

ایمیل: cheraghi@iauh.ac.ir - شماره تماس: ۰۸۱۳۴۴۸۱۶۶۳

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 به عنوان مهم ترین منبع تأمین نیاز آبی در اکثر نقاط جهان و به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا به شدت رو به تزايد است.^{۱-۳} به طوری که، افزایش نیاز آبی و در نتیجه برداشت بی رویه از آبخوان ها منجر به تخریب منابع آب زیرزمینی و افت کیفی قابل توجه آن ها شده است.^۴ علاوه بر آن، تخلیه بی رویه فاضلاب های شهری و صنعتی و ورود شیرابه های ناشی از زباله ها به محیط زیست و از طرفی، استفاده گسترده از کودهای شیمیایی، انواع آفت کش ها و حشره کش ها در بخش کشاورزی در سال های اخیر موجب آلودگی و کاهش کیفیت منابع آبی و به ویژه منابع آب زیرزمینی شده است.^۵

مصرف آب ناسالم و با کیفیت پائین می تواند بر سلامتی انسان تأثیرگذار باشد و ضمن بروز بسیاری از بیماری های حاد و مزمن، به عنوان یک عامل بسیار مهم در مرگ و میر جوامع به حساب آید. از این رو، آب مورد استفاده باید از شاخصه های فیزیکوشیمیایی مناسب برخوردار باشد.^۶

فلزات سنگین به عنوان عناصر سمی از ویژگی هایی 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 تجمع زیستی (Bioaccumulation Potential) در بافت های بدن موجودات زنده برخوردار بوده که اغلب از طریق فعالیت های صنعتی و کشاورزی به منابع آب زیرزمینی وارد شده و با انباشته شدن و رسوب کردن در بافت هایی مثل چربی، عضلات، استخوان ها و مفاصل به بروز بیماری ها و عوارض متعددی در بدن منجر می شوند. از سوی دیگر خاصیت تجمع پذیری فلزات

سنگین در گیاهان و ورود آن ها به زنجیر غذایی خطرات ناشی از آن ها را دو چندان می کند.^{۷-۹}

شاخص های کیفی آب ابزاری برای ارزیابی و پایش تغییرات زمانی-مکانی پارامترهای کیفی آب و میزان تأثیر فعالیت های انسانی و طبیعی بر این منابع هستند که اطلاعات بسیار مفیدی در خصوص کیفیت منابع آب در اختیار قرار می دهند. بدین صورت که، شاخص های کیفی مقادیر ویژگی های 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.^۲ تاکنون، به منظور ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی چندین شاخص معرفی شده است که از جمله می توان به شاخص های 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،۱۰}

در رابطه با ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی چندین مطالعه در ایران و سایر کشورها انجام شده است که از جمله می توان 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 به ترتیب برابر با ۲۷/۰ و ۹۸/۰ بوده است.^{۱۲} مطالعه ای که در آن میانگین مقادیر شاخص های *Cd* و *HPI* منابع آب زیرزمینی شهر مدیاس رومانی بسیار کم تر از آستانه خطر و میانگین غلظت شاخص *HEI* در محدوده اثرات بهداشتی متوسط گزارش شد^{۱۳}، پژوهشی که نتایج آن نشان داد کیفیت منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن همدان با استناد به میانگین مقادیر شاخص های *MI* و *PoS* عناصر روی، سرب، کادمیم و سرب در حد قابل قبول بوده است^{۱۱}، پژوهشی که در آن مقادیر شاخص های *Cd*، *HPI* و *HEI* برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان محاسبه شد^۹، 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^۸، 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 ۳۴° ۵۰' عرض شمالی و ۴۷° ۵۱' تا ۴۷° 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 به سزایی 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 C_d ، HPI و HEI نشان داد که مقادیر شاخص‌ها کم‌تر از آستانه خطر تعیین شده بوده است^۸، مطالعه‌ای که طی آن نسبت به ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت قهاوند با استفاده از شاخص‌های C_d ، HPI 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 C_d 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.

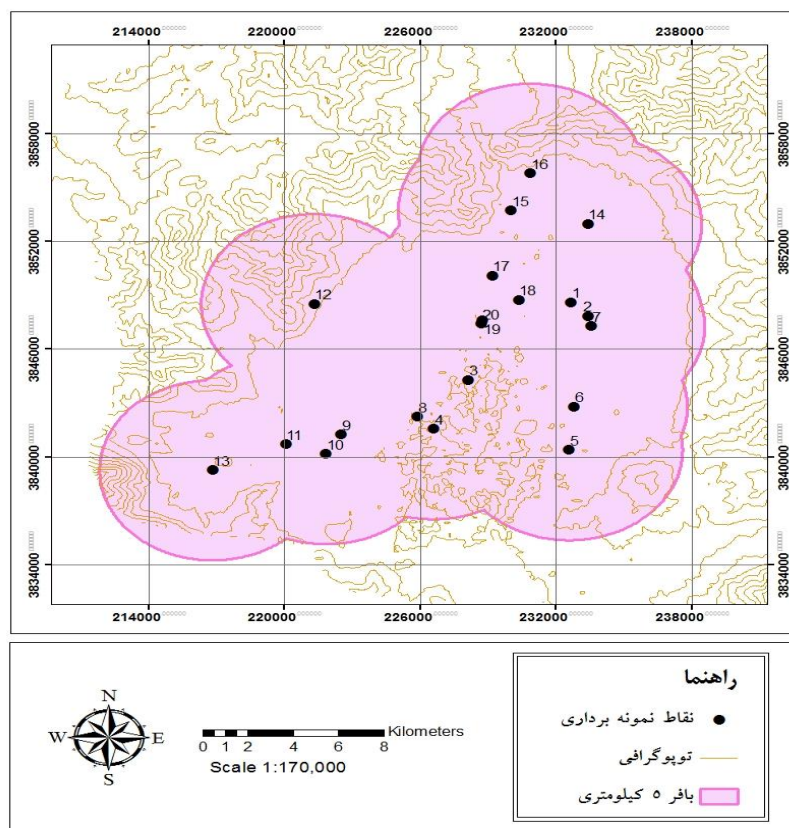
طبق برآوردها حدود یک سوم از نیاز آبی در جهان و تقریباً ۹۰٪ آب مورد نیاز در مناطق خشک و نیم‌خشک از طریق منابع آب زیرزمین تأمین می‌شود و کمبود آب در سال‌های اخیر به یک بحران، به‌ویژه در مناطق خشک و نیم‌خشک دنیا تبدیل شده است، لذا، پایش کیفیت آب یکی از ابزارهای اصلی توسعه پایدار و در برگیرنده اطلاعات ارزشمند 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 آبراهه‌ای و حجم

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 به وسیله 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

خشک) سال ۱۳۹۷ به روش مرکب انجام شد. بدین صورت که، در هر فصل نسبت به برداشت ۶۰ نمونه و در مجموع ۱۲۰ نمونه آب با استفاده از ظروف پلی اتیلنی که از قبل به وسیله 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 میلی لیتر 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، به منظور تعیین مقادیر پارامترهای کیفی، نمونه‌ها در اسرع وقت به وسیله یخدان به آزمایشگاه منتقل شدند ۲۲-۲۰.

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از آب زیرزمینی

ایستگاه	محل نمونه برداری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ایستگاه	محل نمونه برداری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	بادخوره	۲۷۶۵۲۳	۳۸۶۵۲۵۸	۱۱	لک لک	۷۶۹۷۳۵	۳۸۴۰۳۷۱
۲	مزرعه بید	۲۳۳۴۲۵	۳۸۴۷۸۳۸	۱۲	گنجه	۷۷۰۸۲۲	۳۸۴۷۸۶۲
۳	سیف آباد	۲۲۸۱۱۶	۳۸۴۴۲۷۰	۱۳	بیتروان	۷۶۷۰۹۳	۳۸۳۸۴۹۰
۴	دولت آباد	۲۲۶۵۹۱	۳۸۴۱۵۵۴	۱۴	خاک ریز	۲۳۳۴۲۰	۳۸۵۲۹۵۶
۵	وندر آباد	۲۳۲۵۸۰	۳۸۴۰۳۸۷	۱۵	گذرگچین	۲۳۰۰۲۱	۳۸۵۳۶۹۹
۶	بهراز	۲۳۲۷۹۱	۳۸۴۲۸۰۳	۱۶	بوجین	۲۳۰۸۶۷	۳۸۵۵۷۵۶
۷	جنت آباد	۲۳۳۵۵۶	۳۸۴۷۲۷۳	۱۷	دهنو	۲۲۹۱۹۱	۳۸۵۰۰۶۵
۸	موسی آباد	۲۲۵۸۷۹	۳۸۴۲۲۲۶	۱۸	لطیف	۲۳۰۳۶۷	۳۸۴۸۷۲۰
۹	قاسم آباد	۷۷۲۲۳۴	۳۸۴۰۹۳۹	۱۹	احمدآباد	۲۲۸۷۶۸	۳۸۴۷۵۸۴
۱۰	نصرت آباد	۷۷۱۵۲۴	۳۸۴۰۰۰۴	۲۰	یوسف آباد	۲۲۸۷۲۳	۳۸۴۷۳۹۵



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 (آرژانتومتری)، 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^{۱۵}.

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، qi بیان‌گر کیفیت نسبی هر پارامتر و Wi 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.^{۱۵،۱۴}

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

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

سنگین از روابط ۶ و ۷، شاخص ارزیابی فلزات سنگین از رابطه ۸، 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 (Wi) 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 (Wi) برای هر پارامتر با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.^{۲۸}

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

در رابطه ۱: Wi بیان‌گر وزن نسبی هر پارامتر، Wi 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: qi نشان‌دهنده کیفیت نسبی هر پارامتر، Ci بیان‌گر غلظت اندازه‌گیری شده هر پارامتر در نمونه (میلی گرم در لیتر) و si 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}

$$\text{PoS} = \sum_{i=1}^M Qfi \quad (9)$$

$$Qfi = 10^3 \times [Mj \times Wj]/Sj \quad (10)$$

در روابط ۹ و ۱۰: Mj بیانگر مقادیر آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب و روی و مقادیر منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، سولفات، کلر، فسفات، نترات برحسب میکروگرم در لیتر و همچنین، مقادیر EC برحسب میکروزیمنس در سانتی متر در نمونه‌ها است. Wj نشان‌دهنده میانگین وزنی آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب، روی منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، سولفات، کلر، فسفات، نترات و EC در نمونه‌هاست که در این پژوهش به‌ترتیب برابر با ۰/۱۹۰، ۰/۱۵۰، ۰/۰۵۷، ۰/۰۲۹، ۰/۰۱۹، ۰/۰۲۹، ۰/۰۹۵، ۰/۱۵۰، ۰/۰۵۷، ۰/۰۱۹، ۰/۰۱۹، ۰/۰۱۹، ۰/۰۱۹، ۰/۰۱۹ در نظر گرفته شد. Sj نیز بیانگر حداکثر استاندارد ارائه شده پارامترهای منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، سولفات، کلر، فسفات، نترات و EC است که در این پژوهش به‌ترتیب برابر با ۷۵۰۰۰، ۵۰۰۰۰، ۲۵۰۰۰۰، ۲۵۰۰۰۰، ۱۲۰۰۰، ۵۰۰۰۰، ۴۵۰۰۰ (میکروگرم در لیتر) و ۱۵۰۰ (میکروزیمنس در سانتی‌متر) در نظر گرفته شدند^{۳۷}. همچنین، بیشینه رواداری برای عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب، روی نیز به‌ترتیب برابر با ۱۰/۰، ۳/۰۰، ۵۰/۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۲۰/۰ و ۱۰/۰ (میکروگرم در لیتر) در نظر گرفته شد^{۳۱}.

$$\text{MI} = \sum \frac{\text{Cl}}{\text{MAC}} \quad (11)$$

در رابطه ۱۱: Cl و MAC به ترتیب نشان‌دهنده غلظت و بیشینه رواداری هر یک از عناصر هر دو برحسب میکروگرم در لیتر است.^{۲۷} مقادیر شاخص MI و PoS در شش طبقه کیفی به شرح ذیل، دسته‌بندی می‌شوند: خیلی، یاک ($MI < ۰/۳۰۰$)،

در روابط ۶ و ۷: شاخص HPI یک روش برای رتبه‌بندی کیفیت آب بر اساس فلزات سنگین است که با استفاده از آن می‌توان اثر فلزات سنگین را بر سلامت انسان تعیین کرد. W_i بیان‌گر نسبت وزنی عناصر مورد ارزیابی (برابر با ۰/۲۰ برای آرسنیک، کروم و منگنز، ۰/۳۰۰ برای کادمیم، ۰/۰۰۱ برای مس، ۰/۰۰۵ برای آهن، ۰/۰۵۰ برای نیکل، ۰/۷۰۰ 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 نشان‌دهنده 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 ۱۰/۰، ۳/۰۰، ۵۰/۰، ۲۰۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰، ۲۰/۰ و ۱۰/۰ و ۳۰۰۰) و Si نیز نشان‌دهنده رهنمود سازمان بهداشت جهانی برای عناصر مورد ارزیابی برحسب میکروگرم در لیتر است^{۳۱،۴}. 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 نشان‌دهنده آلودگی اندک آب به فلزات سنگین است^{۳۲،۱۵}.

$$\text{HEI} = \sum_{i=1}^n \frac{Hc}{Hmac} \quad (\lambda)$$

در رابطه ۸: با محاسبه شاخص HEI می‌توان نسبت به رتبه‌بندی کلی کیفیت آب بر اساس آلودگی فلزات سنگین و درک بهتر از شرایط کیفی آب اقدام کرد. H_c و H_{mac} به‌ترتیب نشان‌دهنده غلظت قرائت شده عنصر مورد ارزیابی و حداکثر غلظت مجاز هر عنصر مورد ارزیابی هر دو برحسب 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 $HEI > 800$ نیز بیان‌گر آلودگی زیاد آب به فلزات سنگین است.^{۳۴،۱۵}

پاک ($MI \leq 1/00$)، $MI < 3/00$)، تحت تأثیر اندک ($MI \leq 2/00$)
 $MI < 4/00$)، تحت تأثیر متوسط ($MI < 2/00$)، تحت تأثیر
 زیاد ($MI \leq 6/00$) و تحت تأثیر شدید ($MI > 6/00$)؛
 پاک-آلودگی حداقل ($PoS \leq 150$)، آلودگی اندک ($300 \leq$
 $PoS < 150$)، آلودگی متوسط ($600 \leq PoS < 300$)، آلودگی
 زیاد ($1200 \leq PoS < 600$)، آلودگی خیلی زیاد ($PoS \leq 2400$)
 $PoS < 1200$) و آلودگی شدید ($PoS > 2400$)^{۳۰،۳۱}.

پردازش آماری داده‌ها

پردازش آماری داده‌ها با استفاده از نسخه ۱۹ نرم‌افزار SPSS انجام یافت. بدین صورت که، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها، از آزمون تی تک‌نمونه‌ای (One-Sample T-Test) برای مقایسه میانگین مقادیر پارامترهای کیفی مورد بررسی با بیشینه رواداری سازمان بهداشت جهانی، از آزمون تی مستقل (Independent Sample T-Test) به منظور مقایسه پارامترهای کیفی آب در فصول مختلف نمونه‌برداری، از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncan Multiple Range Test) برای مقایسه میانگین مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری، از آزمون همبستگی پیرسون (Pearson Correlation Coefficient) برای تعیین همبستگی بین پارامترها و به منظور طبقه‌بندی مقادیر شاخص‌های کیفی آب نیز از تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (Hierarchical Cluster Analysis) استفاده شد.

یافته‌ها

نتایج مربوط به مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در فصول بهار و تابستان به ترتیب در جداول ۲ و ۳ آورده شده است. نتایج مندرج در جداول ۲ و ۳ حاکی از آن است که بیشینه مقادیر پارامترهای

دما برحسب درجه سانتی‌گراد، pH، EC برحسب میکروزیمنس در سانتی‌متر، منیزیم، کلسیم، سدیم، کلر، فسفات، نترات همگی برحسب میلی‌گرم در لیتر و عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب و روی همگی برحسب میکروگرم در لیتر در نمونه‌های آب فصل بهار با ۲۸/۹، ۷/۸۶، ۰/۲۹۰، ۸/۷۴، ۳۰/۵، ۰/۳۴۰، ۰/۲۳۰، ۳۴/۰، ۱۰۶، ۳۳/۰، ۰/۲۳، ۱/۷۹، ۵/۸۰، ۲/۸۹، ۰/۶۷۰، ۲/۰۶، ۱۵/۹ و ۱/۸۳ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱۶، (۴ و ۱۰)، ۱۱، ۲۰، ۱۶، ۱۶، ۱۵، ۱۶، ۴، (۵، ۷ و ۱۷)، ۴، ۱۸، ۱۲، ۱۱، ۱۷، ۱۵ و ۱۲ و بیشینه مقادیر این پارامترها در نمونه‌های فصل تابستان نیز با ۲۷/۱، ۷/۷۰، ۳۳۶، ۲۳/۶، ۱۰۲، ۱۴/۴، ۰/۲۲۰، ۰/۲۶۰، ۲۸/۵، ۲۳/۶، ۰/۲۶۰، ۱/۵۹، ۸/۴۰، ۳/۰۱، ۰/۷۰۰، ۱/۹۳، ۹/۴۹ و ۲/۴۴ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱۶، ۱۸، ۱۸، ۱۱، ۱۶، ۴، ۱۹، ۸، ۱۸، ۶، ۱۹، ۶، ۱، ۱۳، ۱۶، ۲، ۲ و ۶ بوده است. همچنین، نتایج آزمون تی مستقل نشان داد که، بین فصول بهار و تابستان از حیث میانگین مقادیر پارامترهای pH، منیزیم، کلسیم، سدیم، کلر، فسفات، آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل و روی منابع آب دشت اسدآباد اختلاف معنی‌دار آماری (۰/۰۵۰ < p) وجود داشته است. این در حالی است که بین میانگین مقادیر دما، EC، نترات و سرب در هر دو فصل نمونه‌برداری اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشت (p > ۰/۰۵۰).

نتایج آزمون‌های تحلیل واریانس یک‌طرفه و تعقیبی دانکن (حروف لاتین مندرج در جداول ۲ و ۳) بیان‌گر آن بود که به عنوان مثال از حیث میانگین غلظت کلسیم در نمونه‌های آب فصل بهار بین ایستگاه‌های ۱، ۳، ۷، ۹، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ و در نمونه‌های آب فصل تابستان نیز بین ایستگاه‌های ۱، ۳ و ۶ اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشته است (p > ۰/۰۵۰). همچنین، از حیث میانگین غلظت سدیم هم در نمونه‌های آب فصل بهار بین ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۸، ۱۲ و ۱۴ و در نمونه‌های آب فصل تابستان نیز بین ایستگاه‌های ۱، ۲، ۶، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ اختلاف معنی‌دار آماری

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 اسداباد در فصول بهار و تابستان اختلاف معنی‌دار آماری ($p < 0/050$) 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 $r =$ به‌ترتیب در سطوح معنی‌داری ۰/۰۵۰ و ۰/۰۱۰، بین میانگین مقادیر پارامتر منیزیوم با کلسیم و سدیم با ضریب همبستگی به‌ترتیب 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 به‌ترتیب 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 به‌ترتیب 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 $r = 0/530$ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵۰، بین میانگین مقادیر پارامتر EC با نیترات ($r = 0/500$) و کلسیم ($r = 0/680$) به‌ترتیب در سطوح معنی‌داری ۰/۰۵۰ و ۰/۰۱۰، بین میانگین مقادیر پارامتر کلسیم با کروم ($r = 0/500$)، کادمیم ($r = 0/620$) و نیترات ($r = 0/700$) به‌ترتیب 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	Zn	Pb	Ni	Mn	Fe	Cu	Cr	Cd	As	NO ₃	PO ₄	Cl	Na	Ca	Mg	EC	pH	T	ایستگاه
۱	۰/۸۶۰ ^{def}	۱/۹۷ ^{def}	۰/۲۲۰ ^a	۰/۲۰۰ ^{abcd}	۱/۲۷ ^{abc}	۲/۵۷ ^{bcd}	۱/۳۲ ^{abcd}	۰/۲۵۰ ^a	۴/۵۲ ^{abc}	۱۰/۲ ^a	۰/۲۰۰ ^{abcde}	۱۵۰ ^a	۱۵۰ ^a	۲۰۰ ^{abc}	۱۷/۵ ^{bc}	۳۳۳ ^c	۷/۲ ^{cd}	۲۱/۵ ^b	۱
۲	۰/۹۶۰ ^{efg}	۹/۵۴ ^{de}	۱/۲۷ ^{abc}	۰/۲۰۰ ^a	۱/۲۰ ^{abc}	۳/۱۳ ^{cddef}	۱/۱ ^{abc}	۰/۲۱۰ ^a	۲/۲۲ ^a	۱۴/۴ ^{abc}	۰/۱۴۰ ^{ab}	۱۸۰ ^{bc}	۵۰۰ ^a	۵۰۰ ^a	۱۵۰ ^{ab}	۳۰۰ ^{ab}	۷/۲ ^{cd}	۳۳/۹ ^{de}	۲
۳	۰/۹۵۰ ^{efg}	۹/۱۶ ^{cde}	۱/۴۳ ^{abc}	۰/۲۲۰ ^{abcde}	۱/۵۱ ^{abcd}	۵/۰۳ ^{cddefg}	۰/۹۵۰ ^{ab}	۰/۱۸۰ ^a	۲/۱۴ ^{abc}	۲۲/۰ ^{efgh}	۰/۱۹۰ ^{abcd}	۱۸۰ ^{bc}	۵۰۰ ^{ab}	۵۰۰ ^{ab}	۱۷/۲ ^{bc}	۴۵۲ ^{efg}	۷/۲ ^{abc}	۲۲/۸ ^c	۳
۴	۰/۹۴۰ ^{efg}	۷/۱۸ ^{abcde}	۰/۹۵۰ ^{abc}	۰/۲۲۰ ^{abcde}	۱/۵۳ ^{abcd}	۴/۱۰ ^{efgh}	۱/۲۹ ^f	۰/۲۲۰ ^a	۸/۲۴ ^c	۱۷/۳ ^{abcde}	۰/۲۳۰ ^{defg}	۱۷۰ ^{abc}	۱۷۰ ^{abc}	۱۷۰ ^{abc}	۱۲/۰ ^a	۴۰۰ ^a	۷/۱۰ ^{cd}	۳۲/۱ ^{cd}	۴
۵	۰/۸۵۰ ^{def}	۸/۱۱ ^{abcde}	۱/۲۹ ^{abc}	۰/۲۲۰ ^{abcde}	۱/۲۲ ^{abc}	۱/۵۰ ^{ab}	۱/۵۰ ^{cddef}	۰/۲۹۰ ^a	۴/۵۰ ^{abc}	۱۱/۲ ^{ab}	۰/۲۱۰ ^{abc}	۱۸۰ ^{bc}	۱۸۰ ^{bc}	۴۸۰ ^a	۱۲/۴ ^a	۳۳۷ ^d	۷/۵ ^{abcd}	۳۲/۱ ^{bc}	۵
۶	۱/۲۴ ^f	۵/۳ ^{abc}	۱/۴۵ ^{abc}	۰/۲۷۰ ^{abc}	۱/۲۸ ^{cd}	۲/۴۹ ^{abc}	۱/۲۸ ^{def}	۰/۲۳۰ ^a	۵/۲۴ ^{abc}	۱۸/۰ ^{cddef}	۰/۱۷۰ ^{abc}	۱۸۰ ^{bc}	۱۸۰ ^{bc}	۲۹۰ ^{cddef}	۱۵/۲ ^{ab}	۳۱۸ ^c	۷/۲ ^{cd}	۲۴/۵ ^e	۶
۷	۱/۲۱ ^f	۷/۰۰ ^{abcd}	۱/۰۴ ^{abc}	۰/۲۹۰ ^{abcd}	۱/۱۴ ^{ab}	۵/۱۹ ^f	۱/۱ ^{abc}	۰/۲۹۰ ^a	۲/۲۹ ^{abc}	۲۵/۱ ^{gh}	۰/۱۴۰ ^a	۱۸۰ ^{bc}	۳۳۱ ^{cd}	۲۲۲ ^{abcd}	۱۹۰ ^{abcde}	۴۹۹ ^b	۷/۲ ^{cd}	۲۶/۲ ^{efg}	۷
۸	۱/۲۲ ^f	۲۲ ^{abcd}	۱/۳۷ ^{abc}	۰/۵۰۰ ^h	۱/۲۷ ^{abc}	۴/۲۲ ^{efgh}	۱/۳۰ ^{abcde}	۰/۲۱۰ ^a	۴/۵۱ ^{abc}	۲۱/۹ ^{efgh}	۰/۲۰۰ ^{abcde}	۱۸۰ ^{bc}	۱۸۰ ^{bc}	۸۰۰ ^{gh}	۱۲۰ ^{ab}	۴۲۱ ^{def}	۷/۵ ^{abcd}	۲۷/۲ ^h	۸
۹	۰/۸۴۰ ^{def}	۷/۴۴ ^{abcde}	۱/۸۱ ^{abc}	۰/۴۶۰ ^{gh}	۱/۵۰ ^{abcd}	۳/۱۵ ^{efgh}	۱/۱ ^{abcde}	۰/۲۵۰ ^a	۳/۱۱ ^{abc}	۱۷/۱ ^{abcde}	۰/۲۵۰ ^{efgh}	۱۸۰ ^{bc}	۳۳۲ ^{cd}	۲۱/۵ ^{bcd}	۱۲۰ ^{abc}	۵۰۵ ^g	۷/۳ ^{abc}	۲۲/۵ ^{de}	۹
۱۰	۱/۱۲ ^h	۲۶/۲ ^{abcd}	۱/۰۳ ^{abc}	۰/۲۲۰ ^{ab}	۱/۴۳ ^{abcd}	۳/۳۰ ^{cddefg}	۰/۹۸۰ ^{ab}	۰/۲۷۰ ^a	۵/۲۲ ^{abc}	۱۸/۵ ^{cddef}	۰/۲۴۰ ^{defgh}	۱۸۰ ^{bc}	۳۳۰ ^{cd}	۲۵/۵ ^{abcde}	۲۲۲ ^{defg}	۴۹۳ ⁱ	۷/۱۰ ^{cd}	۲۶/۲ ^{efg}	۱۰
۱۱	۱/۰۸ ^{gh}	۷/۴۰ ^{abcde}	۱/۸۲ ^{abc}	۰/۲۷۰ ⁱ	۲/۲۵ ^e	۲/۹۲ ^{cddef}	۱/۲ ^{abcd}	۰/۲۳۰ ^a	۵/۱۲ ^{abc}	۱۶/۲ ^{cd}	۰/۲۲۰ ^{cddef}	۱۸۰ ^{bc}	۳۷۱ ^{de}	۷۵/۳ ^{efg}	۲۲/۴ ^{defg}	۹۲۳ ⁱ	۷/۲ ^{cd}	۲۶/۲ ^{efg}	۱۱
۱۲	۱/۸۲ ^f	۷/۱۷ ^{abcde}	۱/۱ ^{abc}	۰/۴۱۰ ^{efgh}	۲/۸۹ ^f	۳/۹۹ ^{efgh}	۱/۳۰ ^{abcde}	۰/۱۷۰ ^a	۳/۵ ^{abc}	۱۴/۸ ^{abc}	۰/۲۷۰ ^{efgh}	۱۸۰ ^{bc}	۱۸۰ ^{bc}	۲۱/۲ ^{bcd}	۳۳/۵ ^{efg}	۴۵۲ ^{efg}	۷/۵ ^{abcd}	۲۷/۲ ^{efgh}	۱۲
۱۳	۱/۰۲ ^{efg}	۷/۱۴ ^{abcde}	۰/۲۵۰ ^{ab}	۰/۴۴۰ ^{efgh}	۲/۲۲ ^e	۳/۴۸ ^{cddefg}	۱/۳۱ ^{abcde}	۰/۱۹۰ ^a	۳/۵ ^{abc}	۱۵/۲ ^{bcd}	۰/۲۳۰ ^{ij}	۱۸۰ ^{bc}	۳۶۰ ^{de}	۷۰۰ ^{def}	۲۰۰ ^{cddef}	۲۱۸ ^m	۷/۵ ^{abcd}	۲۰/۵ ^d	۱۳
۱۴	۰/۸۰۰ ^{de}	۴/۷ ^a	۱/۰۰ ^{abc}	۰/۴۷۰ ^{gh}	۱/۸۲ ^{de}	۳/۹۲ ^{efgh}	۰/۸۸۰ ^a	۰/۲۲۰ ^a	۲/۰۰ ^{abc}	۱۴/۲ ^{abc}	۰/۲۴۰ ^{defgh}	۱۸۰ ^{bc}	۱۸۰ ^{bc}	۵۰۰ ^{ab}	۱۸۸ ^{abcd}	۴۵۵ ^{fg}	۷/۲۰ ^a	۲۴/۸ ^e	۱۴
۱۵	۰/۹۹۰ ^{efg}	۱۵/۸ ^f	۱/۳۷ ^{abc}	۰/۳۷۰ ^{cddefg}	۲/۲۰ ^e	۳/۰۰ ^{abcde}	۱/۰ ^{abcde}	۰/۲۵۰ ^a	۴/۴۳ ^{abc}	۲۴/۳ ^{gh}	۰/۲۴۰ ⁱ	۲۸۰ ^{de}	۸۷/۱	۲۴/۱ ^{efgh}	۲۴/۱ ^{efgh}	۴۲۸ ^h	۷/۴۰ ^{abc}	۳۶/۲ ^{efgh}	۱۵
۱۶	۰/۶۸۰ ^{cd}	۷/۴۹ ^{abcde}	۰/۵۸۰ ^a	۰/۲۷۰ ^{abc}	۱/۳۲ ^{abcd}	۳/۹۱ ^{efgh}	۱/۳۲ ^{abcd}	۰/۲۰۰ ^a	۵/۱۲ ^{abc}	۳۰/۴ ⁱ	۰/۲۰۰ ^{abcde}	۱۸۰ ^{bc}	۳۴۰ ^f	۱۰۰ ^h	۳۷/۵ ^h	۳۸۰ ⁿ	۷/۳ ^{abc}	۲۸/۹ ⁱ	۱۶
۱۷	۰/۴۹۰ ^{ab}	۲۶/۲ ^{abcd}	۲/۰۲ ^c	۰/۴۰۰ ^{defgh}	۱/۵۸ ^{abc}	۴/۴۲ ^{efgh}	۱/۵ ^{abcde}	۰/۲۹۰ ^a	۵/۲۲ ^{abc}	۲۰/۴ ^{defg}	۰/۱۹۰ ^{abcd}	۱۸۰ ^{bc}	۲۴/۱ ^{de}	۲۹۲ ^{cddef}	۲۵/۴ ^{gh}	۵۸۰ ^k	۷/۵ ^{abcd}	۲۲/۲ ^c	۱۷
۱۸	۰/۵۶۰ ^{bc}	۱۰/۲ ^e	۰/۸۹۰ ^{abc}	۰/۴۷۰ ^{gh}	۱/۵۰ ^{abcd}	۵/۸۰ ^j	۱/۴۲ ^{cddef}	۰/۲۷۰ ^a	۵/۹۱ ^{abc}	۲۶/۴ ^{gh}	۰/۲۸۰ ^{efgh}	۱۸۰ ^{bc}	۲۵/۲ ^{de}	۷۷/۵ ^{efgh}	۲۵/۵ ^{gh}	۲۱۵ ^m	۷/۲۰ ^{cd}	۲۲/۸ ^c	۱۸
۱۹	۰/۳۸۰ ^a	۵/۶۰ ^{abc}	۰/۲۱۰ ^a	۰/۲۳۰ ^{ab}	۱/۳۳ ^{abc}	۳/۱۰ ^{cddef}	۰/۹۸۰ ^{ab}	۰/۱۸۰ ^a	۴/۰ ^{abc}	۲۴/۲ ^h	۰/۲۹۰ ^{hi}	۱۸۰ ^{bc}	۲۵/۲ ^{de}	۸۴/۳ ^{hi}	۲۴/۲ ⁱ	۴۴۵ ^e	۷/۸۰ ^{cd}	۲۵/۹ ^f	۱۹
۲۰	۰/۰۴۴ ^{ab}	۲۶/۵ ^{abcd}	۱/۸۱ ^{abc}	۰/۲۳۰ ^{ab}	۱/۰۲ ^a	۱/۳۱ ^a	۱/۱ ^{abcde}	۰/۲۵۰ ^a	۷/۳۰ ^{bc}	۴/۵۰ ^{defgh}	۰/۲۴۰ ^{defgh}	۱۸۰ ^{bc}	۱۸۸ ^{bc}	۷۳/۵ ^{efg}	۳۳/۰ ⁱ	۵۹۲ ⁱ	۷/۵ ^{abcd}	۲۴/۳ ^c	۲۰
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	
میلنگین	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			۲۴/۳	
MPL	۵۰۰۰	۱۰۰	۲۰/۰	۴۰۰	۳۰۰	۲۰۰۰	۵۰/۰	۳/۰۰	۱/۰۰	۵۰/۰	۵۰/۰	۲۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۱۵۰۰	۸۵۰	۳۲/۰	

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

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

	Zn	Pb	Ni	Mn	Fe	Cu	Cr	Cd	As	NO3	PO4	Cl	Na	Ca	Mg	EC	pH	T	پارامتر ایستگاه
۱/۱۱/bcd	۷/۸۷ab	۸/۴۰e	۱/۰۰۰abcde	۰/۴۷۰efgh	۱/۹۵h	۸/۴۰e	۱/۰۰۰abc	۰/۱۴۰a	۲۱/۵ab	۱۰/۴a	۰/۲۲۰def	۰/۱۷۰abcd	۵/۲۳ab	۵۷/۵bc	۱۳/۴cde	۳۴۴b	۷/۳۶ab	۲۱/۰b	۱
۱/۱۱/bcd	۹/۴۵b	۲/۱۵abc	۱/۵۷d	۰/۵۱۰ghi	۱/۷۷fgh	۲/۱۵abc	۱/۵۷d	۰/۱۴۰a	۱۸/۴a	۱۱/۴a	۰/۲۱۰cdef	۰/۱۶۰abcd	۲/۳۳ab	۴۷/۵a	۱۱/۵bcd	۳۹۹a	۷/۵۰ab	۲۴/۵hij	۲
۱/۱۲/cd	۷/۷۷ab	۲/۱۵abc	۱/۲۱/bcdefg	۰/۴۴۰efgh	۱/۷۷fgh	۲/۱۵abc	۰/۸۸۰abc	۰/۱۶۰abc	۲۱/۰ab	۱۸/۸bcd	۰/۲۰۰cdef	۰/۱۸۰bcd	۱/۱/۴def	۵۰/۵b	۱۶/۷efg	۵۸۱	۷/۳۶ab	۲۱/۰bcd	۳
۰/۸۸۰ab	۹/۴۰ab	۱/۲۸cddefg	۰/۴۶۰efgh	۲/۷۴i	۲/۷۴i	۲/۱۵bcd	۰/۲۰۰abcde	۰/۲۰۰abcde	۲۱/۵ab	۱۶/۰b	۰/۱۵۰ab	۰/۱۵۰abc	۱/۴۳f	۲۷/۲cd	۱۱/۰bc	۴۸۷h	۷/۳۳ab	۲۷/۵de	۴
۰/۸۴۰abc	۸/۵۵ab	۱/۲۸cddefg	۰/۴۶۰efgh	۱/۲۸/bcdefg	۱/۲۸/bcdefg	۲/۱۵bcd	۱/۱۹bcd	۰/۱۹۰abcde	۲۱/۵ab	۱۰/۷a	۰/۲۲۰def	۰/۱۶۰abcd	۴/۴۳a	۲۵/۳cdef	۴/۷۴a	۴۴۱f	۷/۵۵ab	۲۴/۰hi	۵
۲/۴۴g	۲/۱۸a	۱/۸۳fg	۰/۴۷۰efgh	۱/۲۰/bcdefg	۲/۱۵bcd	۲/۱۵bcd	۱/۵۷d	۰/۱۹۰abcd	۲۳/۰b	۱۷/۰b	۰/۱۷۰abcd	۰/۱۱۰a	۹/۴۰bcde	۵۷/۱bc	۱۱/۰bc	۳۸۰c	۷/۳۳ab	۲۵/۵jk	۶
۱/۱۴/de	۷/۷۹ab	۰/۵۹۰abcd	۰/۵۲۰bcdefg	۱/۰۰abc	۱/۰۰abc	۷/۴۴cde	۰/۸۶۰abc	۰/۲۲۰cde	۲۳/۰b	۲۱/۷cde	۰/۲۳۰ef	۰/۱۵۰abc	۱/۰۰cdef	۲۴/۹cde	۱۷/۵fg	۳۰۲a	۷/۱۲a	۲۳/۲ef	۷
۱/۹۶fg	۷/۴۴ab	۰/۸۰۰abcde	۰/۴۱۰efgh	۱/۸۴cdefgh	۲/۱۵bcd	۲/۱۵bcd	۰/۸۰۰abc	۰/۲۱۰bcde	۲۳/۵ab	۲۲/۵def	۰/۲۲۰f	۰/۱۷۰abcd	۷/۵۰abcd	۸۵/۴hi	۲۳/۵i	۴۴۵d	۷/۳۶ab	۲۴/۲ghi	۸
۱/۱۵/bcd	۲/۷۲ab	۲/۱۵bcd	۱/۲۰cdefg	۱/۲۰cdefg	۲/۱۵bcd	۲/۱۵bcd	۰/۸۷۰abc	۰/۱۴۰ab	۲۳/۰ab	۱۶/۵b	۰/۱۷۰abcd	۰/۱۶۰abcd	۲/۳۳ab	۲۷/۰fg	۱۳/۵cde	۴۵۵g	۷/۵۰ab	۲۱/۰b	۹
۲/۱۸/gh	۷/۵۸ab	۲/۳۰abcde	۰/۳۲۰abcde	۰/۳۲۰abcde	۰/۳۲ab	۲۰۰۰b	۱/۱۸bcd	۰/۳۲۰cde	۲۰/۵ab	۱۷/۹b	۰/۲۴۰ef	۰/۱۴۰ab	۷/۶۶abcd	۷/۲۵efg	۱۷/۳fg	۵۹۹j	۷/۴۰ab	۲۴/۵hij	۱۰
۱/۳۲/cd	۸/۷۶ab	۱/۲۰abcd	۰/۳۲۰abcd	۰/۴۳۰cdefg	۰/۲۰abcd	۲/۱۵bcd	۱/۰۰abc	۰/۱۹۰abcd	۲۰/۵ab	۱۶/۰b	۰/۲۲۰def	۰/۱۴۰abc	۸/۳۰abcd	۷/۸۶gh	۲۳/۰i	۴۵۹g	۷/۶۶ab	۲۳/۴fg	۱۱
۱/۱۰/abc	۷/۷۵ab	۲/۱۵bcd	۱/۱۰abcd	۰/۲۰cdefg	۰/۲۰abc	۲/۱۵bcd	۱/۱۰abcd	۰/۲۰۰abcde	۲۰/۵ab	۲۳/۱efg	۰/۱۶۰abc	۰/۱۳۰ab	۸/۱۶abcd	۷/۲۸efg	۱۸/۹gh	۴۳۰e	۷/۴۰ab	۲۳/۹lm	۱۲
۱/۳۲/ef	۷/۷۵ab	۲/۱۵bcd	۱/۲۰cdefg	۰/۴۵۰fg	۲/۱۰i	۲/۱۵bcd	۰/۹۵۰abc	۰/۱۷۰abc	۲۳/۵ab	۲۳/۵gh	۰/۲۳۰a	۰/۱۷۰abcd	۲/۵۳abc	۸/۹۴ij	۱۸/۳fg	۵۵۵l	۷/۳۳ab	۱۹/۵a	۱۳
۱/۱۱/bcd	۲/۳۰ab	۲/۱۰bcd	۱/۰۰abcd	۰/۵۹۰i	۲/۷۴i	۲/۱۵bcd	۰/۸۰۰abc	۰/۱۸۰abcd	۲۱/۵ab	۲۴/۸efg	۰/۲۲۰def	۰/۲۰۰cd	۲/۵۳abc	۲۶/۵def	۱۴/۸def	۴۶۱d	۷/۶۶ab	۲۵/۰ij	۱۴
۰/۹۱۰abc	۷/۷۹ab	۰/۹۰۰abcde	۰/۲۹۰ab	۰/۲۹۰ab	۲/۵۸i	۷/۱۰bcde	۰/۹۹۰abc	۰/۲۰۰abcde	۲۱/۵ab	۲۳/۶efg	۰/۱۵۰abc	۰/۱۵۰abc	۱۲/۰ef	۹۶/۹jk	۲۲/۳i	۵۵۲k	۷/۳۶ab	۲۵/۵jk	۱۵
۰/۸۰۰ab	۸/۵۹ab	۰/۸۵۰abcde	۰/۷۰۰j	۱/۵۹efgh	۱/۵۹efgh	۲/۸۱bcd	۱/۰۳abc	۰/۳۲۰cde	۱۹/۵ab	۲۲/۳def	۰/۱۸۰abcd	۰/۱۵۰abc	۱/۲۰cdef	۱۰۲k	۲۱/۵hi	۵۵۲k	۷/۳۶ab	۲۷/۰m	۱۶
۱/۳۲/cd	۸/۵۶ab	۱/۲۳d	۰/۲۸abcde	۱/۱۸abcde	۱/۱۸abcde	۷/۳۳d	۱/۲۹cd	۰/۳۲۰cde	۲۱/۵ab	۱۸/۵bc	۰/۲۱۰cdef	۰/۱۶۰abcd	۴/۶۰a	۸/۱۷hi	۱۲/۷cde	۵۸۰l	۷/۴۰ab	۲۶/۰kl	۱۷
۰/۸۲۰a	۷/۹۴ab	۱/۲۳bcd	۰/۲۴۰a	۰/۲۴۰a	۱/۲۳bcd	۲/۱۵a	۰/۸۷۰abc	۰/۲۰۰abcde	۲۰/۵ab	۲۸/۵h	۰/۱۵۰ab	۰/۱۸۰bcd	۵/۲۳ab	۹/۷۳jk	۸/۳۰b	۶۳۰m	۷/۷۰b	۲۱/۴bc	۱۸
۰/۹۵۰abc	۲/۶۲ab	۱/۲۳cdefg	۰/۳۲۰bcdefg	۱/۲۳cdefg	۱/۲۳cdefg	۲/۸۵bcd	۰/۸۶۰ab	۰/۲۳۰e	۱۹/۵ab	۲۳/۲fgh	۰/۱۴۰ab	۰/۲۲۰d	۵/۸۶ab	۹۶/۱jk	۱۰/۵bc	۴۴۲f	۷/۶۶ab	۲۴/۰gh	۱۹
۰/۹۲۰abc	۲/۷۹ab	۱/۵۲cde	۰/۳۰۰abc	۱/۵۲cde	۱/۵۲cde	۷/۵۲cde	۰/۸۶۰ab	۰/۲۰۰de	۲۳/۴b	۲۲/۵def	۰/۱۹۰bcde	۰/۱۸۰bcd	۹/۴۰bcde	۹۶/۱jk	۱۰/abc	۵۵۷l	۷/۲۷b	۲۲/۰cd	۲۰
μg/L	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	واحد
۱/۲۴	۷/۳۳	۱/۲۲	۰/۴۳۰	۱/۲۲	۱/۲۲	۲/۷۳	۱/۲۰۰	۰/۲۰۰	۲۱/۴	۱۹/۸	۰/۱۹۰	۰/۱۶۰	۸/۱۴	۷۵/۳	۱۵/۱	۴۷۱	۷/۳۸	۳۳/۷	میگن
۵۰۰۰	۱/۰۰	۲/۰۰	۴۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۲۰۰۰	۵۰/۰	۳/۰۰	۱۰/۰	۵۰/۰	۵۰/۰	۲۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۱۵۰۰	۸/۵۰	۳۲/۰	MPL

*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 اسداباد 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	۰/۰۵۰	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	۰/۳۴۰	۰/۵۷۰**	۱/۰۰										
NO ₃	۰/۱۴۰	۰/۱۰۰	۰/۱۱۰	۰/۶۶۰**	۰/۶۶۰**	۰/۰۵۰	۰/۰۵۰	۱/۰۰									
As	۰/۱۱۰	۰/۲۴۰	۰/۱۱۰	۰/۱۴۰	۰/۰۶۰	۰/۰۳۰	۰/۰۱۲۰	۰/۰۰۶	۱/۰۰								
Cd	۰/۱۶۰	۰/۱۱۰	۰/۰۷۰	۰/۰۴۰	۰/۱۴۰	۰/۰۲۶۰	۰/۰۱۹۰	۰/۰۱۲۰	۰/۳۸۰	۱/۰۰							
Cr	۰/۳۵۰	۰/۱۰۰	۰/۰۲۶۰	۰/۰۳۰	۰/۰۲۲۰	۰/۰۰۶۰	۰/۰۱۶۰	۰/۰۰۵۰	۰/۲۸۰	۰/۰۴۰	۱/۰۰						
Cu	۰/۱۶۰	۰/۰۹۰	۰/۰۵۰	۰/۱۲۰	۰/۰۲۸۰	۰/۰۱۷۰	۰/۰۰۶۰	۰/۰۶۷۰**	۰/۱۱۰	۰/۰۴۰	۰/۰۱۰	۱/۰۰					
Fe	۰/۱۳۰	۰/۲۵۰	۰/۰۹۰	۰/۰۴۰	۰/۰۲۲۰	۰/۰۳۰	۰/۰۲۰	۰/۰۱۰	۰/۰۴۰	۰/۰۳۶۰	۰/۰۳۰	۰/۰۷۰	۱/۰۰				
Mn	۰/۲۶۰	۰/۳۱۰	۰/۰۱۱۰	۰/۰۰۰۸	۰/۰۶۰	۰/۰۲۷۰	۰/۰۲۲۰	۰/۰۳۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱۰	۰/۰۲۹۰	۰/۰۳۰*	۱/۰۰			
Ni	۰/۰۰۴	۰/۰۶۰	۰/۱۲۰	۰/۰۱۲۰	۰/۰۰۷۰	۰/۰۲۳۰	۰/۰۱۱۰	۰/۰۱۶۰	۰/۰۱۰۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰۰	۰/۰۲۱۰	۰/۰۰۸۰	۰/۰۷۰	۱/۰۰		
Pb	۰/۱۲۰	۰/۰۴۰	۰/۰۶۰	۰/۱۴۰	۰/۱۸۰	۰/۵۸۰**	۰/۳۶۰	۰/۲۳۰	۰/۰۱۵۰	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	۰/۰۰۶۰	۰/۰۲۶۰	۰/۰۱۰	۰/۰۰۸۰	۰/۰۱۳۰	۰/۰۱۲۰	۰/۱۲۰	۰/۳۹۰	۰/۰۶۰	۰/۰۲۲۰	۰/۰۹۰	۱/۰۰

* همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵۰

** همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱۰

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

Zn	Pb	Ni	Mn	Fe	Cu	Cr	Cd	As	NO ₃	PO ₄	Cl	Na	Ca	Mg	EC	pH	پارامتر
																۱/۰۰	pH
															۱/۰۰	۰/۳۰۰	EC
														۱/۰۰	۰/۰۴۰	۰/۵۳۰*	Mg
													۱/۰۰	۰/۲۶۰	۰/۶۸۰**	۰/۰۶۰	Ca
												۱/۰۰	-۰/۰۰۶	۰/۳۶۰	۰/۰۷۰	-۰/۴۴۰*	Na
												۱/۰۰	-۰/۳۳۰	-۰/۲۵۰	۰/۱۵۰	۰/۲۷۰	Cl
										۱/۰۰	-۰/۰۶۰	-۰/۰۹۰	-۰/۳۹۰	۰/۰۹۰	-۰/۳۹۰	-۰/۰۳۰	PO ₄
									۱/۰۰	-۰/۴۳۰	۰/۳۵۰	۰/۱۱۰	۰/۷۰۰**	۰/۲۷۰	۰/۵۰۰*	۰/۰۸۰	NO ₃
								۱/۰۰	۰/۰۸۰	۰/۰۵۰	-۰/۲۱۰	۰/۱۴۰	۰/۰۲۰	-۰/۰۶۰	۰/۰۵۰	-۰/۰۱۰	As
							۱/۰۰	۰/۱۰۰	۰/۴۹۰*	-۰/۰۵۰	۰/۱۱۰	۰/۱۴۰	۰/۶۲۰**	۰/۰۵۰	۰/۳۶۰	-۰/۰۸۰	Cd
						۱/۰۰	-۰/۲۷۰	-۰/۰۱۵۰	۰/۴۹۰*	۰/۲۴۰	۰/۴۹۰*	-۰/۳۵۰	۰/۵۰۰*	-۰/۱۶۰	-۰/۳۷۰	۰/۱۴۰	Cr
					۱/۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۲۰	۰/۳۵۰	-۰/۲۴۰	۰/۲۱۰	۰/۰۰۹	۰/۲۰۰	-۰/۱۸۰	۰/۲۲۰	-۰/۳۲۰	-۰/۴۹۰*	Cu
				۱/۰۰	۰/۲۷۰	-۰/۳۱۰	-۰/۲۸۰	۰/۰۵۰	۰/۱۶۰	-۰/۳۷۰	۰/۳۳۰	۰/۲۸۰	۰/۰۳۰	۰/۰۵۰	۰/۱۴۰	-۰/۰۸۰	Fe
		۱/۰۰	۰/۲۶۰	۰/۲۷۰	۰/۳۶۰	-۰/۱۵۰	-۰/۱۵۰	-۰/۰۸۰	-۰/۲۰۰	۰/۲۲۰	-۰/۰۲۰	-۰/۰۹۰	-۰/۲۰۰	۰/۱۱۰	-۰/۲۱۰	-۰/۰۴۰	Mn
		۱/۰۰	۰/۲۶۰	۰/۲۴۰	۰/۱۳۰	۰/۴۲۰	-۰/۲۱۰	-۰/۰۲۰	-۰/۲۶۰	-۰/۲۰۰	-۰/۰۳۰	۰/۰۴۰	-۰/۴۵۰*	-۰/۳۶۰	-۰/۴۳۰	-۰/۰۴۰	Ni
	۱/۰۰	-۰/۰۴۰	۰/۱۹۰	-۰/۰۷۰	۰/۱۶۰	۰/۰۸۰	-۰/۰۸۰	-۰/۴۶۰*	-۰/۴۰۰	۰/۱۲۰	-۰/۲۵۰	۰/۱۳۰	-۰/۱۷۰	۰/۰۰۴	۰/۰۸۰	-۰/۰۳۰	Pb
۱/۰۰	-۰/۳۴۰	-۰/۲۰۰	۰/۰۳۰	-۰/۱۹۰	۰/۱۴۰	۰/۴۳۰	-۰/۰۱۰	-۰/۴۰۰	-۰/۰۵۰	۰/۳۴۰	-۰/۴۱۰	-۰/۰۵۰	-۰/۲۵۰	۰/۲۵۰	-۰/۲۵۰	-۰/۳۱۰	Zn

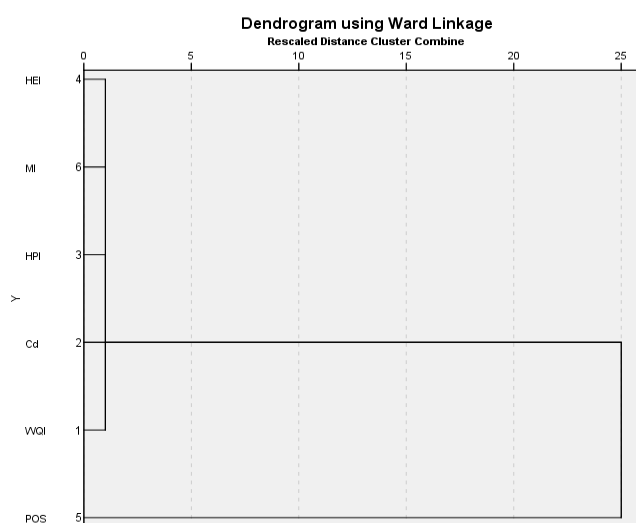
* همبستگی معنی دار در سطح ۰/۰۵۰

** همبستگی معنی دار در سطح ۰/۰۱۰

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

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.

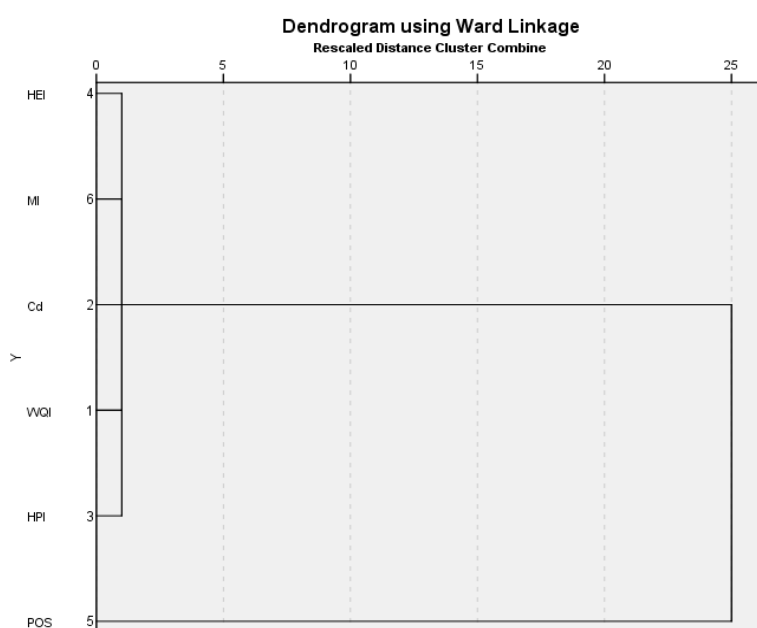


نمودار ۱: نتایج تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی شاخص‌های کیفی منابع آبی دشت اسدآباد در فصل بهار

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	-۵/۷۳	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 نمونه‌برداری

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	-۷/۷۳	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	-۷/۷۳	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

را در ارتباط با افزایش غلظت فلزات سنگین در فصل کم بارش (تابستان) نسبت به فصل پر بارش (زمستان) گزارش کردند^{۱۶}.
 گرچه به نظر می رسد که استحصال از منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان داد که مقادیر شاخص های HPI , C_d و HEI در نمونه های پائین دست به ترتیب برابر با $۳/۱۵$ - (آلودگی کم)، $۱۰/۵$ (آلودگی اندک) و $۴/۸۴$ (آلودگی کم) و در نمونه های بالادست نیز به ترتیب برابر $۶/۲۰$ - (آلودگی کم)، $۳/۱۲$ (آلودگی اندک) و $۱/۵۴$ (آلودگی کم) بوده است^{۴۳}.
 میانگین مقادیر شاخص های HPI , C_d و HEI برای ارزیابی آلودگی عناصر آرسنیک، روی سرب، کادمیم، کروم، مس و منگنز در منابع آب زیرزمینی دشت رزن در فصل بهار با $۲/۹۶$ - ، $۴۵/۴$ و $۴/۰۴$ به ترتیب نشان دهنده "آلودگی اندک" و "آلودگی کم" و در فصل تابستان نیز با $۳/۵۴$ - ، $۴۵/۰$ و $۳/۵۹$ به ترتیب بیان گر "آلودگی کم"، "آلودگی اندک" و "آلودگی کم" منابع آب مورد مطالعه بود^{۴۴}. از طرفی، نتایج ارزیابی کیفی منابع آب آشامیدنی شهر رفسنجان با استفاده از شاخص WQI نشان داد که کیفیت $۱۴/۳\%$ از منابع آب در طبقه "عالی و بسیار خوب" و $۸۵/۷\%$ از منابع در طبقه "خوب" قرار داشته است^۲. نتایج ارزیابی کیفی مخازن چاه نیمه استان سیستان و بلوچستان نشان داد که کیفیت بیش تر نمونه های آب از محدوده "خوب" تا "ضعیف" متغیر بوده است^{۴۴}. همچنین، نتایج ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسداباد نشان داد که میانگین مقادیر شاخص های 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 کم تر از آستانه خطر (۱۰۰) بوده است^{۱۶}.
 میانگین مقادیر شاخص های MI و Pos برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن همدان در فصل بهار با $۰/۹۲۰$ و $۰/۳۶۰$ به ترتیب بیان گر سطح کیفی "پاک" و "آلودگی حداقل" و در فصل تابستان نیز با $۱/۰۵$ و $۰/۴۱۰$ به ترتیب بیان گر سطح کیفی "تحت تأثیر اندک" و "آلودگی حداقل" گزارش شد^{۱۱}. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی شهر مدیاس

رومانی نشان داد که میانگین مقادیر شاخص های C_d و HPI به ترتیب برابر با $۶/۶۱$ - و $۳/۷۸$ و بسیار کم تر از آستانه خطر و میانگین مقادیر شاخص HEI برابر با $۲/۳۹$ 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 $۱۱/۴$ و $۱۹/۵$ گزارش شد^۴. مقادیر شاخص های C_d , HPI و HEI منابع آب زیرزمینی دشت رزن در فصل بهار به ترتیب برابر با $۲/۹۶$ - ، $۴۵/۴$ و $۴/۰۴$ و در فصل تابستان نیز به ترتیب برابر با $۳/۵۴$ - ، $۴۵/۰$ و $۳/۵۹$ و در هر دو فصل کم تر از آستانه خطر گزارش شد^۴. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت قهاوند نشان داد که مقادیر شاخص های C_d , HPI و HEI در فصل بهار به ترتیب برابر با $۲/۲۷$ - ، $۹/۰۱$ و $۱/۷۳$ و در فصل تابستان نیز به ترتیب برابر با $۱/۹۵$ - ، $۸/۶۹$ و $۲/۰۴$ و در هر دو فصل در سطوح آلودگی اندک بوده است^{۱۲}.
 میانگین مقادیر شاخص های 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 ۱۳۹۲ به ترتیب برابر با $۰/۶۱۰$ - و $۳/۳۰$ و $۰/۹۰۰$ و $۴/۵۴$ و در هر دو فصل بسیار کم تر از آستانه خطر گزارش شد^{۴۴}. مقادیر شاخص های HPI و HEI برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسداباد 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 کم تر از آستانه خطر گزارش شد^{۱۶}.
 ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین نشان داد که مقادیر شاخص HPI برای فصول زمستان و تابستان به ترتیب برابر با $۴/۷۳$ و $۱۱/۷$ و بسیار کم تر از مقادیر بحرانی آلودگی بود^{۱۵}. نتایج ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان با استفاده از شاخص های C_d , HPI و HEI نشان داد که مقادیر این شاخص ها در فصل بهار به ترتیب برابر با $۲/۸۱$ - ، $۹/۷۴$ و $۱/۲۰$ و در فصل تابستان نیز به ترتیب برابر با $۲/۶۷$ - ، $۹/۵۱$ و $۱/۳۲$ بوده است^{۱۰} و میانگین مقادیر شاخص های MI و Pos برای

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^۵، 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

این مطالعه با هدف ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد با استفاده از شاخص‌های WQI, C_d, 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 به عنوان 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 به منظور 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. بدین وسیله نویسندگان از حوزه معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه برای فراهم کردن امکانات اجرای مطالعه، سپاسگزاری می‌کنند.

Reference

1. 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).
2. 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).
3. Ibrahim MN. Assessing groundwater quality for drinking purpose in Jordan: application of water quality index. *J Ecol Eng* 2019; 20(3): 101-11.
4. 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).
5. 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.
6. Milovanovic M. Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axios/Vardar River Southeastern Europe. *Desalination* 2007; 213(1): 159-73.
7. 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.
8. 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).
9. 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.
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.
11. 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).
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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).
18. 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.
19. 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.
20. 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).
21. 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).
22. 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).
23. 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.
24. 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. Hosseini M, 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 Decamber, 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