8.14, 0.190, 0.160, 75.3, 15.6 and 19.8, respectively. Also, the average concentrations of As, Fe, Zn, Pb, Cd, Cr, Cu, Mn and Ni (µg/L) in samples of the spring season were 5.10, 1.61, 0.970, 7.82, 0.230, 1.25, 3.58, 0.360, and 1.30; and in the summer season were 21.4, 1.62, 1.24, 7.63, 0.200, 1.00, 6.73, 0.430, and 1.01, respectively, and except for As in samples of the summer season, the average concentrations of all elements in groundwater samples of both seasons were lower than the maximum permissible concentration (MPC) established by WHO for drinking water. In addition, water quality index (WQI), pollution index (C_d), heavy metal pollution index (HPI), heavy metal evaluation index (HEI), quality index (PoS) and heavy metal index (MI) of samples of the spring season with values of 18.2, -7.53, 9.86, 1.64, 298 and 1.64, respectively, indicate the quality of groundwater were categorized in "excellent and very good", "low pollution", "low pollution", "low pollution", "low pollution" and "slightly affected" classes and in the summer season with values of 17.9, -5.94, 9.86, 3.05, 602, 3.05, respectively, were categorized in "excellent and very good", "low pollution", "low pollution", "low pollution", "high pollution" and "moderately affected" classes.

Conclusion: Although only the average values of As in groundwater samples of the summer season were higher than the MPC, management of the use of agricultural inputs such as pesticides, chemical and organic fertilizers and municipal wastewater for irrigation to maintain the quality of groundwater resources of the study area is recommended.

Keywords: Aquifer, Heavy metals, Drinking water, Water quality, Anthropogenic activities