مجله مهندسی بهداشت محیط، پاییز ۱۴۰۰، سال ۹، شماره ۱: ۱-۲۱

ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد با استفاده از شاخص‌های WQI، C_d، HPI، HEI، PoS و MI در سال ۱۳۹۷

آزاده قبادی[۱]، مهرداد چراغی*[۲]، سهیل سبحان اردکانی[۳]، بهاره لرستانی[۲]

[۱] دانش‌آموخته دکترای تخصصی محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

[۲] دکترای تخصصی علوم محیط‌زیست، دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

[۳] دکترای تخصصی علوم محیط‌زیست، استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۷

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به گسترش شهرنشینی، افزایش جمعیت، توسعه کشاورزی و صنعتی شدن در جهان کیفیت منابع آب زیرزمینی روبه کاهش است. از این‌رو، برای حفظ سلامت عمومی، ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا، این مطالعه با هدف ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد به فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های کیفی آب در سال ۱۳۹۷ انجام یافت.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش توصیفی- مقطعی، ۱۲۰ نمونه آب زیرزمینی از ۲۰ ایستگاه در فصول بهار و تابستان به‌روش مرکب برداشت و مقادیر دما، pH و EC آن‌ها در محل اندازه‌گیری شد. محتوی پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌ها بعد از مراحل آماده‌سازی آزمایشگاهی طبق روش استاندارد و محتوی فلزات سنگین در نمونه‌ها نیز به روش طیف‌سنجی نوری پلاسمای جفت شده القایی (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry: ICP-OES) خوانده شد. پردازش آماری نتایج نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام یافت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که، میانگین غلظت سدیم، فسفات، کلر، کلسیم، منیزیوم و نیترات (میلی‌گرم در لیتر) در نمونه‌های فصل بهار به‌ترتیب برابر با ۲۱/۸، ۰/۲۳۰، ۰/۱۷۰، ۶۹/۰، ۲۱/۱ و ۱۹/۳ و در فصل تابستان نیز به‌ترتیب برابر با ۸/۱٤، ۰/۱۹۰، ۰/۱٦۰، ۷۵/۳، ۱۵/٦ و ۱۹/۸ بوده است. همچنین، میانگین غلظت عناصر آرسنیک، آهن، روی، سرب، کادمیم، کروم، مس، منگنز و نیکل (میکروگرم در لیتر) در نمونه‌های فصل بهار به‌ترتیب برابر با ۵/۱۰، ۱/٦۱، ۰/۹۷۰، ۷/۸۲، ۰/۲۳۰، ۱/۲۵، ۳/۵۸، ۰/۳٦۰ و ۱/۳۰ و در فصل تابستان نیز به‌ترتیب برابر با ۲۱/٤، ۱/٦۲، ۱/۲٤، ۷/٦۳، ۰/۲۰۰، ۱/۰۰، ٦/۷۳، ۰/٤۳۰ و ۱/۰۱ بوده است و به‌جز در مورد عنصر آرسنیک در نمونه‌های فصل تابستان، میانگین غلظت همه عناصر در نمونه‌های هر دو فصل کوچک‌تر از حداکثر غظت مجاز سازمان بهداشت جهانی برای شرب بود. علاوه بر آن، شاخص کیفیت آب (WQI)، شاخص آلودگی (C_d)، شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)، شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI)، شاخص کیفی (PoS) و شاخص فلزات سنگین (MI) در فصل بهار با مقادیر ۱۸/۲، ۷/۵۳-، ۹/۸٦، ۱/٦٤، ۲۹۸ و ۱/٦٤ به‌ترتیب بیان‌گر سطح کیفی "عالی و بسیار خوب"، "آلودگی کم"، "آلودگی اندک"، "آلودگی کم"، "آلودگی اندک" و "تحت تأثیر اندک" و در فصل تابستان نیز با مقادیر ۱۷/۹، ۵/۹٤-، ۹/۸٦، ۳/۰۵، ٦۰۲، ۳/۰۵ به‌ترتیب بیان‌گر سطح کیفی "عالی و بسیار خوب"، "آلودگی کم"، "آلودگی اندک"، "آلودگی کم"، "آلودگی زیاد" و "تحت تأثیر متوسط" بود.

نتیجه‌گیری: هرچند فقط میانگین مقادیر عنصر آرسنیک در نمونه‌های فصل تابستان بیش‌تر از حد مجاز بود، ولی مدیریت استفاده از نهاده‌های کشاورزی همچون انواع آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و آلی، فاضلاب شهری که با آلودگی خاک و منابع آب سطحی عامل تهدیدکننده کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه هستند، توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: حوزه آبخیز، فلزات سنگین، آب آشامیدنی، کیفیت آب، فعالیت‌های انسان‌ساخت.

***نویسنده مسئول:** دکترای تخصصی علوم محیط‌زیست، دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]

مقدمه

امروزه با رشد روز افزون جمعیت، نیاز مردم به آب به منظور مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی افزایش یافته و به‌تبع 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 تزاید 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]. علاوه‌بر 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 تغیرات 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[۲]. 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[۱۰،۱۱].

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[۱۲]، 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[۱۳]، 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[۱۱]، پژوهشی که در آن مقادیر شاخص‌های C_d، HPI و HEI برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان محاسبه شد[۹]، پژوهشی که پس از ارزیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]

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[۴،۱۷]، 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[۱۸،۱۹]. با توجه به محدودیت منابع آبی به‌دلیل 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 تبدیل‌شده تا جایی که همه شهرستان‌های استان با بحران کمبود آب مواجه شده و از این‌رو به برداشت بی رویه 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[۱۴،۱۶]. از آن‌جا که، تراکم شبکه آبراهه‌ای و حجم 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 به‌شدت افزایش یافته که منجر به آلودگی و افت کیفی این منابع شده است[۸]، به‌همین 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 ´۹ °۴۷ تا ´۵۱ °۴۷ طول شرقی در غرب ایران و در حاشیه شمال‌شرقی دشت اسدآباد واقع شده است. دشت اسدآباد با وسعت معادل ۹۶۲ کیلومترمربع و شیب کلی از شمال‌شرق به جنوب‌غرب، 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 به‌دلیل 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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]

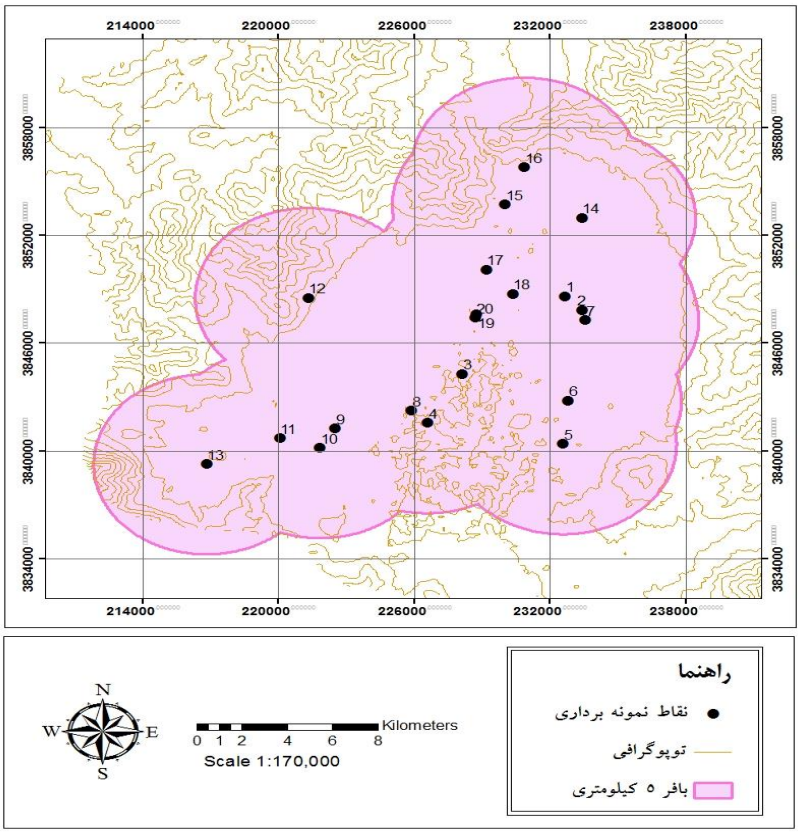
در این مطالعه توصیفی- مقطعی، پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی و با در نظر گرفتن پراکندگی یکنواخت ایستگاه‌ها در سطح منطقه مورد بررسی و همچنین محدودیت‌های زمانی و اعتباری، با استفاده از رابطه $N=Z^2S^2/D^2$ نسبت به انتخاب ۲۰ حلقه چاه با کاربری شرب و کشاورزی و ثبت مختصات جغرافیایی آن‌ها به‌وسیله 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 خشک) سال ۱۳۹۷ به‌روش مرکب انجام شد. بدین صورت‌که، 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[۲۰-۲۲].

جدول۱: 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	گذرگجین	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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]



شکل ۱: نقشه موقعیت استقرار ایستگاهای نمونه‌برداری

آماده‌سازی نمونه‌ها و تعیین مقادیر پارامترهای کیفی آب

در آزمایشگاه تعیین مقادیر پارامترهای کیفی آب با استناد به دستورالعمل ارائه شده در کتاب روش‌های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب (استاندارد متدز) انجام شد، به‌طوری‌که، مقادیر کلسیم و منیزیوم با روش تیتراسیون توسط اتیلن دی آمین ترا استیک اسید (EDTA) ۰/۰۱۰ مولار[۲۳] و مقدار سدیم نیز با روش فلیم‌فتومتری PFP7 تعیین شدند[۲۴]. از طرفی، مقادیر کلر به‌روش موهر (آرژانتومتری)، مقادیر نیترات و فسفات هم به‌روش اسپکتوفتومتری با اسپکترومتر Jenway مدل ۶۳۱۰ تعیین شدند[۲۵]. در نهایت، به منظور قرائت محتوی عناصر در نمونه‌های آب، به نمونه‌هایی که از قبل با هدف تثبیت و جلوگیری از رسوب‌گذاری عناصر، به‌ازای هر ۲۵ میلی‌لیتر، یک میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن‌ها افزوده شده بود، به‌مدت ۱۰ دقیقه روی هیتر در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در زیر هود قرار داده شدند. پس از آن، نمونه‌ها به‌مدت ۱۰ دقیقه در شیکر با سرعت ملایم ۸۵ دور در دقیقه قرار داده شده و محلول‌ها 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 نمونه‌ها با روش طیف‌سنجی پلاسمای جفت‌شده القایی توسط دستگاه نشر اتمی Varian مدل 710-ES در سه تکرار خوانده شد[۱۰،۱۵].

محاسبه مقادیر شاخص‌های 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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]

سنگین از روابط ٦ و ۷، شاخص ارزیابی فلزات سنگین از رابطه ۲٦۸، شاخص کیفی از روابط ۹ و ۱۰ و شاخص فلزات از رابطه ۱۱ استفاده شد[۱۱،۲۷]. بدین‌صورت 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 منیزیوم 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].

$$Wi = \frac{wi}{\sum_{i=1}^{n} wi} \qquad (۱)$$

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.

$$qi = (ci/si) \times 100 \qquad (۲)$$

در رابطه ۲: q_i نشان‌دهنده کیفیت نسبی هر پارامتر، c_i بیان‌گرغلظت اندازه‌گیری شده هر پارامتر در نمونه (میلی گرم در لیتر) و s_i نیز نشان‌دهنده استاندارد WHO برای هر پارامتر (میلی‌گرم در لیتر) به‌ترتیب برابر با ۸/۵۰، ۱۵۰۰، ۲۵۰، ۲۰۰، ۲۰۰، ۲۵۰، 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، ٤۰۰، ۲۰/۰، ۱۰/۰ و ۵۰۰۰ به‌ترتیب برای عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب و روی است[۲۹].

$$SIi = qi \times Wi \qquad (۳)$$

$$WQI = \sum SIi$$

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 < ۵۰/۰ بیان‌گر کیفیت عالی و بسیار خوب، ۱۰۰ > WQI > ۵۰/۰ بیان‌گر کیفیت خوب، ۲۰۰ > WQI > ۱۰۰ نشان‌دهنده کیفیت ضعیف، ۳۰۰ > WQI > ۲۰۰ بیان‌گر کیفیت بسیار ضعیف و WQI > ۳۰۰ نیز نشان‌دهنده کیفیت نامناسب برای استفاده آب به منظور آشامیدن است[۲۹].

$$Cd = \sum_{i=1}^{n} Cfi \qquad (۴)$$

$$Cfi = \frac{CAi}{CNi} - 1 \qquad (۵)$$

در روابط ٤ و ۵: شاخص C_d 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 بیشینه 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، ٤۰۰ برای منگنز، ۲۰/۰ برای نیکل، ۱۰/۰ برای سرب و ۵۰۰۰ برای روی) است[۱۵]. مقادیر ۱/۰۰ > C_d بیان‌گر آلودگی کم، ۳/۰۰ > C_d > ۱/۰۰ بیان‌گر آلودگی متوسط و ۳/۰۰ < C_d نیز نشان‌دهنده آلودگی زیاد است[۱۴،۱۵].

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^{n} WiQi}{\sum_{i=1}^{n} Wi} \qquad (۶)$$

$$Qi = \sum_{i=1}^{n} \frac{\{Mi(-)Ii\}}{(Si-Ii)} \times 100 \qquad (۷)$$

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]

در روابط ٦ و ٧: 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 ۰/۰۲۰ 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)، Qi نشان‌دهنده زیرشاخص عنصر مورد ارزیابی، Mi نشان‌دهنده غلظت قرائت شده عنصر مورد ارزیابی برحسب میکروگرم در لیتر، Ii نشان‌دهنده غلظت ایده‌آل عنصر مورد ارزیابی برحسب میکروگرم در لیتر (برای عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب و روی به‌ترتیب برابر با ۱۰/۰، ۳/۰۰، ۵۰/۰، ۲۰۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰، ۲۰/۰، ۱۰/۰ و ۳۰۰۰) و Si نیز نشان‌دهنده رهنمود سازمان بهداشت جهانی برای عناصر مورد ارزیابی برحسب میکروگرم در لیتر است[۳۱،٤]. مقادیر HPI < ۱۰۰، بیان‌گر آلودگی بالای آب به فلزات سنگین، مقادیر HPI =۱۰۰ بیان‌گر آستانه مخاطره آلودگی به فلزات سنگین و مقادیر HPI< ۱۰۰ نیز نشان‌دهنده آلودگی اندک آب به فلزات سنگین است[۳۲،۱۵].

$$HEI = \sum_{i=1}^{n} \frac{Hc}{Hmac} \qquad (۸)$$

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. Hc 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[۸]. مقادیر شاخص HEI < ٤۰۰ نشان‌دهنده آلودگی کم آب به فلزات سنگین، ۸۰۰ > HEI > ٤۰۰ بیان‌گر آلودگی متوسط آب به فلزات سنگین و HEI > ۸۰۰ نیز بیان‌گر آلودگی زیاد آب به فلزات سنگین است[۳۳،۱۵].

$$PoS = \sum_{j=1}^{M} Qfi \qquad (۹)$$

$$Qfi = 10^3 \times [Mj \times Wj]/Sj \qquad (۱۰)$$

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، نیترات برحسب میکروگرم در لیتر و همچنین، مقادیر EC برحسب میکروزیمنس در سانتی‌متر در نمونه‌ها است. Wj نشان‌دهنده میانگین وزنی آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب، روی منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، سولفات، کلر، فسفات، نیترات 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، ۰/۰۲۹، ۰/۰۵۷ و ۰/۰۱۹ در نظر گرفته شد. Sj نیز بیان‌گر حداکثر استاندارد ارائه شده پارامترهای منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، سولفات، کلر، فسفات، نیترات و EC است که در این پژوهش به‌ترتیب برابر با ۵۰۰۰۰، ۷۵۰۰۰، ۵۰۰۰۰، ۱۲۰۰۰، ۲۵۰۰۰۰، ۲۵۰۰۰۰، ۵۰۰۰۰، ٤۵۰۰۰ (میکروگرم در لیتر) و ۱۵۰۰ (میکروزیمنس در سانتی‌متر) در نظر گرفته شدند[۲۷]. 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، ٤۰۰، ۲۰/۰، ۱۰/۰ و ۵۰۰۰ (میکروگرم در لیتر) در نظر گرفته شد[۳۱].

$$MI = \sum \frac{Cl}{MAC} \qquad (۱۱)$$

در رابطه ۱۱: Cl و MAC به‌ترتیب 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 به‌شرح ذیل دسته‌بندی می‌شوند: خیلی پاک (۰/۳۰۰ > MI)،

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]

پاک ($MI \leq ۱/۰۰ > ۰/۳۰۰$)، تحت تأثیر اندک ($۲/۰۰ \geq MI > ۱/۰۰$)، تحت تأثیر متوسط ($٤/۰۰ \geq MI > ۲/۰۰$)، تحت تأثیر زیاد ($٦/۰۰ \geq MI > ٤/۰۰$) و تحت تأثیر شدید ($MI > ٦/۰۰$)؛ پاک- آلودگی حداقل ($PoS \leq ۱۵۰$)، آلودگی اندک ($۳۰۰ \geq PoS > ۱۵۰$)، آلودگی متوسط ($٦۰۰ \geq PoS > ۳۰۰$)، آلودگی زیاد ($۱۲۰۰ \geq PoS > ٦۰۰$)، آلودگی خیلی زیاد ($۲٤۰۰ \geq PoS > ۱۲۰۰$) و آلودگی شدید ($PoS > ۲٤۰۰$)[۲۷،۱۱].

پردازش آماری داده‌ها

پردازش آماری داده‌ها با استفاده از نسخه ۱۹ نرم‌افزار SPSS انجام یافت. بدین‌صورت‌که، 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) به‌منظور مقایسه پارامترهای کیفی آب در فصول مختلف نمونه‌برداری، از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) وآزمون 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 به‌ترتیب 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، نیترات 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، ۷/۸٦، ۹۲۳، ۳۳/۰، ۱۰٦، ۳٤/۰، ۰/۲۳۰، ۰/۳٤۰، ۳۰/۵، ۸/۷٤، ۰/۲۹۰، ۱/۷۹، ۵/۸۰، ۲/۸۹، ۰/٦۷۰، ۲/۰٦، ۱۵/۹ و ۱/۸۳ به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱٦، (٤ و ۱۰)، ۱۱، ۲۰، ۱٦، ۱٦، ۱۵، ۱٦، ٤، (۵، ۷ و ۱۷)، ٤، ۱۸، ۱۲، ۱۱، ۱۷، ۱۵ و ۱۲ و بیشینه مقادیر این پارامترها در نمونه‌های فصل تابستان نیز با ۲۷/۱، ۷/۷۰، ٦۳٦، ۲۳/٦، ۱۰۲، ۱٤/٤، ۰/۲۲۰، ۰/۲٦۰، ۲۸/۵، ۲۳/٦، ۰/۲٦۰، ۱/۵۹، ۸/٤۰، ۳/۰۱، ۰/۷۰۰، ۱/۹۳، ۹/٤۹ و ۲/٤٤ به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱٦، ۱۸، ۱۸، ۱۱، ۱٦، ٤، ۱۹، ۸، ۱۸، ٦، ۱۹، ٦، ۱، ۱۳، ۱٦، ۲، ۲ و ٦ 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 ($p < ۰/۰۵۰$) وجود داشته است. این در حالی است که بین میانگین مقادیر دما، EC، نیترات 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 به‌عنوان مثال از حیث میانگین غلظت کلسیم در نمونه‌های آب فصل بهار بین ایستگاه‌های ۱، ۳، ۷، ۹، ۱۰، ۱۲ و ۱٤ و در نمونه‌های آب فصل تابستان نیز بین ایستگاه‌های ۱، ۳ و ٦ 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، ٤، ٦، ۸، ۱۲ و ۱٤ و در نمونه‌های آب فصل تابستان نیز بین ایستگاه‌های ۱، ۲، ٦، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱٤، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ اختلاف معنی‌دار آماری

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]

وجود نداشته است ($p > ۰/۰۵۰$). 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 ($p < ۰/۵۰$) 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 ٤) 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 ۰/٦۱۰ = 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 ۰/۵٦۰ و ۰/۵۸۰ هر دو در سطح معنی‌داری ۰/۰۱۰، بین میانگین مقادیر پارامتر کلسیم با سدیم با ضریب همبستگی برابر با ۰/٧٦۰ 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 ۰/۵٦۰ و ۰/۵۸۰ هر دو در سطح معنی‌داری ۰/۰۱۰، بین میانگین مقادیر پارامتر نیترات با مس با ضریب همبستگی برابر با ۰/٦۷۰ در سطح معنی‌داری ۰/۰۱۰، و بین میانگین مقادیر پارامتر آهن با منگنز با r = ۰/۵۳۰ 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 = ۰/۵۳۰ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵۰، بین میانگین مقادیر پارامتر EC با نیترات (r = ۰/۵۰۰) و کلسیم (r = ۰/٦۸۰) به‌ترتیب در سطوح معنی‌داری ۰/۰۵۰ و ۰/۰۱۰، بین میانگین مقادیر پارامتر کلسیم با کروم (r = ۰/۵۰۰)، کادمیم (r = ۰/٦۲۰) و نیترات (r = ۰/۷۰۰) به‌ترتیب در سطوح معنی‌داری ۰/۰۵۰، ۰/۰۱۰ و ۰/۰۱۰، بین میانگین مقادیر پارامتر کلر و کروم با r = ۰/٤۹۰ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵۰ و بین میانگین مقادیر پارامتر نیترات با کادمیم (r = ۰/٤۹۰) و کروم (r = ۰/٤۹۰) هر دو در سطح معنی‌داری ۰/۰۵۰، همبستگی مثبت و معنی‌دار آماری وجود داشت.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1] [Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

جدول۲: مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی به‌تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری در فصل بهار

پارامتر / ایستگاه	T	pH	EC	Mg	Ca	Na	Cl	PO_4	NO_3	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
۱	۲۱/۰^{b}	۷/۸۶^{cd}	۳۶۳^{c}	۱۷/۰^{bc}	۶۰/۲^{bc}	۱۵/۰^{ab}	۰/۲۰۰^{a}	۰/۲۰۰^{bcde}	۱۰/۷^{a}	۴/۵۳^{abc}	۰/۲۵۰^{a}	۱/۲۶^{abcd}	۲/۵۷^{bcd}	۱/۲۷^{abc}	۰/۳۰۰^{abcd}	۰/۶۲۰^{a}	۷/۹۲^{abcde}	۰/۸۶۰^{def}
۲	۲۳/۹^{de}	۷/۷۰^{cd}	۳۰۷^{a}	۱۵/۶^{ab}	۵۰/۸^{a}	۱۸/۰^{bc}	۰/۱۹۰^{abc}	۰/۱۴۰^{ab}	۱۴/۴^{abc}	۲/۲۷^{a}	۰/۲۱۰^{a}	۱/۱۱^{abc}	۳/۱۲^{cdef}	۱/۲۰^{abc}	۰/۲۰۰^{a}	۱/۶۷^{abc}	۹/۵۴^{de}	۰/۹۶۰^{efg}
۳	۲۲/۷^{c}	۷/۲۳^{b}	۴۵۶^{fg}	۱۷/۶^{bc}	۵۷/۴^{ab}	۱۸/۴^{bc}	۰/۱۶۰^{ab}	۰/۱۹۰^{abcd}	۲۲/۰^{efgh}	۶/۱۴^{abc}	۰/۱۸۰^{a}	۰/۹۵۰^{ab}	۵/۰۳^{cdefg}	۱/۵۱^{abcd}	۰/۳۹۰^{cdefgh}	۱/۴۳^{abc}	۹/۱۶^{cde}	۰/۹۵۰^{efg}
۴	۲۳/۱^{cd}	۷/۸۶^{d}	۴۰۹^{i}	۱۳/۰^{a}	۷۰/۶^{def}	۱۷/۳^{b}	۰/۲۰۰^{abc}	۰/۲۳۰^{defg}	۱۷/۳^{cde}	۸/۷۴^{c}	۰/۲۶۰^{a}	۱/۷۹^{f}	۴/۱۰^{efghi}	۱/۵۳^{abcd}	۰/۳۳۰^{abcde}	۰/۹۵۰^{abc}	۷/۸۸^{abcde}	۰/۹۴۰^{efg}
۵	۲۲/۱^{bc}	۷/۵۳^{abcd}	۳۶۷^{d}	۱۳/۴^{a}	۴۸/۶^{a}	۱۱/۰^{a}	۰/۱۷۰^{abc}	۰/۲۱۰^{cde}	۱۱/۶^{ab}	۴/۵۰^{abc}	۰/۲۹۰^{a}	۱/۵۰^{cdef}	۱/۵۰^{ab}	۱/۲۶^{abc}	۰/۳۸۰^{cdefgh}	۱/۲۹^{abc}	۸/۷۸^{bcde}	۰/۸۵۰^{def}
۶	۲۴/۵^{e}	۷/۷۰^{cd}	۳۱۸^{c}	۱۵/۲^{ab}	۶۹/۰^{cdef}	۱۸/۹^{bc}	۰/۱۶۰^{ab}	۰/۱۷۰^{abc}	۱۸/۰^{cdef}	۵/۷۴^{abc}	۰/۲۳۰^{a}	۱/۶۸^{ef}	۲/۴۹^{abc}	۱/۶۸^{cd}	۰/۲۷۰^{abc}	۱/۴۵^{abc}	۵/۲۶^{ab}	۱/۷۴^{j}
۷	۲۶/۳^{efg}	۷/۶۶^{bcd}	۴۹۹^{b}	۱۹/۰^{bcde}	۶۲/۷^{bcd}	۲۳/۱^{cde}	۰/۱۴۰^{a}	۰/۱۴۰^{a}	۲۵/۱^{gh}	۶/۲۹^{abc}	۰/۲۹۰^{a}	۱/۱۱^{abc}	۵/۱۹^{ij}	۱/۱۴^{ab}	۰/۲۹۰^{abcd}	۱/۰۴^{abc}	۷/۰۷^{abcd}	۱/۷۱^{j}
۸	۲۷/۶^{hi}	۷/۵۶^{abcd}	۴۶۱^{ef}	۱۶/۰^{ab}	۸۰/۶^{ghi}	۱۸۷/۷^{bc}	۰/۱۶۰^{ab}	۰/۲۰۰^{cde}	۲۱/۹^{efgh}	۴/۵۱^{abc}	۰/۲۱۰^{a}	۱/۳۰^{bcde}	۴/۶۳^{ghij}	۱/۲۷^{abc}	۰/۵۰۰^{h}	۱/۳۷^{abc}	۶/۶۹^{abcd}	۱/۲۲^{j}
۹	۲۲/۵^{bc}	۷/۳۳^{abc}	۵۶۵^{g}	۱۶/۳^{ab}	۶۱/۵^{bcd}	۲۳/۷^{cd}	۰/۱۷۰^{abc}	۰/۲۵۰^{efgh}	۱۷/۱^{cde}	۳/۱۷^{ab}	۰/۲۵۰^{a}	۱/۱۵^{abc}	۳/۸۵^{defgh}	۱/۵۰^{abcd}	۰/۴۶۰^{gh}	۱/۸۱^{abc}	۷/۴۴^{abcde}	۰/۸۴۰^{def}
۱۰	۲۶/۳^{efg}	۷/۸۶^{d}	۴۹۳^{j}	۲۲/۷^{efg}	۶۵/۵^{bcde}	۲۶/۵^{de}	۰/۱۷۰^{ab}	۰/۲۴۰^{defgh}	۱۸/۵^{cdef}	۵/۲۳^{abc}	۰/۲۷۰^{a}	۰/۹۸۰^{ab}	۳/۳۰^{cdefg}	۱/۴۳^{abcd}	۰/۲۲۰^{ab}	۱/۰۳^{abc}	۶/۶۲^{abcd}	۱/۱۶^{hi}
۱۱	۲۲/۳^{bc}	۷/۷۳^{cd}	۹۲۳^{i}	۲۲/۴^{defg}	۷۵/۳^{fg}	۲۷/۱^{de}	۰/۱۴۰^{a}	۰/۲۲۰^{cdef}	۱۶/۷^{cd}	۵/۸۶^{abc}	۰/۲۳۰^{a}	۱/۲۵^{abcd}	۲/۹۲^{cdef}	۲/۳۵^{e}	۰/۶۷۰^{i}	۱/۸۳^{abc}	۷/۴۰^{abcde}	۱/۰۸^{ghi}
۱۲	۲۷/۲^{ghi}	۷/۵۶^{abcd}	۴۵۶^{fg}	۲۳/۵^{fg}	۶۱/۷^{bcd}	۱۸/۵^{bc}	۰/۲۱۰^{bc}	۰/۲۷۰^{fghi}	۱۴/۸^{abc}	۳/۵۳^{ab}	۰/۱۷۰^{a}	۱/۳۰^{bcde}	۳/۹۹^{efghi}	۲/۸۹^{f}	۰/۴۱۰^{efgh}	۱/۱۵^{abc}	۷/۱۷^{abcde}	۱/۸۳^{j}
۱۳	۲۰/۵^{a}	۷/۵۶^{abcd}	۶۱۸^{m}	۲۰/۷^{cdef}	۷۰/۱^{def}	۲۶/۰^{de}	۰/۱۹۰^{abc}	۰/۳۲۰^{ij}	۱۵/۶^{bcd}	۳/۵۶^{ab}	۰/۱۹۰^{a}	۱/۳۱^{bcde}	۳/۴۸^{cdefg}	۲/۳۲^{e}	۰/۴۴۰^{fgh}	۰/۶۵۰^{ab}	۷/۷۴^{abcde}	۱/۰۲^{fg}
۱۴	۲۴/۸^{e}	۷/۲۰^{a}	۴۵۵^{fg}	۱۸۷^{bcd}	۵۷/۴^{ab}	۱۸/۵^{bc}	۰/۱۵۰^{ab}	۰/۲۴۰^{defgh}	۱۴/۷^{abc}	۶/۰۰^{abc}	۰/۲۶۰^{a}	۰/۸۸۰^{a}	۳/۹۲^{efghi}	۱/۸۷^{de}	۰/۴۷۰^{gh}	۱/۱۰^{abc}	۴/۷۵^{a}	۰/۸۰۰^{de}
۱۵	۲۶/۷^{fgh}	۷/۴۰^{abc}	۴۶۸^{h}	۲۴/۱^{fgh}	۸۷/۱^{i}	۲۸/۶^{e}	۰/۳۳۰^{c}	۰/۳۴۰^{j}	۲۴/۳^{gh}	۴/۴۳^{abc}	۰/۲۵۰^{a}	۱/۰۳^{ab}	۳/۰۳^{cde}	۲/۲۰^{e}	۰/۳۷۰^{cdefg}	۱/۳۷^{abc}	۱۵/۸^{f}	۰/۹۹۰^{efg}
۱۶	۲۸/۹^{i}	۷/۲۳^{ab}	۳۸۰^{n}	۲۷/۵^{h}	۱۰۶^{j}	۳۴/۰^{f}	۰/۱۷۰^{abc}	۰/۲۰۰^{bcde}	۳۰/۴^{i}	۵/۱۲^{abc}	۰/۲۰۰^{a}	۱/۲۶^{abcd}	۳/۹۱^{efghi}	۱/۳۶^{abcd}	۰/۳۷۰^{abc}	۰/۵۸۰^{a}	۷/۴۹^{abcde}	۰/۶۸۰^{cd}
۱۷	۲۲/۶^{c}	۷/۵۲^{abcd}	۵۸۰^{k}	۲۵/۴^{gh}	۶۹/۶^{cdef}	۲۴/۱^{de}	۰/۱۶۰^{ab}	۰/۱۹۰^{abcd}	۲۰/۴^{defg}	۵/۲۳^{abc}	۰/۲۹۰^{a}	۱/۵۷^{def}	۴/۴۳^{ghi}	۱/۵۸^{abc}	۰/۴۰۰^{defgh}	۲/۰۶^{c}	۶/۶۲^{abcd}	۰/۴۹۰^{ab}
۱۸	۲۲/۸^{c}	۷/۷۰^{cd}	۶۱۵^{m}	۲۵/۵^{gh}	۷۷/۵^{fgh}	۲۵/۲^{de}	۰/۱۸۰^{abc}	۰/۲۸۰^{ghi}	۲۶/۴^{ghi}	۵/۹۱^{abc}	۰/۲۷۰^{a}	۱/۴۶^{cdef}	۵/۸۰^{j}	۱/۵۰^{abcd}	۰/۴۷۰^{gh}	۰/۸۹۰^{abc}	۱۰/۸^{e}	۰/۵۶۰^{bc}
۱۹	۲۵/۹^{f}	۷/۸۰^{cd}	۴۴۵^{e}	۲۴/۲^{i}	۸۴/۳^{hi}	۲۵/۲^{de}	۰/۱۹۰^{abc}	۰/۲۹۰^{hi}	۲۴/۷^{hi}	۴/۰۶^{ab}	۰/۱۸۰^{a}	۰/۹۸۰^{ab}	۳/۱۰^{cdef}	۱/۳۳^{abc}	۰/۲۱۰^{a}	۱/۸۸^{bc}	۵/۶۰^{abc}	۰/۳۸۰^{a}
۲۰	۲۴/۳^{e}	۷/۵۶^{abcd}	۵۹۲^{l}	۳۳/۰^{i}	۷۳/۵^{efg}	۱۸/۸^{bc}	۰/۱۷۰^{abc}	۰/۲۴۰^{defgh}	۴۵/۵۰^{defgh}	۷/۳۰^{bc}	۰/۲۵۰^{a}	۱/۱۴^{abc}	۱/۳۱^{a}	۱/۰۲^{a}	۰/۲۳۰^{ab}	۱/۸۱^{abc}	۶/۶۵^{abcd}	۰/۰۴۴^{ab}
واحد	℃	-	µs/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	**µg/L**
میانگین	۲۴/۳	۷/۵۸	۴۸۷	۲۱/۱	۶۹/۴	۲۱/۸	۰/۱۷۰	۰/۲۳۰	۱۹/۳	۵/۱۰	۰/۲۳۰	۱/۲۵	۳/۵۸	۱/۶۱	۰/۳۶۰	۱/۳۰	۷/۸۲	۰/۹۷۰
MPL	۳۲/۰	۸/۵۰	۱۵۰۰	۲۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۵۰/۰	۵۰/۰	۱۰/۰	۳/۰۰	۵۰/۰	۲۰۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۲۰/۰	۱۰/۰	۵۰۰۰

*حروف غیر مشترک (a، b، c و ...) در هر ستون، بیان‌گر تفاوت معنی‌دار آماری (۰/۰۵۰)

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1] [Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

جدول۳: مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی به‌تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری در فصل تابستان

پارامتر / ایستگاه	T	pH	EC	Mg	Ca	Na	Cl	PO4	NO3	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
۱	۲۱/۱b	۷/۲۶ab	۳۵٤ b	۱۳/٤ cde	۵۷/۵ bc	۵/۶۳ ab	۰/۱۷۰ abcd	۰/۲۲۰def	۱۰/٤ a	۲۱/۵ab	۰/۱٤۰a	۱/۰۲abc	۸/٤۰e	۱/۹٤h	۰/٤۷۰fgh	۰/۷۹۰abcde	۶/۸۲ab	۱/۱٤**bcd**
۲	۲٤/۹hij	۷/۵۰ab	۲۹۹ a	۱۱/۵ bcd	٤۲/۵ a	۶۳۳ ab	۰/۱۶۰ abcd	۰/۲۱۰cdef	۱۱/٤ a	۱۸/٤a	۰/۱٤۰a	۱/۵۷d	۶/۱۵bc	۱/۶۷fgh	۰/۵۱۰ghi	۱/۹۳g	۹/٤۹b	۱/۱۷**bcd**
۳	۲۱/۷bcd	۷/۳۳ab	۵۱۸i	۱۶/۷ efg	۵۰/۵ b	۱۱/٤ def	۰/۱۸۰ bcd	۰/۰۲۱cdef	۱۸/۸ bcd	۲۱/۰ab	۰/۱۶۰ abc	۰/۸۸۰abc	۶/۹۵bcd	۱/۷۷gh	۰/٤٤۰fgh	۱/۲۱bcdefg	۷/۸۳ab	۱/۲۲**cd**
۴/٤٤g	۲۵/۵jk	۷/۳۳ ab	۳۸۰ c	۱۱/۰ bc	۵۷/۱ bc	۹/٤۰ bcde	۰/۱۱۰ a	۰/۱۷۰abcd	۱۷/۶ b	۲۳/۶b	۰/۱۹۰ abcd	۱/۵۹d	۶/۹٤bcd	۱/۳۰bcdefg	۰/٤۷۰fgh	۱/۸۳fg	۶/۱۸ a	۱/۱۸ a
۱/٤۸**de**	۲۳/۲ef	۷/۱۳a	۳۰۳ a	۱۷/۵ fg	۶٤/۹ cde	۱۰/۷ cdef	۰/۱۵۰ abc	۰/۲۳۰ef	۲۱/۷ cde	۲۳/۰b	۰/۲۲۰ cde	۰/۸۶۰abc	۶/٤۹cde	۱/۰۵abc	۰/۵۲۰bcdef	۰/۵۹۰abcd	۷/۲۹ ab	۱/۹٤**fg**
۲/۱۸**gh**	۲٤/۷hij	۷/٤۰ ab	۵۲۹ j	۱۷/۳ fg	۷۲/۵ efg	۷/۶۶ abcd	۰/۱٤۰ ab	۰/۲٤۰ef	۱۷/۹ b	۲۰/۸ab	۰/۳۳۰ cde	۰/۳۲۰ abcde	۶/۷۱ b	۰/۸۳ab	۰/۳۲۰ abcde	۰/۸۵۰ abcde	۷/۵۸ ab	۱/۱۵**bcd**
۱/۳۳**cd**	۲۳/٤fg	۷/۲۶ ab	٤۵۹ g	۱۳/۶ i	۷۸/۶ gh	۸/۳۰ abcd	۰/۱٤۰ abc	۰/۲۲۰def	۱۶/۶ b	۲۰/٤ab	۰/۱۹۰ abcd	۱/۰۲abc	۶/۲٤bcd	۱/۰۶abcd	۰/۳۲۰abcd	۰/۳۶۰ab	۸/۷۶ ab	۱/۳۳**cd**
۱/۰۲**abc**	۲۶/۹lm	۷/٤۰ab	٤۳۳ e	۱۸/۹ gh	۷۲/۸ efg	۸/۱۶ abcd	۰/۱۳۰ ab	۰/۱۶۰abc	۲۳/۱ efg	۲۰/۸ab	۰/۲۰۰ abcde	۱/۱۰abc	۶/۵۳bcd	۰/۷۵۰a	۰/٤۳۰defg	۱/۱٤bcdefg	۷/۵۵ ab	۱/۰۲**abc**
۱/۶۲**ef**	۱۹/۵a	۷/۳۰ab	۵۷۵ l	۱۸/۳ fg	۸۹/٤ ij	۶۵۳ abc	۰/۱۷۰abcd	۰/۱۳۰a	۲۶/۵ gh	۲۲/٤ab	۰/۱۷۰ abc	۰/۹۵۰abc	۶/۸۵ bcd	۳/۰۱i	۰/٤۵۰fg	۱/۲۵cdefg	۷/۲۵ ab	۱/۶۲**ef**
۱/۱٤**bcd**	۲۵/۰ij	۷/۶۶ b	٤۲۱ d	۱۴/۸ def	۶۶/۵ def	۶۵۶ abc	۰/۲۲۰def	۰/۲۰۰ cd	۲٤/۶ efg	۲۱/۱ab	۰/۱۸۰ abcd	۰/۹۹۰ abc	۷/۰۳ bcd	۲/۶٤i	۰/۵۹۰i	۱/۰۰ abcdef	۶/۳۰ ab	۱/۱٤**bcd**
۰/۹۱۰**abc**	۲۵/۵jk	۷/۲۶ab	۵۵۲ k	۲۲/۳ i	۹۶/۹ jk	۱۳/۰ ef	۰/۱۵۰ abc	۰/۱۵۰abc	۲۳/۶ efg	۲۱/۸ab	۰/۲۰۰ abcde	۰/۷۹۰abc	۷/۱۰ bcde	۲/۵۸i	۰/۲۹۰ab	۰/۹۰۰ abcde	۷/۱۹ ab	۰/۹۱۰**abc**
۰/۸۰۰**ab**	۲۷/۱m	۷/۳۳ab	۵۵۲ k	۲۱/۵ hi	۱۰۲ k	۱۰/۳ cdef	۰/۱۵۰ abc	۰/۱۸۰abcd	۲۲/۳ def	۱۹/۳ab	۰/۳۳۰ cde	۱/۰۳ abc	۶/۸۱ bcd	۱/۵۹efgh	۰/۷۰۰ j	۰/۸۵۰ abcde	۸/۵۹ ab	۰/۸۰۰**ab**
۱/۲۳**cd**	۲۶/۲kl	۷/٤۰ab	۵۸۰ l	۱۳/۷ cde	۸۱/۷ hi	٤/۶۰ a	۰/۲۱۰cdef	۰/۱۶۰ abcd	۲۱/۹ab	۱۸/۵ bc	۰/۳۳۰ cde	۱/۲۹cd	۷/۶۳ d	۱/۱۶abcde	۰/۵۷۰hi	۰/٤۸۰ abc	۸/۵۶ ab	۱/۲۳**cd**
۰/۷۲۰**a**	۲۱/٤bc	۷/۷۰b	۶۳۶ m	۸/۳۰ b	۹۷/۳ jk	۵/۷۳ ab	۰/۱۸۰ bcd	۰/۱۵۰ab	۲۸/۵ h	۲۰/۷ab	۰/۲۰۰ abcde	۰/۸۷۰ abc	۳/۶۵ a	۱/۲۲bcdef	۰/۲٤۰a	۰/۲۷۰ a	۷/۹٤ ab	۰/۷۲۰**a**
۰/۹۵۰**abc**	۲٤/۱gh	۷/۲۶ ab	٤۴۳ f	۱۰/۵ bc	۹۶/۱ jk	۵/۸۶ ab	۰/۲۲۰d	۰/۱٤۰ab	۲۶/۲ fgh	۱۹/۷ab	۰/۲۶۰ e	۰/۷٤۰ ab	۶/۸۵ bcd	۱/۵۳cdefgh	۰/۳۶۰bcdef	۱/۵۲ efg	۶/۳٤ ab	۰/۹۵۰**abc**
۰/۹۲۰**abc**	۲۲/۰cd	۷/۶۳b	۵۷۷ l	۱۰/۸bc	۹٤/۰ jk	۹/٤۰ bcde	۰/۱۸۰bcd	۰/۱۹۰ bcde	۲۲/۵ def	۲۳/٤b	۰/۲۵۰ de	۰/۷۶۰ ab	۵۳/۵ cde	۱/۵۵defgh	۰/۳۰۰abc	۰/۹۰۰ abcde	۶/۷۹ ab	۰/۹۲۰**abc**
واحد	℃	-	µs/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	**µg/L**
میانگین	۲۳/۷	۷/۳۸	٤۷۱	۱۵/۱	۷۵/۳	۸/۱٤	۰/۱۶۰	۰/۱۹۰	۱۹/۸	۲۱/٤	۰/۲۰۰	۱/۰۰	۶/۷۳	۱/۶۲	۰/٤۳۰	۱/۰۱	۷/۶۳	۱/۲٤
MPL	۳۲/۰	۸/۵۰	۱۵۰۰	۲۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۵۰/۰	۵۰/۰	۱۰/۰	۳/۰۰	۵۰/۰	۲۰۰۰	۳۰۰	٤۰۰	۲۰/۰	۱۰/۰	۵۰۰۰

*حروف غیر مشترک (a، b، c و ...) در هر ستون، بیان‌گر تفاوت معنی‌دار آماری (۰/۰۵۰)

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1] [Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

جدول٤: ماتریس همبستگی پیرسون 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	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**	۰/۷۶۰**	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	۰/۶۰۰**	۰/۶۶۰**	-۰/۰۵۰	۰/۰۵۰	۱/۰۰									
As	۰/۱۱۰	۰/۲۴۰	۰/۱۱۰	۰/۱۴۰	-۰/۰۶۰	-۰/۳۰۰	-۰/۱۳۰	-۰/۰۰۶	۱/۰۰								
Cd	۰/۱۶۰	۰/۱۱۰	-۰/۰۷۰	-۰/۲۴۰	-۰/۱۴۰	-۰/۲۶۰	-۰/۱۹۰	-۰/۱۲۰	۰/۳۸۰	۱/۰۰							
Cr	۰/۳۵۰	۰/۱۰۰	-۰/۲۶۰	۰/۰۳۰	-۰/۲۲۰	۰/۰۶۰	-۰/۱۶۰	-۰/۰۵۰	۰/۲۸۰	۰/۲۴۰	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	-۰/۰۱۰	-۰/۲۰۰	-۰/۳۶۰	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	-۰/۱۶۰	-۰/۱۰۰	۰/۰۱۰	-۰/۱۰۰	-۰/۲۱۰	-۰/۰۸۰	۰/۰۷۰	۱/۰۰		
Pb	-۰/۱۲۰	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	-۰/۴۰۰	-۰/۳۹۰	-۰/۲۵۰	-۰/۱۶۰	-۰/۰۶۰	-۰/۲۶۰	۰/۰۱۰	-۰/۰۸۰	-۰/۱۳۰	۰/۱۲۰	۰/۱۲۰	۰/۳۹۰	۰/۰۶۰	-۰/۲۲۰	-۰/۰۹۰	۱/۰۰

* همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵۰

** همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱۰

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1] [Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

جدول۵: ماتریس همبستگی پیرسون برای بررسی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد در فصل تابستان

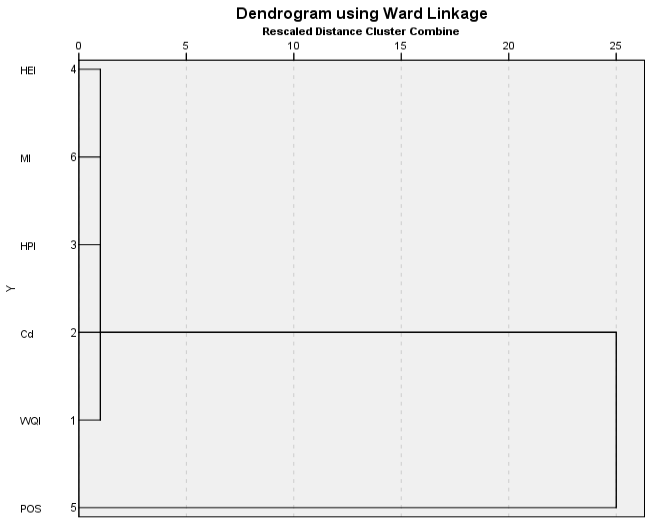
پارامتر	pH	EC	Mg	Ca	Na	Cl	PO_4	NO_3	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
pH	۱/۰۰																
EC	۰/۳۰۰	۱/۰۰															
Mg	۰/۵۳۰*	۰/۰۴۰	۱/۰۰														
Ca	۰/۰۶۰	۰/۶۸۰**	۰/۲۶۰	۱/۰۰													
Na	-۰/۴۴۰*	۰/۰۷۰	۰/۳۶۰	-۰/۰۰۶	۱/۰۰												
Cl	۰/۲۷۰	۰/۱۵۰	-۰/۲۵۰	۰/۲۵۰	-۰/۳۳۰	۱/۰۰											
PO_4	-۰/۰۳۰	-۰/۳۹۰	۰/۱۹۰	-۰/۳۹۰	-۰/۱۹۰	-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	۰/۰۸۰	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	۰/۲۲۰	-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	-۰/۳۲۰	-۰/۴۵۰*	۰/۰۴۰	-۰/۰۳۰	-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	-۰/۴۰۰	-۰/۴۶۰*	۰-/۰۸۰	۰/۱۶۰	-۰/۲۷۰	-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	۰/۰۳۰	-۰/۲۰۰	-۰/۳۴۰	۱/۰۰

* همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵۰

** همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱۰

نتایج محاسبه شاخص‌های WQI، C_d، HPI، HEI، MI و PoS به منظور ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در فصول بهار و تابستان به‌تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری در جداول ٦ و ٧ آورده شده است. میانگین مقادیر شاخص‌های WQI، C_d، HPI و HEI مربوط به نمونه‌های فصل بهار نشان داد به‌ترتیب با ۱۸/۲، ۷/۵۳–، ۹/۸۷ و ۱/٦٤ 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 ٪٦۰ ایستگاه‌ها (۱، ۲، ۵، ٦، ۸، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ١٤، ۱۷ و ۱۹) در طبقه "آلودگی اندک" و در ٪٤۰ 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 حالی‌که، مقادیر شاخص MI با میانگین ۱/٦٤ 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، C_d، HPI و HEI در نمونه‌های فصل تابستان به‌ترتیب با ۱۸/۰، ۵/۹٤–، ۹/۸۷ و ۳/۰۵ نشان داد که کیفیت آب همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری برای شاخص WQI در طبقه "عالی و بسیار خوب"، برای شاخص C_d 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 ٪٤۵ از ایستگاه‌ها (۱، ۲، ۳، ۹، ۱۰،۱۱، ۱۲، ١٤ 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 ٦۰۲ 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. به‌نحوی‌که، در هر دو فصل شاخص‌های WQI، C_d، 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.



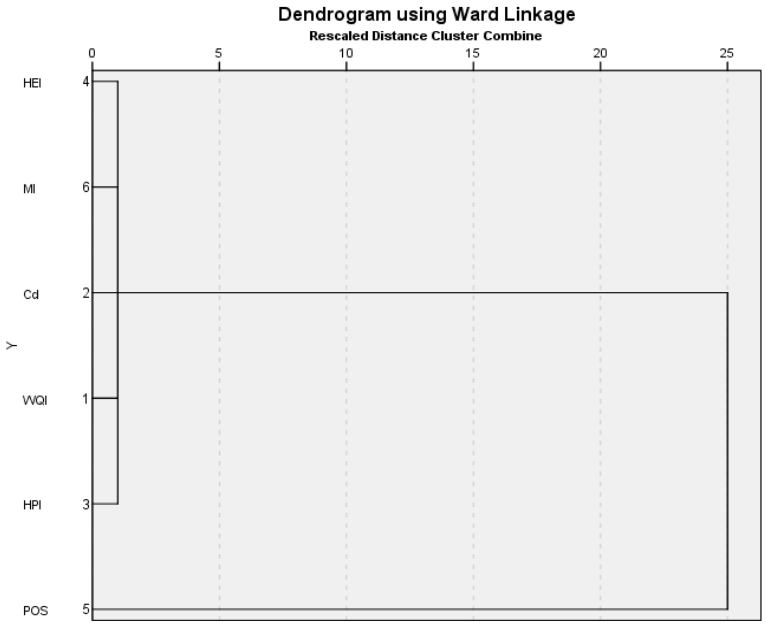
نمودار۱: نتایج تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی شاخص‌های کیفی منابع آبی دشت اسدآباد در فصل بهار

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]

جدول۶: نتایج محاسبه شاخص‌های ارزیابی کیفی نمونه‌های آب فصل بهار به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری

شاخص ایستگاه	WQI	کیفیت آب	C_d	کیفیت آب	HPI	کیفیت آب	HEI	کیفیت آب	PoS	کیفیت آب	MI	کیفیت آب
۱	۱٤/۷	عالی و بسیار خوب	-٦/۰٤	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۲/۹۵	آلودگی کم	٥٦۹	آلودگی متوسط	۲/۹۵	تحت تأثیر متوسط
۲	۱٥/۳	عالی و بسیار خوب	-٦/۰۲	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۲/۹۷	آلودگی کم	٥٥۸	آلودگی متوسط	۲/۹۷	تحت تأثیر متوسط
۳	۱۷/۹	عالی و بسیار خوب	-٦/۹٦	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۳/۰۳	آلودگی کم	٥۹٥	آلودگی متوسط	۳/۰۳	تحت تأثیر متوسط
٤	۱۷/۲	عالی و بسیار خوب	-٥/۷۳	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۳/۲٦	آلودگی کم	٦۲۷	آلودگی زیاد	۳/۲٦	تحت تأثیر متوسط
٥	۱٥/۱	عالی و بسیار خوب	-٥/۷۸	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۳/۲۱	آلودگی کم	٦۰٤	آلودگی زیاد	۳/۲۱	تحت تأثیر متوسط
٦	۱٦/۷	عالی و بسیار خوب	-٥/۸۲	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۳/۱۷	آلودگی کم	٦۱۹	آلودگی زیاد	۳/۱۷	تحت تأثیر متوسط
۷	۱۷/۷	عالی و بسیار خوب	-٥/۸۳	آلودگی کم	۹/۸۷	آلودگی اندک	۳/۱٦	آلودگی کم	٦۳۰	آلودگی زیاد	۳/۱٦	تحت تأثیر متوسط
۸	۱۸/۲	عالی و بسیار خوب	-٥/۸٥	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۳/۱٤	آلودگی کم	٦۲۳	آلودگی زیاد	۳/۱٤	تحت تأثیر متوسط
۹	۱۷/۲	عالی و بسیار خوب	-٦/۰۱	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۲/۹۸	آلودگی کم	٥۸۹	آلودگی متوسط	۲/۹۸	تحت تأثیر متوسط
۱۰	۱۸/۳	عالی و بسیار خوب	-٦/۰۰	آلودگی کم	۹/۸۷	آلودگی اندک	۲/۹۹	آلودگی کم	٥۹۲	آلودگی متوسط	۲/۹۹	تحت تأثیر متوسط
۱۱	۱۷/٥	عالی و بسیار خوب	-٥/۹٦	آلودگی کم	۹/۸۷	آلودگی اندک	۳/۰۳	آلودگی کم	٥۹۸	آلودگی متوسط	۳/۰۳	تحت تأثیر متوسط
۱۲	۱٦/٥	عالی و بسیار خوب	-٦/۰۰	آلودگی کم	۹/۸۷	آلودگی اندک	۲/۹۹	آلودگی کم	٥۸۲	آلودگی متوسط	۲/۹۹	تحت تأثیر متوسط
۱۳	۱۸/۰	عالی و بسیار خوب	-٥/۸۷	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۳/۱۲	آلودگی کم	٦۱۳	آلودگی زیاد	۳/۱۲	تحت تأثیر متوسط
۱٤	۱٦/۷	عالی و بسیار خوب	-٦/۱۱	آلودگی کم	۹/۸٥	آلودگی اندک	۲/۸۸	آلودگی کم	٥٦٥	آلودگی متوسط	۲/۸۸	تحت تأثیر متوسط
۱٥	۱۹/٤	عالی و بسیار خوب	-٥/۹٦	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۳/۰۳	آلودگی کم	٦۱٤	آلودگی زیاد	۳/۰۳	تحت تأثیر متوسط
۱٦	۲۰/۹	عالی و بسیار خوب	-٦/۰٥	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۲/۹٤	آلودگی کم	٦۰۷	آلودگی زیاد	۲/۹٤	تحت تأثیر متوسط
۱۷	۱۸/۹	عالی و بسیار خوب	-٥/۸۱	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۳/۱۸	آلودگی کم	٦۰۳	آلودگی زیاد	۳/۱۸	تحت تأثیر متوسط
۱۸	۲۱/۰	عالی و بسیار خوب	-٦/۰۲	آلودگی کم	۹/۸۷	آلودگی اندک	۲/۹۷	آلودگی کم	٦۰٦	آلودگی زیاد	۲/۹۷	تحت تأثیر متوسط
۱۹	۱۹/۲	عالی و بسیار خوب	-٦/۲۰	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۲/۷۹	آلودگی کم	٥٦۸	آلودگی متوسط	۲/۷۹	تحت تأثیر متوسط
۲۰	۱٥/۸	عالی و بسیار خوب	-٥/۸۲	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۳/۱۷	آلودگی کم	٦۱٦	آلودگی زیاد	۳/۱۷	تحت تأثیر متوسط
میانگین	۱۷/۹	عالی و بسیار خوب	-٥/۹٤	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۳/۰٥	آلودگی کم	٦۰۲	آلودگی زیاد	۳/۰٥	تحت تأثیر متوسط



نمودار۲: نتایج تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی شاخص‌های کیفی منابع آبی دشت اسدآباد در فصل تابستان

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]

جدول۷: نتایج محاسبه شاخص‌های ارزیابی کیفی نمونه‌های آب فصل تابستان به‌تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری

شاخص ایستگاه	WQI	کیفیت آب	C_d	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
٤	۱۷/۹	عالی و بسیار خوب	-۷/۱٦	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۱/۸۳	آلودگی کم	۳٦۱	آلودگی متوسط	۱/۸۳	تحت تأثیر اندک
٥	۱۵/۱	عالی و بسیار خوب	-۷/٤۷	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۱/۵۲	آلودگی کم	۲۸۱	آلودگی اندک	۱/۵۲	تحت تأثیر اندک
٦	۱۷/۱	عالی و بسیار خوب	-۷/۷۰	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۱/۲۹	آلودگی کم	۲٦٦	آلودگی اندک	۱/۲۹	تحت تأثیر اندک
۷	۱۸/۳	عالی و بسیار خوب	-۷/٤۸	آلودگی کم	۹/۸۷	آلودگی اندک	۱/۵۱	آلودگی کم	۳۱٤	آلودگی متوسط	۱/۵۱	تحت تأثیر اندک
۸	۱۸/٦	عالی و بسیار خوب	-۷/۷۰	آلودگی کم	۹/۸٦	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	۹/۸٦	آلودگی اندک	۱/۲٦	آلودگی کم	۲۵۲	آلودگی اندک	۱/۲٦	تحت تأثیر اندک
۱۰	۱۸/۸	عالی و بسیار خوب	-۷/٦٤	آلودگی کم	۹/۸۷	آلودگی اندک	۱/۳۵	آلودگی کم	۲۸٤	آلودگی اندک	۱/۳۵	تحت تأثیر اندک
۱۱	۱۸/۱	عالی و بسیار خوب	-۷/٤٦	آلودگی کم	۹/۸۵	آلودگی اندک	۱/۵۳	آلودگی کم	۳۰۹	آلودگی متوسط	۱/۵۳	تحت تأثیر اندک
۱۲	۱٦/۷	عالی و بسیار خوب	-۷/۷۷	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۱/۲۲	آلودگی کم	۲٤٦	آلودگی اندک	۱/۲۲	تحت تأثیر اندک
۱۳	۱۸/۳	عالی و بسیار خوب	-۷/۷۳	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۱/۲٦	آلودگی کم	۲٦۱	آلودگی اندک	۱/۲٦	تحت تأثیر اندک
۱٤	۱٦/۱	عالی و بسیار خوب	-۷/۷۵	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۱/۲٤	آلودگی کم	۲۵۷	آلودگی اندک	۱/۲٤	تحت تأثیر اندک
۱۵	۱۹/٦	عالی و بسیار خوب	-٦/۷۸	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۲/۲۱	آلودگی کم	٤۲۱	آلودگی متوسط	۲/۲۱	تحت تأثیر متوسط
۱٦	۲۰/۸	عالی و بسیار خوب	-۷/٦۱	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	۹/۸٦	آلودگی اندک	۱/٤۲	آلودگی کم	۲۹٤	آلودگی اندک	۱/٤۲	تحت تأثیر اندک
۱۸	۲۱/۰	عالی و بسیار خوب	-۷/۱۵	آلودگی کم	۹/۸٦	آلودگی اندک	۱/۸٤	آلودگی کم	۳٤۷	آلودگی متوسط	۱/۸٤	تحت تأثیر اندک
۱۹	۱۹/۸	عالی و بسیار خوب	-۷/۸۵	آلودگی کم	۹/۸۷	آلودگی اندک	۱/۱٤	آلودگی کم	۲۵۷	آلودگی اندک	۱/۱٤	تحت تأثیر اندک
۲۰	۱۵/۷	عالی و بسیار خوب	-٦/٤۰	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	۹/۸٦	آلودگی اندک	۱/٦٤	آلودگی کم	۲۹۸	آلودگی اندک	۱/٦٤	تحت تأثیر اندک

بحث

برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی، می‌تواند علاوه‌بر 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[۳٤]. همچنین، کشت وسیع انواع محصولات کشاورزی در منطقه مورد مطالعه و به‌تبع آن استفاده بی‌رویه از آفت‌کش‌ها، کودها و سموم شیمیایی حاوی آرسنیک، مس و کروم و نظایر آن می‌تواند به تجمع آلاینده‌ها به‌ویژه فلزات سنگین در خاک و به‌دنبال آن منابع آب زیرزمینی منجر شود[۳٦،۳۵]. 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 آهگ در نیجریه طی فصول خشک و پرباران انجام یافت، نشان داد که مقادیر شاخص HPI آب در دوره فصل خشک با ۱٤۰۸ بسیار بزرگ‌تر از مقادیر شاخص در فصل پرباران با ۲۹۹ بوده است[۳۸]. این در حالی است که، سبحان اردکانی و نظری نیز با مطالعه آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین، نتایج مشابهی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]

را در ارتباط با افزایش غلظت فلزات سنگین در فصل کم‌بارش (تابستان) نسبت به فصل پربارش (زمستان) گزارش کردند[16].

گرچه به‌نظر می‌رسد که استحصال از منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان داد که مقادیر شاخص‌های C_d، HPI و HEI در نمونه‌های پائین‌دست به‌ترتیب برابر با ۳/۱۵- (آلودگی کم)، ۱۰/۵ (آلودگی اندک) و ٤/٨٤ (آلودگی کم) و در نمونه‌های بالادست نیز به‌ترتیب برابر ٦/۲۰- (آلودگی کم)، ۳/۱۲ (آلودگی اندک) و ۱/٥٤ (آلودگی کم) بوده است[43]. 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 ۲/۹٦- ، ٤٥/٤ و ٤/۰٤ به‌ترتیب نشان‌دهنده "آلودگی کم"، "آلودگی اندک" و " آلودگی کم" و در فصل تابستان نیز با ۳/٥٤-، ٤٥/۰ و ۳/٥۹ به‌ترتیب بیان‌گر"آلودگی کم"، "آلودگی اندک" و " آلودگی کم" منابع آب مورد مطالعه بود[8]. از طرفی، نتایج ارزیابی کیفی منابع آب آشامیدنی شهر رفسنجان با استفاده از شاخص WQI نشان داد که کیفیت ٪۱٤/۳ از منابع آب در طبقه "عالی و بسیار خوب" و ٪۸٥/۷ از منابع در طبقه "خوب" قرار داشته است[2]. 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[44]. همچنین، نتایج ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد نشان داد که میانگین مقادیر شاخص‌های HPI و HEI در فصل بهار به‌ترتیب برابر با ۹/۲۹ و ۲٥/٦ و در فصل تابستان نیز به‌ترتیب برابر با ۸/۸۸ و ۲۷/۳ و بسیار کم‌تر از آستانه خطر (۱۰۰) بوده است[16]. میانگین مقادیر شاخص‌های MI و PoS برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن همدان در فصل بهار با ۰/۹۲۰ و ۰/۳٦۰ به‌ترتیب بیان‌گر سطح کیفی "پاک" و "آلودگی حداقل" و در فصل تابستان نیز با ۱/۰٥ و ۰/٤۱۰ به‌ترتیب بیان‌گر سطح کیفی "تحت تأثیر اندک" و "آلودگی حداقل" گزارش شد[11]. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی شهر مدیاس رومانی نشان داد که میانگین مقادیر شاخص‌های C_d و HPI به‌ترتیب برابر با ٦/٦۱- و ۳/۷۸ و بسیار کم‌تر از آستانه خطر و میانگین مقادیر شاخص HEI برابر با ۲/۳۹ و در محدوده اثرات بهداشتی متوسط گزارش شد[13]. بیشینه مقادیر شاخص HPI منابع آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین در فصول زمستان و تابستان به‌ترتیب برابر با ۱۱/٤ و ۱۹/٥ گزارش شد[4]. مقادیر شاخص‌های C_d، HPI و HEI منابع آب زیرزمینی دشت رزن در فصل بهار به‌ترتیب برابر با ۲/۹٦-، ٤٥/٤ و ٤/۰٤ و در فصل تابستان نیز به‌ترتیب برابر با ۳/٥٤-، ٤٥/۰ و ۳/٥۹ و در هر دو فصل کم‌تر از آستانه خطر گزارش شد[8]. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت قهاوند نشان داد که مقادیر شاخص‌های C_d ، HPI و HEI در فصل بهار به‌ترتیب برابر با ۲/۲۷-، ۹/۰۱ و ۱/۷۳ و در فصل تابستان نیز به‌ترتیب برابر با ۱/۹٥-، ۸/٦۹ و ۲/۰٤ و در هر دو فصل در سطوح آلودگی اندک بوده است[12]، 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 ۱۳۹۲ به‌ترتیب برابر با ۰/٦۱۰- و ۳/۳۰ و ۰/۹۰۰ و ٤/٥٤ و در هر دو فصل بسیار کم‌تر از آستانه خطر گزارش شد[14]. مقادیر شاخص‌های HEI و HPI برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد در فصل بهار به‌ترتیب برابر با ۹/۲۹ و ۲٥/٦ و در فصل تابستان نیز به‌ترتیب برابر با ۸/۸۸ و ۲۷/۲ و بسیار کم‌تر از آستانه خطر گزارش شد[16]. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین نشان داد که مقادیر شاخص HPI برای فصول زمستان و تابستان به‌ترتیب برابر با ٤/۷۳ و ۱۱/۷ و بسیار کم‌تر از مقادیر بحرانی آلودگی بود[15]. 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 به‌ترتیب برابر با ۲/۸۱-، ۹/۷٤ و ۱/۲۰ و در فصل تابستان نیز به‌ترتیب برابر با ۲/٦۷-، ۹/٥۱ و ۱/۳۲ بوده است[10] و میانگین مقادیر شاخص‌های MI و PoS برای

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]

ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن همدان در فصل بهار با ۰/۹۲۰ و ۰/۳۶۰ به‌ترتیب سطح کیفی "پاک" و "آلودگی حداقل" و در تابستان نیز با ۱/۰۵ و ۰/٤۱۰ به‌ترتیب 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 ٦۰۲، 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 به‌دنبال خواهد داشت. در خصوص منشأ عنصر آرسنیک در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از فعالیت‌های انسانی نیز علاوه بر کاربرد علف‌کش‌های حاوی آرسنیک[٤٥]، می‌توان به نقش یون‌های کربنات در کربناتی کردن کانی‌های سولفید آرسنیک که به آب‌شویی آرسنیک و به‌تبع آن ورود این عنصر به منابع آب زیرزمینی منجر می‌شود[٤٦]، 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[٤٧]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 به‌جز 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 به‌دنبال 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 به‌تبع آن آلودگی منابع آب زیرزمینی از طریق فرآیند روان‌شویی را به‌دنبال 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 ۱۷۱٤۸۰۰٦۹۰۷٦٤۲۱۱٦۲۲۹۲۵۰۰ است. بدین‌وسیله نویسندگان از حوزه معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه برای فراهم کردن امکانات اجرای مطالعه، سپاسگزاری می‌کنند.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]

Reference

1. Sobhanardakani S, Maànijou 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 hevay 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, Maànijou 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, Maànijou 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.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]

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 metalcontamination 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 Indicat 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 effectcase studies from India and South East Asia. Ind J Geochemy 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.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]

Journal of Environmental Health Engineering, December 2021; Vol. 9, No. 1: 1-21

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

A. Ghobadi[1], M. Cheraghi[2*], S. Sobhanardakani[3] and B. Lorestani[2]

[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, PO_4^-, Cl^-, Ca, Mg and NO_3^- (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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/jehe.9.1.1]