

پهنه‌بندی کیفیت آب آشامیدنی در روستاهای شهرستان یزد بر اساس شاخص‌های کیفیت آب

مریم ارسخان^۱ , محمدرضا مسعودی نژاد^۲ , رضا سعیدی^{۳,۴} , آریتا محققیان^۵ , مهرانوش ابطحی^{۲*} ^۱ گروه دوره عالی MPH، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران^۲ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران^۳ پژوهشکده علوم بهداشتی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران^۴ گروه سلامت، ایمنی و محیط زیست، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران^۵ گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گیلان، رشت، ایران

مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و اهداف: دسترسی کافی به آب با کیفیت مناسب از دیرباز چالش مناطق کویری کشور بوده است. افزایش فعالیت‌های صنعتی و پیامدهای خشکسالی تغییر اقلیم، این دغدغه را به تمام کشور بسط داده است. دانش در مورد تغییرات زمانی- مکانی کیفیت آب، اولین گام در پایداری مدیریت کمی و کیفی آب آشامیدنی است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه توصیفی- مقطعی کیفیت آب آشامیدنی روستاهای شهرستان یزد را در بازه ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۰ بررسی شد. علاوه بر روند زمانی- مکانی، شاخص‌های کیفیت آب آشامیدنی، شاخص‌های ارزیابی فلزات سنگین و آلودگی فلزات سنگین تعیین گردید. رعایت ملاحظات اخلاقی در تمام مراحل اجرای مطالعه در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: براساس نتایج روند زمانی، تغییرات کدورت، کل جامدات، محلول، سولفات و برخی فلزات سنگین شامل جیوه، روی، سرب، کادمیم، کروم و منگنز افزایشی بوده است. بالاترین و پایین‌ترین شاخص کیفیت آب آشامیدنی به ترتیب مربوط به روستاهای شحنه (۹۲/۳۴) و اکرم‌آباد (۶۷/۴۸) بود. روستاهای خویدک، اکرم‌آباد و عسکریه از نظر شاخص‌های آلودگی فلزات سنگین و ارزیابی فلزات سنگین کیفیت نامناسب داشتند.

نتیجه‌گیری: بررسی تغییرات زمانی کیفیت آب و مکانی شاخص‌های مورد بررسی نشان داد که منبع اصلی آلودگی آب‌های آشامیدنی در شهرستان یزد فعالیت‌های صنعتی است زیرا روستاهای نزدیک مراکز صنعتی کیفیت آب نامناسب‌تری داشتند. این نتیجه لزوم مدیریت پایدار کیفیت آب آشامیدنی برپایه برنامه ایمنی آب در این منطقه را مشخص می‌سازد.

کلیدواژه‌ها: آب آشامیدنی، شاخص کیفیت آب، فلزات سنگین، تغییرات زمانی- مکانی

Please cite this article as: Oroskhan M, Massoudinejad MR, Saeedi R, Mohagheghian A, Abtahi M. Zoning of drinking water quality in villages of Yazd County based on water quality indices. Journal of Health in the Field 2024; 12(2):23-34. **Doi:** <https://doi.org/10.22037/jhf.v12i2.44580>.

*نویسنده مسئول: گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

Email: mehrabtahi@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱

مقدمه

آب زیرزمینی منبع اصلی آب شیرین برای جمعیت جهان است و برای مصارف خانگی، کشاورزی و صنعتی استفاده می‌شود. تقریباً یک سوم جمعیت جهان برای آب آشامیدنی به آب‌های زیرزمینی وابسته هستند [۱]. آب‌های زیرزمینی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک که آب‌های سطحی و بارندگی محدود است، منبع مهم آب محسوب می‌شود [۲]. در کشور ما، حجم کل برداشت آب برای مصارف مختلف از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی برابر با ۹۸/۱ میلیارد مترمکعب است و حوضه آبریز فلات مرکزی با ۳۸/۱ میلیارد مترمکعب در سال بیشترین میزان برداشت را دارد. میزان برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌ترتیب ۴۴/۲ و ۵۳/۹ میلیارد مترمکعب است. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که سهم آب زیرزمینی (چاه‌ها و قنات) در تأمین نیازهای مختلف کشور، ۵۴/۹ درصد است. بیشترین میزان برداشت از آب زیرزمینی مربوط به حوضه آبریز فلات مرکزی با ۳۰/۵ میلیارد مترمکعب است [۳]. تأمین منابع آب زیرزمینی ایمن و تجدیدپذیر برای آشامیدن یکی از اهداف حیاتی توسعه پایدار برای یک ملت است [۴]. با این حال، رشد جمعیت انسانی و توسعه اقتصادی منجر به شیوه‌های کشاورزی و فعالیت‌های صنعتی مخرب محیط زیست و تغییرات آب و هوایی، همگی تهدیدهای مهمی برای کیفیت آب‌های زیرزمینی هستند و آلاینده‌هایی مانند فلزات سمی، هیدروکربن‌ها، آلاینده‌های آلی کمیاب، آفت‌کش‌ها، نانو ذرات، میکروپلاستیک‌ها و سایر آلاینده‌های نوظهور را وارد منابع آب زیرزمینی می‌کنند. منابع طبیعی آلودگی آب‌های زیرزمینی شامل آب دریا، سفره‌های آب شور، آب‌های سطحی با کیفیت پایین و ساختار زمین‌شناسی حاوی فلزات سنگین و دیگر آلاینده‌های آب هستند که اگر فعالیت‌های انسانی تعادل طبیعی محیط را برهم بزنند، این منابع طبیعی ممکن است به منابع جدی آلودگی تبدیل شوند [۵،۶].

تعداد گروه‌های آلاینده‌های شناسایی شده در آب‌های زیرزمینی به سرعت در حال افزایش است؛ اما می‌توان آن‌ها را به طور کلی به سه نوع عمده طبقه‌بندی کرد: آلاینده‌های شیمیایی، آلاینده‌های بیولوژیکی و آلاینده‌های رادیواکتیو [۷]. به‌طور کلی محتوای شیمیایی آب زیرزمینی اثرات مفید و مضر سلامتی دارند. بعضی از مواد شیمیایی مانند کروم، مس و فلوراید در مقادیر کم برای بدن ضروری هستند و در مقادیر زیاد اثرات سوء بهداشتی دارند. در مقابل بعضی از مواد معدنی آب آشامیدنی شامل آرسنیک، کادمیم، سرب و جیوه از آلاینده‌های خطرناک آب محسوب می‌شوند. اگرچه تعداد زیادی از مواد معدنی و آلی ممکن است جزء آلاینده‌های آب محسوب شوند؛ اما نیتрат، فلوراید، فلزات سنگین و عوامل میکروبی مهمترین آلاینده‌های آب آشامیدنی جوامع روستایی هستند [۸،۹].

دانستن کیفیت آب به منظور حفاظت و یا در صورت نیاز ارتقاء آن از ضروریات مدیریت کیفیت منابع آب است. در گذشته تلاش‌های زیادی

برای ارزیابی کیفیت آب صورت گرفته است. بعضی از ارزیابی‌ها براساس ارزیابی کیفیت کلی آب است و بعضی از آنها فقط بر اساس ارزیابی آلودگی فلزات سنگین اختصاصی شده‌اند.

شاخص کیفیت آب (Water Quality Index: WQI)، رویکرد ریاضی برای دسته‌بندی کیفیت آب به شیوه‌ای ساده است که وضعیت کیفیت منبع آب را منعکس می‌کند. شاخص کیفیت آب به عنوان ابزاری پرکاربرد و قابل درک برای تخمین کلی آب آشامیدنی اهمیت قابل توجهی دارد. شاخص کیفیت آب، چندین پارامتر کیفیت آب را با تعیین وزن برای پارامترهای ورودی و فاکتورهای شاخص ترکیب می‌کند که در نتیجه امتیاز شاخصی به دست می‌آید که می‌تواند به راحتی توسط عموم مردم و سیاست‌گذاران درک شود. WQI برپایه مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترهای کیفی آب با مقادیر رهنمودی یا استاندارد می‌باشد [۱۰-۱۲].

دیگر شاخص‌های مرکب کیفیت آب شاخص ارزیابی فلزات سنگین (Heavy Metal Evaluation Index: HEI) و شاخص آلودگی فلزات سنگین (Heavy metal Pollution Index: HPI) برای ارزیابی اثر تجمعی فلزات سنگین بر کیفیت آب هستند. شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) بهترین ابزار برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در پیکره‌های آبی است که یک تصویر ترکیبی از تأثیر کل هر فلز سنگین بر کیفیت کلی آب ارائه می‌دهد. شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI) بعدها توسعه یافت که مانند HPI کیفیت کلی آب را با توجه به فلزات سنگین ارزیابی کرده و با در نظر گرفتن جمع نسبت‌های مقادیر پایش شده و مجاز برای هر یک، محاسبات ساده‌ای را ارائه می‌کند [۱۳،۱۴]. ارزیابی کیفیت آب در مطالعات مختلفی انجام شده و بسته به نوع کاربری آب از شاخص‌های متفاوتی استفاده شده است.

Amiri و همکاران (۲۰۲۰)، در مطالعه خود، کیفیت آب‌های زیرزمینی استان یزد را با استفاده از شاخص کیفیت آب وزن‌دار آنترופی (Entropy-Weighted Water Quality Index: EWWQI) طبقه‌بندی کردند و بر اساس امتیاز EWWQI، به‌ترتیب ۱۰/۳، ۳۰، ۱۷/۸، ۷/۴ و ۳۴/۵ درصد منابع آب زیرزمینی به عنوان عالی، خوب، متوسط، ضعیف و بسیار ضعیف طبقه‌بندی شدند [۱۵]. نتایج مطالعه Chen و همکاران با هدف تعیین کیفیت آب زیرزمینی برای اهداف آشامیدنی و آبیاری و ارزیابی ریسک سلامت انسان در منطقه نیمه خشک شمال چین نشان داد که براساس شاخص کیفیت آب آنترופی (EWQI)، ۶۷/۷۴ درصد از نمونه‌های آب به عنوان کیفیت متوسط و قابل قبول برای مصارف شرب طبقه‌بندی شدند [۱۶]. همچنین مطالعه Abtahi و همکاران بر روی کیفیت منابع آب روستاهای استان خوزستان در سال ۲۰۱۵، نشان داد که مقادیر DWQI در این استان از ۶۹ برای روستاهای شهرستان شادگان تا ۹۰ برای روستاهای شهرستان

آمونیاک (NH_3)، نیتريت (NO_2)، نترات (NO_3)، فسفات (PO_4^{3-})، آلومینیوم (Al)، آرسنیک (As)، آهن (Fe)، جیوه (Hg)، سرب (Pb)، روی (Zn)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu) و نیکل (Ni). پارامترهای کیفی نامبرده شده مطابق دستورالعمل روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شده بودند [۱۹]. در تمام طول پژوهش، رعایت ملاحظات اخلاقی مورد توجه قرار گرفت.

محاسبه شاخص کیفیت آب آشامیدنی

شاخص DWQI با استفاده از توابع ریاضی، خصوصیات کیفی آب را به یک داده کمی (امتیاز) تبدیل کرده و وضعیت کلی منابع آب را با یک عدد نشان می‌دهد. این عدد در بازه‌ای از صفر تا ۱۰۰ قرار می‌گیرد که هرچه به عدد ۱۰۰ نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده کیفیت بالاتر منبع آب است. اگرچه اولین بار این شاخص توسط Horton ارائه شد اما در مطالعات بعدی توسعه یافت. در مطالعه حاضر از شاخص ارائه شده توسط شورای وزیران محیط زیست کانادا (CDWQI) استفاده شده است. محاسبه شاخص کیفیت آب برای کل داده‌های کیفیت آب انجام شد و DWQI تعیین گردید. همچنین دو زیرشاخص مقبولیت کیفیت آب (Acceptability Water Quality Index: AWQI) که خصوصیات زیباشناختی و گوارایی آب آشامیدنی را بررسی می‌کند و شاخص کیفیت بهداشتی آب (Health Water Quality Index: HWQI) که با استفاده از خصوصیات بهداشتی آب آشامیدنی محاسبه می‌شود نیز تعیین گردید. CDWQI با استفاده از سه عامل محاسبه می‌شود که شامل عامل حوزه یا وسعت (F_1)، عامل تکرار یا فراوانی (F_2) و عامل بزرگی یا تخطی از معیار (F_3) هستند.

ضرایب وزنی ورودی در این شاخص از مطالعه ابطحی و همکاران بدست آمد. این شاخص کیفیت منابع آب را به پنج دسته طبقه بندی می‌کند: مقدار ۱۰۰-۹۵ وضعیت عالی، ۹۴/۹-۸۵ وضعیت خوب، ۸۴/۴۹-۷۰ وضعیت متوسط، ۶۹/۹-۵۵ وضعیت مرزی، کمتر از ۵۵ به عنوان نامناسب. روابط مربوط به تعیین عوامل به ترتیب در ادامه آورده شده است [۱۷]:

$$F_1 = \frac{\sum_{i=1}^m w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

$$F_2 = \frac{\sum_{i=1}^m (w_i M_i / N_i)}{\sum_{i=1}^n (w_i)} \quad (2)$$

در این روابط w_i وزن پارامتر ورودی i ، n تعداد پارامترهای ورودی، m تعداد پارامترهای تخطی‌کننده از استاندارد، M_i تعداد اندازه‌گیری‌های ناقص پارامتر ورودی i و N_i تعداد کل اندازه‌گیری‌های پارامتر ورودی i است [۷، ۱۳]. F_3 بر اساس بزرگی تخطی پارامترهای کیفی متجاوز از معیار (E_i) و مجموع نرمال شده تخطی‌ها (NSE) به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$E_i = \frac{\sum_{i=1}^{N_{iSV}} C_i}{N_i} \text{ for bioaccumulative or carcinogen parameters} \quad (3)$$

ایده متغیر بود. به‌طور کلی ۵۹/۱ درصد روستاهای استان خوزستان براساس شاخص کیفیت آب دارای آب با کیفیت متوسط بودند [۱۷]. شهرستان یزد در نواحی مرکزی ایران قرار دارد و آب زیرزمینی منبع اصلی تامین آب آشامیدنی جامعه در مناطق روستایی این شهرستان است. تغییرات آب و هوایی (خشکسالی‌های پی‌درپی) و تغییر اقلیم به همراه فعالیت‌های کشاورزی و صنایع کوچک مستقر در روستاها، کیفیت آب زیرزمینی این منطقه را تحت تاثیر قرار داده است. بررسی شرایط کیفیت آب زیرزمینی و تغییرات آن در طی زمان می‌تواند تصویر مناسبی در اختیار مصرف‌کنندگان و سیاست‌گذاران قرار دهد تا بتوان اصلاحات موردنیاز از طریق اصلاح رفتار برداشت آب و تخلیه آلاینده به منابع آبی و نیز استقرار برنامه ایمنی آب مناسب منطقه را پیاده نمود. بنابراین، هدف از این مطالعه، تحلیل کیفیت آب آشامیدنی در جوامع روستایی شهرستان یزد و تعیین مناطق روستایی نیازمند اقدامات اصلاحی است. به منظور تحلیل کیفیت آب زیرزمینی روستاهای شهرستان یزد از شاخص‌های DWQI، HPI و HEI، استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان یزد در استان یزد واقع در فلات مرکزی ایران است. این شهرستان تابستانی خشک و گرم با رطوبت کم و حداقل بارندگی را تجربه می‌کند. بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، شهرستان یزد تقریباً ۶۵۶۰۰۰ نفر جمعیت دارد که حدود ۷ درصد در جوامع روستایی ساکن هستند. منبع اصلی تامین آب جامعه در جوامع روستایی شهرستان، چاه‌های آب با حداقل کلرنی (به منظور کنترل آلودگی میکروبی آب) است. میانگین دمای شهرستان یزد $19/2^\circ\text{C}$ است و با بارندگی سالانه ۸۹ میلی‌متر خشکترین مرکز استان ایران محسوب می‌شود [۱۸]. در این مطالعه، داده‌های کیفی آب آشامیدنی ۱۴ روستای شهرستان یزد (محمد آباد، شهنة، فهرج، احمدآباد، خویدک، اکرم‌آباد، سیدمیرزا، دنو، عسکریه، حسین‌آباد، اکرمیه، محمدآباد زرچ، دربید، اله‌آباد با جمعیت کل ۳۶۶۹۵ نفر از معاونت بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی یزد تهیه شد. بازه داده‌های کیفیت آب سال ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۰ بود.

جمع‌آوری داده‌ها

پس از اخذ اطلاعات از آزمایشگاه آب معاونت بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی یزد، داده‌های مورد مطالعه جهت بررسی‌های بعدی از نظر صحت نتایج مورد بازبینی قرار گرفت و پس از حذف داده‌های مشکوک، آمار توصیفی این خصوصیات به صورت میانگین، انحراف معیار، میانه، بیشینه و کمینه بدست آمد. پارامترهای کیفی آب آشامیدنی مورد بررسی عبارت بودند از pH، هدایت الکتریکی (EC)، کدورت، کل جامدات محلول (TDS)، سختی کل (TH)، قلیائیت کل (Alkt)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، پتاسیم (K)، منگنز (Mn)، فلوراید (F)، کلرید (Cl)،

محاسبه شاخص ارزیابی فلزات سنگین

شاخص HEI، کیفیت کلی آب را با توجه به فلزات سنگین بدست می‌دهد و برخلاف شاخص HPI، اهمیت بهداشتی و ملاحظات محیط زیستی فلزات سنگین را یکسان در نظر می‌گیرد. این شاخص با استفاده از معادله شماره محاسبه می‌شود:

$$HEI = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{S_i} \quad (11)$$

که C_i و S_i به ترتیب مقدار اندازه‌گیری شده و استاندارد فلز سنگین موردنظر است. غلظت‌های زیاد فلز در مقایسه با مقدار S_i نشان‌دهنده کیفیت نامناسب و بد آب می‌باشد. براساس شاخص اگر غلظت هر فلز بیشتر از حداکثر مقدار مجاز موجود در استانداردها شود (یعنی نسبت C_i/S_i بیشتر از یک شود) از این آب نمی‌توان استفاده کرد. شاخص HEI کیفیت آب از نظر فلز سنگین را به سه طبقه آلودگی کم شاخص $HEI < 10$ ، آلودگی متوسط $10 < HEI < 20$ و آلودگی زیاد $HEI > 20$ طبقه بندی می‌کند [۱۳، ۱۴].

تغییرات زمانی و مکانی آلاینده‌های آب آشامیدنی زیرزمینی
برای تحلیل آماری تغییرات سالانه پارامترهای کیفی آب از روش‌های ناپارامتریک آزمون من-کندال (Mann-Kendall) و تخمین گر شیب سن (Sen's slope estimator) طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۴۰۰ در سطح شهرستان یزد استفاده شد. شیب روندهای زمانی مقادیر پارامترهای کیفی با استفاده از برآوردگر شیب سن به شرح زیر تعیین شد [۲۳].

$$Y = B + Q(T - T_0) \quad (12)$$

که در آن Y مقدار میانگین سالانه پارامتر کیفی است، B میانگین پارامتر کیفی در سال اول، Q شیب روندهای سالانه است (مقدار مثبت روند صعودی را نشان می‌دهد و مقدار منفی نشان‌دهنده روند نزولی است) و T_0 و T به ترتیب اولین سال داده و سال داده روند زمانی هستند. به منظور پهنه‌بندی و تعیین توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب آشامیدنی شهرستان یزد از مدل‌های کریجینگ معمولی (OK) و سمی‌وایگرام (semivariogram) استفاده شد. کریجینگ یکی از محبوب‌ترین و قوی‌ترین تکنیک‌های درون‌یابی در میان سایر تکنیک‌ها است که همبستگی فضایی و وابستگی را در پیش‌بینی یک متغیر شناخته شده ادغام می‌کند [۲۴].

یافته‌ها

روند زمانی تغییرات پارامترهای کیفی آب در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. این جدول نمایش تغییرات زمانی پارامترهای کیفی همه روستاهای شهرستان یزد بوده و تغییرات میانگین سالانه پارامترها را نشان می‌دهد. با توجه به جدول شماره ۱ مشخص می‌گردد که پارامترهای pH، هدایت الکتریکی، کلسیم، کلراید، آمونیاک، نیتريت و نیترات، آرسنیک، آلومینیم، آهن، کروم، مس و نیکل روند کاهشی

$$E'_i = \frac{\sum_{i=1}^n 10^{((V'_i - SV'_i) - 1)}}{N'_i} \text{ for logarithmic scale parameters} \quad (4)$$

$$E''_i = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{C''_i}{SV''_i} - 1 \right)}{N''_i} \text{ for other parameters} \quad (5)$$

$$NSE = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i E_i + w'_i E'_i + w''_i E''_i)}{\sum_{i=1}^n w_i, w'_i, w''_i} \quad (6)$$

$$F_3 = \frac{NSE}{0.01NSE + 0.01} \quad (7)$$

$$DWQI = 100 - \left(\frac{w_{F_1} F_1^2 + w_{F_2} F_2^2 + w_{F_3} F_3^2}{w_{F_1} + w_{F_2} + w_{F_3}} \right) \quad (8)$$

که در آن E_i مقدار تخطی پارامتر دارای تجمعی زیستی یا سرطان‌زا (شامل As، Cd، Cr، Hg، Ni و Pb)، E'_i مقدار تخطی پارامتر با مقیاس لگاریتمی i است (در این مطالعه فقط pH) و E''_i مقدار تخطی پارامتر کیفیت آب بدون احتساب پارامترهای تجمع زیستی، سرطان‌زا و مقیاس لگاریتمی است. w_{F_1} ، w_{F_2} و w_{F_3} به ترتیب وزن‌های F_1 ($0/385$)، F_2 ($0/327$) و F_3 ($0/288$) در نظر گرفته شد [۷، ۱۰].

محاسبه شاخص آلودگی فلزات سنگین

شاخص HPI براساس وزن اختصاص داده شده (W_i) به هر پارامتر فلز سنگین انتخابی محاسبه و ارزیابی می‌شود. این وزن انتخابی، مقداری بین صفر تا یک دارد و انتخاب آن بر اساس سمیت و خطرات بالقوه سلامتی فلز سنگین موردنظر است. فاکتورهای وزنی یا از طریق تحقیقات علمی گسترده و دستورالعمل‌های نظارتی تعیین می‌شوند و یا به سادگی می‌توان آن را به صورت معکوس با استاندارد توصیه شده برای هر پارامتر تعریف نمود و سپس برای همه فلزات مورد مطالعه نرمال کرد. بهر حال وزن تعیین شده نشان‌دهنده اهمیت نسبی هر فلز در کمک به آلودگی کلی و اثرات بالقوه مضر آن بر سلامت انسان و محیط زیست است [۲۰، ۲۱].

در مطالعه حاضر، حدود غلظت یعنی مقدار مجاز استاندارد (S_i) و بیشترین مقدار مطلوب (I_i) (حد ایده‌آل) هر عنصر براساس مقادیر سازمان ملی استاندارد ایران تعریف شدند. مقدار عددی HPI با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (9)$$

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad (10)$$

در این رابطه‌ها W_i و Q_i به ترتیب زیر شاخص نام فلز سنگین و وزن آن فلز در محاسبه می‌باشد. Q_i از رابطه شماره ۳ بدست می‌آید. C_i غلظت اندازه‌گیری شده فلز نام و S_i استاندارد آن فلز می‌باشد. مقادیر محاسبه شده HPI آب را به پنج گروه عالی ($0-25$)، خوب ($26-50$)، ضعیف ($51-75$)، بسیار ضعیف ($76-100$) و نامناسب (>100) طبقه‌بندی می‌نماید [۲۲].

فسفات، جیوه، روی، سرب، کادمیم، کروم و منگنز مثبت و افزایشی نشان داده شده است و این روند در مورد قلیائیت کل و منگنز معنی دار بود.

داشته‌اند و این روند منفی در مورد آمونیاک و نیترات، آرسنیک، آلومینیم و مس معنی دار بوده است. آزمون من-کندال، تغییرات کدورت، کل جامدات، قلیائیت کل، سختی کل، منیزیم، پتاسیم، فلوراید، سولفات،

جدول ۱- تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی شهرستان یزد

Table 1- Temporal changes of quality parameters of underground water in Yazd city

Sig.	B	Q	انحراف معیار	میانگین	استاندارد	واحد	پارامتر کیفی آب
-	۷/۷۱	-۳/۸۵×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۰۴	۷/۷۲	۹/۵-۸/۵	-	pH
-	۱/۷۵×۱۰ ^{-۱۰}	۳/۷۹×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۱۹	۰/۱۸	۱	NTU	کدورت
-	۵/۷۷×۱۰ ^{-۱۰}	۲/۰۷×۱۰ ^{-۱۰}	۷۲	۶۶۰	۱۰۰۰	mg/L	کل جامدات محلول
-	۹/۳۶×۱۰ ^{-۱۰}	-۸/۵۵×۱۰ ^{-۱۰}	۴۲	۹۱۹	-	μS/cm	هدایت الکتریکی
*	۱/۶۶×۱۰ ^{-۲}	۷/۴۷	۱۶	۱۸۴	-	mg/L	قلیائیت کل
-	۲/۶۰×۱۰ ^{-۲}	۳/۳۱	۹/۹۶	۲۶۷/۸۴	۲۰۰	mg/L	سختی کل
-	۱/۶۲×۱۰ ^{-۲}	-۴/۲۷×۱۰ ^{-۱۰}	۲/۴۰	۶۴/۶۰	۳۰۰	mg/L	کلسیم
-	۱/۰۰×۱۰ ^{-۲}	۲/۷۵	۲/۵۲	۲۵/۹۱	۳۰	mg/L	منیزیم
-	۱/۲۸	۵/۹۹×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۲۲	۱/۳۵	-	mg/L	پتاسیم
-	۱/۴۲×۱۰ ^{-۲}	-۷/۲۸×۱۰ ^{-۱۰}	۷	۱۳۷	۲۵۰	mg/L	کلراید
-	۴/۵۳×۱۰ ^{-۱۰}	۴/۵۳×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۰۳۵	۰/۴۸۲	۰/۵-۱/۵	mg/L	فلوراید
**	۱/۰۳×۱۰ ^{-۱۰}	-۱/۵۴×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۰۳۴	۰/۰۵۶	۱/۵	mg/L	آمونیاک
-	۱/۳۹×۱۰ ^{-۱۰}	-۲/۰۵×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۱۳۶	۰/۰۶۴	۳	mg/L	نیتريت
*	۱/۶۱	-۱/۱۱	۲/۲۰	۱۲/۶۰	۵۰	mg/L	نیترات
-	۷/۰۲×۱۰ ^{-۱۰}	۴/۴۹	۱۱/۱۰	۸۴/۰۰	۲۵۰	mg/L	سولفات
-	۳/۷۸×۱۰ ^{-۱۰}	۲/۰۳×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۶۵	۰/۷۳۰	-	mg/L	فسفات
*	۲/۸۲×۱۰ ^{-۱۰}	-۴/۵۵×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۰۱۱	۰/۰۱۵	۰/۰۱	mg/L	آرسنیک
**	۱/۰۶×۱۰ ^{-۱۰}	-۱/۵۷×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۰/۱	mg/L	آلومینیم
-	۳/۴۱×۱۰ ^{-۱۰}	-۱/۴۲×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۰۰۷	۰/۰۳۱	۰/۳	mg/L	آهن
-	۱/۴۵×۱۰ ^{-۱۰}	۴/۸۹×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	mg/L	جیوه
-	۵/۶۸×۱۰ ^{-۱۰}	۴/۵۵×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۰۱۵	۰/۰۷۰	۳	mg/L	روی
-	۴/۸۹×۱۰ ^{-۱۰}	۳/۱۳×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۱	mg/L	سرب
-	۱/۰۰×۱۰ ^{-۱۰}	۴/۶۹×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۰۱۸	۰/۰۱۷	۰/۰۰۳	mg/L	کادمیم
-	۱/۲۹×۱۰ ^{-۱۰}	۱/۵۲×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۰۵	mg/L	کروم
**	۳/۹۵×۱۰ ^{-۱۰}	-۵/۱۸×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۰۱۲	۰/۰۲۵	۲	mg/L	مس
*	۲/۲۳×۱۰ ^{-۱۰}	۲/۱۵×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۰۱۱	۰/۰۳۲	۰/۱	mg/L	منگنز
-	۸/۴۷×۱۰ ^{-۱۰}	-۱/۱۴×۱۰ ^{-۱۰}	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۷	mg/L	نیکل

از ۰/۷ بوده و همبستگی بین آنها معنی دار مورد توجه قرار گرفت. بررسی مقدار ضریب همبستگی پارامترهای مطالعه شده نشان می‌دهد که بین پارامترهای دما و کدورت همبستگی قوی وجود دارد. پارامترهای سختی کل (TH) با کدورت (Turbidity)، کل جامدات معلق (TDS) و هدایت

به منظور بررسی منشأ و رابطه تغییرات بین پارامترهای مختلف، همبستگی بین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی شهرستان یزد بررسی شد که در جدول شماره ۲ آورده شده است. در تجزیه و تحلیل همبستگی، آن دسته از پارامترهایی که دارای ضریب همبستگی بالاتر

که همبستگی با AlkT از نوع معکوس و دو مورد دیگر از نوع مستقیم می باشد. Zn با کدورت و دما همبستگی دارد. Fe با دما دارای همبستگی معکوس و با Mn دارای همبستگی مثبت می باشد. Al دارای همبستگی مستقیم با ترکیبات Mn، NO_3 ، NH_4 و Cu می باشد و دارای همبستگی معکوس با SO_4 و Zn است. Ni دارای همبستگی مستقیم با NO_3 ، Cu و Al می باشد و دارای همبستگی معکوس با TH، TDS، NO_3 (قوی)، Cl، AlkT، F، SO_4 (قوی)، PO_4 می باشد. Cr دارای همبستگی مستقیم با NO_3 ، Cu، Al و Ni می باشد.

الکتریکی (EC) دارای همبستگی مثبت هستند. مقدار منیزیم (Mg) با TDS و TH دارای همبستگی است که همبستگی با TDS قوی تر می باشد. کلرور (Cl) نیز دارای همبستگی قوی با EC می باشد. F با پارامترهای EC، TH و Cl دارای همبستگی می باشد که همبستگی با EC از نوع قوی می باشد. همچنین SO_4 با TDS، TH، Mg و NO_3 همبستگی دارد که همبستگی با TDS و Mg از نوع مستقیم قوی می باشد و با NO_3 همبستگی معکوس دارد. K با TDS، EC و Cl همبستگی مثبت دارد. Cu دارای همبستگی قوی با NO_3 و NH_4 است

جدول ۲- ماتریس همبستگی پارامترهای اندازه‌گیری شده در آب زیرزمینی شهرستان یزد

Table 2- Correlation matrix of parameters measured in the underground water of Yazd city

پارامتر	pH	Turbidity	EC	TDS	TH	Al	Ca	Cd	Cl	Cr	Cu	F	Fe	Hg	K	Mg	Mn	NO_3^-	Ni	PO_4	SO_4	Zn
pH	۱																					
Turbidity	-۰/۱۳	۱																				
EC	-۰/۴۳	-۰/۲۵	۱																			
TDS	-۰/۲۸	-۰/۲۵	-۰/۵۲	۱																		
TH	-۰/۴۴	-۰/۷۹*	-۰/۴۴	-۰/۷۱	۱																	
Al	-۰/۰۱	-۰/۶۸	-۰/۲	-۰/۵۴	-۰/۵۹	۱																
Ca	-۰/۰۵	-۰/۶۵	-۰/۳۶	-۰/۱۷	-۰/۶۲	-۰/۰۴	۱															
Cd	-۰/۰۴	-۰/۲۲	-۰/۲۳	-۰/۳۶	-۰/۲۱	-۰/۱۱	-۰/۲۶	۱														
Cl	-۰/۳۵	-۰/۰۳	-۰/۹۶**	-۰/۰۲	-۰/۳۱	-۰/۱۵	-۰/۱۸	-۰/۷۴	۱													
Cr	-۰/۰۱	-۰/۰۶	-۰/۲۹	-۰/۵۵	-۰/۲۴	-۰/۷۳	-۰/۴۵	-۰/۵۶	-۰/۲۴	۱												
Cu	-۰/۰۷	-۰/۰۶	-۰/۴	-۰/۴۹	-۰/۵۲	-۰/۹۱**	-۰/۰۸	-۰/۱۱	-۰/۲۸	-۰/۷	۱											
F	-۰/۲۸	-۰/۶۵	-۰/۷۶*	-۰/۵۶	-۰/۷۷**	-۰/۳۵	-۰/۶۱	-۰/۷۳	-۰/۷۳	-۰/۱۲	-۰/۳۸	۱										
Fe	-۰/۲۶	-۰/۷۵	-۰/۲۳	-۰/۰۳	-۰/۴۸	-۰/۶۵	-۰/۱۱	-۰/۰۳	-۰/۲۷	-۰/۳	-۰/۴۷	-۰/۳	۱									
Hg	-۰/۸۶	-۰/۴۶	-۰/۸۲	-۰/۵۱	-۰/۷۱	-۰/۲۲	-۰/۷۳	-۰/۳۷	-۰/۷۲	-۰/۴۷	-۰/۴۴	-۰/۹۳	-۰/۲۶	۱								
K	-۰/۲۹	-۰/۰۹	-۰/۷۹*	-۰/۸۰*	-۰/۴۲	-۰/۱۳	۰	-۰/۳۱	-۰/۳۲	-۰/۷۹**	-۰/۰۷	-۰/۵۷	-۰/۲	-۰/۶۳	۱							
Mg	-۰/۵۳	-۰/۴۷	-۰/۴۱	-۰/۸۱*	-۰/۷۳	-۰/۷۳	-۰/۰۱	-۰/۳۸	-۰/۴۶	-۰/۵۷	-۰/۵۴	-۰/۶۴	-۰/۴۲	-۰/۸۵	-۰/۶۳	۱						
Mn	-۰/۵۶	-۰/۶۵	-۰/۲۳	-۰/۲۷	-۰/۶۲	-۰/۶۸	-۰/۰۴	-۰/۲۳	-۰/۴۸	-۰/۲	-۰/۶۸	-۰/۱۶	-۰/۸۰**	-۰/۲۶	-۰/۱۱	-۰/۶	۱					
NO_3^-	-۰/۰۲	-۰/۴۶	-۰/۲۶	-۰/۶۲	-۰/۵	-۰/۹۴**	-۰/۰۹	-۰/۱۱	-۰/۲۵	-۰/۸۷*	-۰/۱۳	-۰/۴۳	-۰/۴۳	-۰/۴۳	-۰/۱۷	-۰/۶۶	-۰/۶۳	۱				
Ni	-۰/۴	-۰/۶۷	-۰/۳۸	-۰/۸۹	-۰/۹۹**	-۰/۰۹	-۰/۵۶	-۰/۴۹	-۰/۸۲	-۰/۸۲	-۰/۱۸	-۰/۶۵	-۰/۵۵	-۰/۵۷	-۰/۰۹	-۰/۵۷	-۰/۰۱	-۰/۹۵*	۱			
PO_4	-۰/۲۹	-۰/۲۷	-۰/۵۴	-۰/۲۳	-۰/۲۶	-۰/۳۷	-۰/۴۸	-۰/۲۷	-۰/۴	-۰/۶۱	-۰/۵۷	-۰/۵	-۰/۲۹	-۰/۹۸**	-۰/۱	-۰/۰۶	-۰/۱۳	-۰/۶۰	-۰/۸۲	۱		
SO_4	-۰/۳۲	-۰/۵	-۰/۳۲	-۰/۹۳**	-۰/۸۱*	-۰/۷۹*	-۰/۱۵	-۰/۲۱	-۰/۳۱	-۰/۶۷	-۰/۷۱	-۰/۵۸	-۰/۳۱	-۰/۴۵	-۰/۶۲	-۰/۹۳**	-۰/۵۶	-۰/۷۱*	-۰/۲۴	-۰/۲۴	۱	
Zn	-۰/۲۸	-۰/۸۲*	-۰/۲۶	-۰/۱	-۰/۴۱	-۰/۷۵	-۰/۳۷	-۰/۴۳	-۰/۱۸	-۰/۱۵	-۰/۶۹	-۰/۴۱	-۰/۶	-۰/۶۷	-۰/۲۸	-۰/۳۳	-۰/۴۱	-۰/۵۵	-۰/۵۵	-۰/۱۳	-۰/۳۶	۱

* معنی داری $p < 0.05$ - ** معنی داری $p < 0.01$

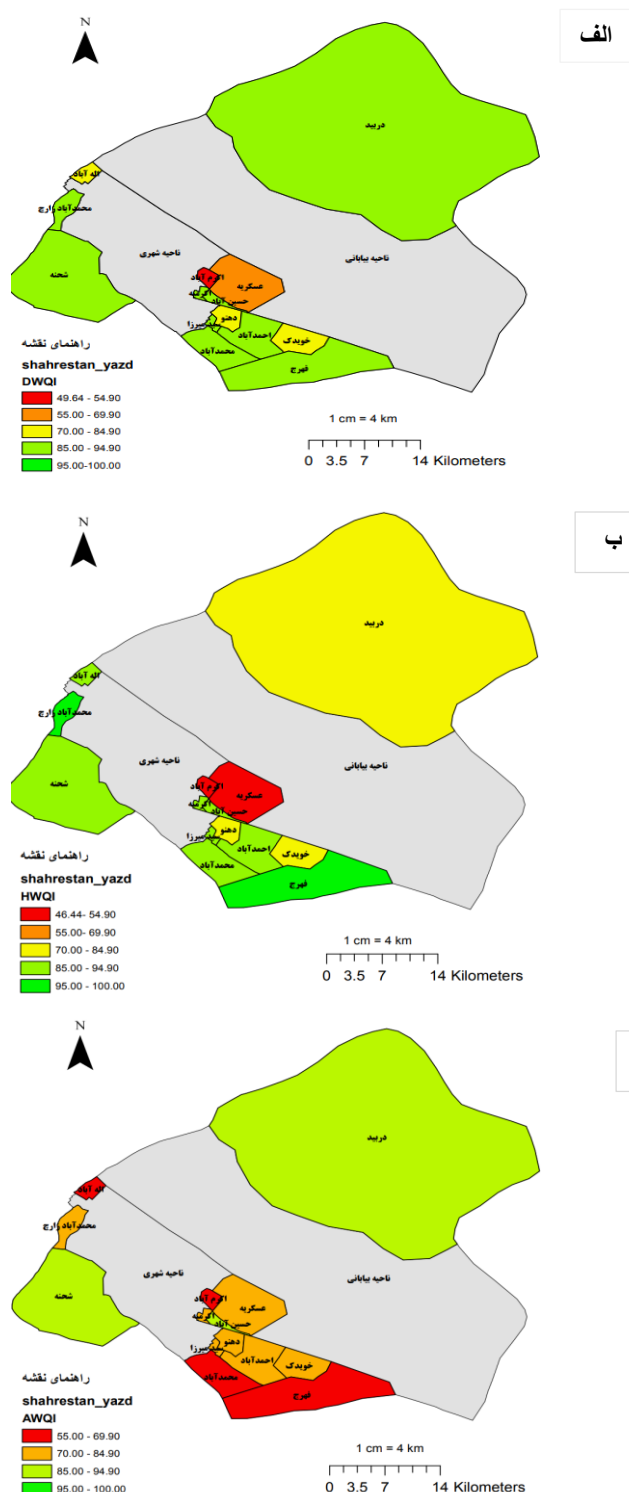
براساس محاسبه DWQI، هیچکدام از روستاهای شهرستان یزد در طبقه آب با کیفیت عالی قرار نگرفت. کیفیت آب آشامیدنی روستاهای درُبد، محمدآباد زارچ، اکرمیه، حسین آباد، سیدمیرزا، احمدآباد، فهرج، شحنة و محمد آباد دارای شاخص طبقه خوب (۸۵-۹۴/۹) بودند، روستاهای اله آباد، دهنو و خویدک در طبقه متوسط (۷۰-۸۴/۴۹)، روستای عسکریه در طبقه مرزی (۵۵-۶۹/۹) و روستای اکرم آباد در طبقه نامناسب (کمتر از ۵۵) قرار گرفت.

شاخص کیفیت بهداشتی آب آشامیدنی (HWQI) در شکل شماره ۱- ب نشان داده شده است. براساس نتایج محاسبه این شاخص روستاهای

در این مطالعه شاخص‌های کیفیت آب آشامیدنی مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور ابتدا شاخص کیفیت آب آشامیدنی روستاهای شهرستان یزد طی سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۰ بدست آمد. مقایسه آن نتایج نشان‌دهنده تغییرات جزیی شاخص در طول این سال‌ها بود؛ بنابراین برای محاسبه شاخص مقادیر میانگین پارامترهای کیفی در نظر گرفته شد. نتایج تعیین شاخص کیفیت آب آشامیدنی به تفکیک شاخص کیفیت آب آشامیدنی (DWQI) و دو زیرشاخص مقبولیت کیفیت آب (AWQI) و شاخص کیفیت بهداشتی آب (HWQI) در شکل شماره ۱ نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ۱- الف دیده می‌شود

شاخص برای روستاهای دُرید، دهنو و خویدک متوسط بدست آمد. در حالی که براساس این شاخص، آب آشامیدنی روستاهای عسکریه و اکرم آباد دارای کیفیت نامناسب برای آشامیدن می‌باشد.

فهرج و محمدآباد زارچ کیفیت بهداشتی آب آشامیدنی عالی داشتند. آب آشامیدنی روستاهای اله آباد، محمدآباد زارچ، اکرمیه، حسین‌آباد، سیدمیرزا، احمدآباد، شحنه و محمدآباد در طبقه خوب قرار داشت و

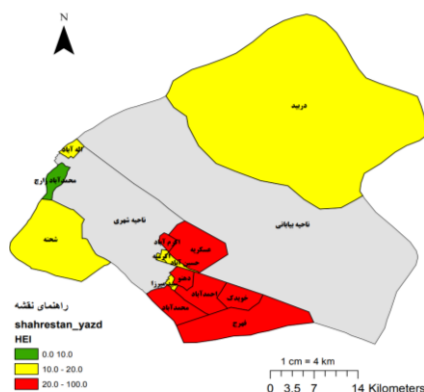


شکل ۱- نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب آشامیدنی روستاهای شهرستان یزد براساس میانگین نمرات الف) DWQI، ب) HWQI و ج) AWQI

Figure 1- Zoning map of drinking water quality in rural of Yazd city based on the average scores of a) DWQI, b) HWQI and c) AWQI

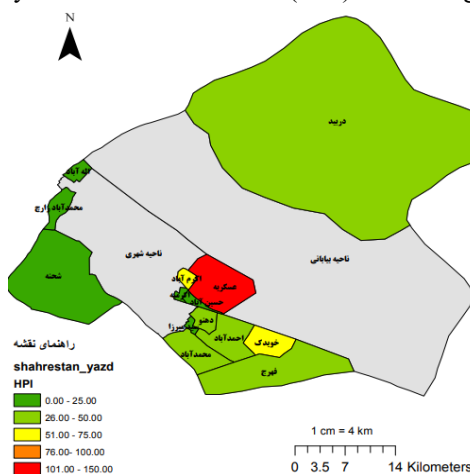
تخصیص وزن مربوط به اهمیت بهداشتی و زیست محیطی فلزات سنگین در محاسبه شاخص HPI است که در شاخص HEI فقط مقادیر اندازه‌گیری شده نسبت به استاندارد محاسبه می‌شود. براساس شاخص HEI، همانطور که در شکل شماره ۲ مشاهده می‌شود فقط آب آشامیدنی روستای محمدآباد زارچ در وضعیت آلودگی کم قرار دارد. روستاهای شحنه، سیدمیرزا، اکرمیه، حسین‌آباد، اله‌آباد و دُرید در طبقه آلودگی متوسط قرار گرفتند و روستاهای محمدآباد، فهرج، احمدآباد، دهنو، خویدک، اکرم‌آباد و عسکریه در طبقه آلودگی زیاد ($HEI > 20$) قرار داشتند. همانطور که در شکل شماره ۳ نشان داده شده است، بر اساس شاخص HPI، روستاهای محمدآباد زارچ، شحنه، اله‌آباد، اکرمیه، حسین‌آباد و سیدمیرزا در طبقه آب با کیفیت عالی قرار داشتند، در حالی که روستاهای محمدآباد، فهرج، احمدآباد، دهنو و دُرید در طبقه کیفیت خوب از نظر آلودگی فلزات سنگین قرار گرفتند. روستاهای خویدک، اکرم‌آباد کیفیت ضعیف و عسکریه اما کیفیت نامناسب را داشتند.

زیرشاخص مقبولیت کیفیت آب (AWQI) مربوط به بررسی پارامترهای کیفیت آب آشامیدنی است که براساس مقبولیت آب برای آشامیدن سنجیده می‌شود. براساس این شاخص، هیچکدام از روستاها کیفیت عالی آب نداشتند. در حالی که بهترین کیفیت آب مربوط به روستای دُرید ($91/31$) و بدترین کیفیت مربوط به روستای اله‌آباد ($67/72$) بود. روستاهای شحنه و حسین‌آباد دارای کیفیت آب خوب از نظر مقبولیت بودند. آب آشامیدنی روستاهای محمدآباد زارچ، اکرمیه، عسکریه، سیدمیرزا، احمدآباد، دهنو و خویدک در طبقه کیفی متوسط قرار داشتند و روستاهای دارای کیفیت طبقه مرزی شامل اکرم‌آباد، محمدآباد، اله‌آباد و فهرج بودند. در این مطالعه همچنین شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI) و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) براساس داده‌های فلزات سنگین شامل آلومینیوم (Al)، آرسنیک (As)، کادمیم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، جیوه (Hg)، نیکل (Ni) و سرب (Pb) در بازه زمانی ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۰ محاسبه شد. برای محاسبه این شاخص‌ها نیز از میانگین ۷ ساله مقادیر فلزات سنگین استفاده شد. تفاوت HEI با HPI،



شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI) آب آشامیدنی در روستاهای شهرستان یزد

Figure 2- Zoning map of Heavy metal Evaluation Index (HEI) of drinking water in the rural of Yazd city



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) آب آشامیدنی در روستاهای شهرستان یزد

Figure 3- Zoning map of Heavy metal Pollution Index (HPI) of drinking water in the rural of Yazd city

بحث

بررسی روند زمانی در این مطالعه با استفاده از روش‌های ناپارامتریک آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن انجام شد. نتایج ارائه شده در جدول شماره ۱ نشان‌دهنده روند افزایشی و کاهشی برای پارامترهای کیفی آب است. براساس نتایج مطالعه حاضر هدایت الکتریکی و جامدات محلول روند کاهشی داشته‌اند.

این موضوع در مطالعه سروی و زارع [۲۵]، خسروی و همکاران [۲۶]، دشتی برمکی و همکاران [۲۷] و سبزواری و همکاران [۲۸] مطابقت دارد. در مطالعه ایشان ذکر شد سه پارامتر سدیم، کلراید و سولفات روند کاهشی داشته‌اند که نتایج مطالعه ما روند افزایشی را برای سولفات نشان داد. مطالعه دهقان و همکاران [۲۹] در بازه زمانی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ روند صعودی EC را گزارش کرده است. در این مطالعات مقادیر سدیم، کلر و TDS با بیشترین تاثیر بر کیفیت آب اعلام کرده‌اند. البته در مطالعات آنها پارامترهای کیفی کمتری مورد بررسی قرار گرفته بود. دهقان و همکاران [۲۹] و سروی و زارع [۲۵] دلیل روند کاهشی بعضی از پارامترها در این محدوده را طرح انتقال آب بین حوضه‌ای به این منطقه برشمردند که توانسته، وضعیت کیفیت آب منطقه بویژه شهر یزد را، با وجود برداشته‌های بیش از توان آبخوان، بهبود ببخشد یا حفظ کند. یکی از مهمترین دلایل کاهش کیفیت در این محدوده می‌توان به واقع شدن در مجاورت کویر چاه افضل اشاره نمود که در نتیجه برداشت بی‌رویه از چاه‌های منطقه موجب نفوذ آب شور کویر چاه افضل به آبخوان می‌شود [۲۵]. ضمن اینکه فعالیت‌های انسانی مانند فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در روستاها یا مناطق مجاور ممکن است دلیل احتمالی افزایش سولفات، فسفات و فلزات سنگین در آب آشامیدنی زیرزمینی روستاهای شهرستان یزد محسوب شوند. قرارگیری شهرستان یزد بر روی سازند آبرفتی (حدود ۹۶٪) و قرمز بالایی (حدود ۴٪) از جنس مارن ژپیس‌دار و تاثیر بر کیفیت آب آبخوان نیز یکی از دلایل احتمالی افزایش سولفات منطقه است. زیرا انحلال ژپیس از سازند قرمز بالایی ممکن است دلیل افزایش کلسیم و سولفات محسوب شود (اگرچه در مطالعه حاضر غلظت کلسیم روند نزولی غیرمعنی‌دار داشته است). افزایش تاثیر انحلال ژپیس در سال‌های اخیر، افت تراز چاه‌ها و پایین‌تر رفتن تراز برداشت آب از چاه‌ها و در نتیجه برداشت آب است. اگرچه به‌طور کلی چاه‌های شهرستان یزد بر روی سازندهای آبرفتی قرار گرفته و همچنین سازند آهکی کرتاسه بدلیل جهت جریان آب در دشت یزد-اردکان (از جنوب به شمال) نیز موجب حرکت مواد محلول و در نتیجه افزایش جامدات محلول این منطقه می‌شود [۲۹].

در مطالعه حاضر بین پارامتر EC و کلراید، فلوراید، جیوه، پتاسیم ارتباط مثبت قوی مشاهده شده است. این نتیجه با نتایج دهقان و همکاران تا حدودی مطابقت دارد، در مطالعه آنها پارامتر EC با سدیم، سولفات و کلراید همبستگی قوی مثبت مشاهده شده است [۲۹]. در مطالعه

Sobhanardakani که بر روی آب زیرزمینی همدان انجام شد، تنها همبستگی معنی‌داری را بین جفت‌های روی/سرب و سرب/مس در نمونه‌های آب برای فصل تابستان بدست آوردند که وجود منبع مشترک ورودی آنها را محتمل دانست [۳۰]. به طور کلی، همبستگی مثبت معنی‌دار بین جفت‌های فلزات سنگین نشان می‌دهد که فلزات سنگین از یک منشأ هستند، در حالی که همبستگی‌های ضعیف یا منفی نشان می‌دهد که منشأ متفاوتی دارند [۱۲]. در مطالعه Aziz و Hussain که به بررسی کیفیت آب زیرزمینی اطراف زمین دفنی در عراق پرداختند مشخص شد که مس از نظر آماری با اکثر فلزات سنگین همبستگی داشت و با نیکل (۰/۹۳)، کادمیوم (۰/۸۵۴) و روی (۰/۹۸۳) همبستگی قوی مثبت نشان داد. همچنین همبستگی خوبی بین (Zn-Ni)، (Zn-Cd)، (Cr-Fe)، (Pb-Fe) و (Pb-Cr) مشاهده شد. در مقابل، نیکل، کادمیوم، روی و مس با آهن، کروم و سرب همبستگی ضعیف داشتند [۳۱].

مطالعه کیفیت آب آشامیدنی روستاهای شهرستان یزد، می‌تواند تصویر کلی از وضعیت بهداشتی آب مصرفی و اثرات بهداشتی حاصل از آن در اختیار قرار دهد. براساس شاخص DWQI بهترین کیفیت آب مربوط به روستای شحنه بود. محاسبه این شاخص برپایه هر دو دسته کیفیت بهداشتی و مقبولیت آب آشامیدنی قرار دارد. رتبه بعدی کیفیت آب آشامیدنی مربوط به روستاهای فهرج و حسین‌آباد است. موضوع نشان‌دهنده اثر احتمالی فعالیت انسانی در کیفیت آب آشامیدنی روستاهای شهرستان یزد است زیرا اگر مربوط به ساختار زمین‌شناسی بود انتظار می‌رفت روستاهای محمدآباد زارچ و اله آباد که در مجاورت روستای شحنه قرار دارند در رتبه‌های بعدی کیفیت قرار بگیرند.

شاخص کیفیت آب آشامیدنی از نظر بهداشتی، بدترین کیفیت را مربوط به روستاهای عسکریه و اکرم آباد تعیین می‌نماید. این دو روستا مجاور شهر یزد هستند و از نظر مکانی مرز مشترک دارند، بنابراین می‌توان تاثیر فعالیت‌های صنعتی شهر یزد را بر کاهش کیفیت آب این دو روستا در نظر گرفت. نکته قابل توجه در بررسی شاخص کیفیت آب از نظر مقبولیت، تعیین بدترین شاخص کیفیت برای روستای اله آباد است که تقریباً مجاور دو روستای شحنه و محمدآباد زارچ دارای آب آشامیدنی با کیفیت خوب است. این نتیجه‌های غیریکسان، لزوم بررسی دقیق و تعیین منابع احتمالی آلودگی در شهرستان یزد را مشخص می‌نماید. در مطالعه حاضر، فزونی مقادیر منیزیم و سختی عامل اصلی کاهش شاخص کیفیت آب زیرزمینی بود.

ارزایی کیفیت آب آشامیدنی با شاخص WQI در ایران در چندین مطالعه قبلی انجام شده است. استواری و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی شاخص کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت لردگان دریافتند که کیفیت آب این دشت براساس شاخص GWQI بین ۴۴ تا ۷۴ متغیر بوده و کیفیت آب آبخوان در طیف کلاس کیفیت ضعیف و خوب قرار داشت. در مطالعه

مرطوب ۴۷۰/۸ و ۳۵/۴-۱۱۸۶/۳ بدست آوردند [۳۱]. از نتایج شاخص HPI مشخص شد که تمام نمونه‌های آب به جز یک نمونه، به طور قابل توجهی بالاتر از مقدار بحرانی تعیین شده بوده و آلودگی آب غیرقابل قبول است. تغییر HPI در طول فصول تر و خشک، نشان دهنده تأثیر منابع آب بر کیفیت آب در منطقه است. در مطالعه Rezaei و همکاران بر روی حوضه بزمان شاخص HEI به طور میانگین ۱/۲ بود و شاخص HPI در همه نقاط نمونه‌برداری کمتر از ۱۰۰ محاسبه شد، براساس این شاخص کیفیت آب نقاط نمونه برداری به ترتیب در ۳۴ و ۶۶٪ موارد در وضعیت با آلودگی کم و متوسط قرار داشتند. با این حال، مقادیر این شاخص‌ها رعایت احتیاط‌های جدی از جمله مدیریت استفاده از کود و بارورسازهای کشاورزی و جلوگیری از استفاده از پساب و لجن فاضلاب در کشاورزی در این منطقه توصیه شد [۳۷].

نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات زمانی- مکانی پارامترهای کیفی آب نشان داد که پارامترهای pH، هدایت الکتریکی، کلسیم، کلراید، آمونیاک، نیتريت و نیترات، آرسنیک، آلومینیم، آهن، کروم، مس و نیکل روند کاهشی داشته‌اند و این روند منفی در مورد آمونیاک و نیترات، آرسنیک، آلومینیم و مس معنی‌دار بوده است. آزمون من-کندال، تغییرات کدورت، کل جامدات، قلیائیت کل، سختی کل، منیزیم، پتاسیم، فلوراید، سولفات، فسفات، جیوه، روی، سرب، کادمیم، کروم و منگنز مثبت و افزایشی نشان داده شده است و این روند در مورد قلیائیت کل و منگنز معنی‌دار بود.

یکی از مهمترین دلایل کاهش کیفیت در این محدوده می‌توان به واقع شدن در مجاورت کویر چاه افضل اشاره نمود که در نتیجه برداشت بی‌رویه از چاه‌های منطقه موجب نفوذ آب شور کویر چاه افضل به آبخوان می‌شود ضمن اینکه فعالیت‌های انسانی مانند فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در روستاها یا مناطق مجاور نیز دلیل احتمالی روند افزایشی آلاینده‌ها در آب زیرزمینی باشد. شاخص کیفیت آب آشامیدنی DWQI از نظر بهداشتی، بدترین کیفیت را مربوط به روستاهای عسکریه و اکرم‌آباد در مجاورت شهر یزد نشان داد که نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های انسانی (صنعتی، تجاری و مسکونی) این شهر بر کیفیت آب این روستا است.

همچنین نتیجه متناقض روستای اله‌آباد با دو روستای نزدیک به آن، لزوم بررسی دقیق منابع آلودگی ورودی به آب این روستا را مشخص می‌سازد. شاخص‌های HPI و HEI نشان‌دهنده کیفیت نامناسب و با آلودگی بالای روستاهای خویدک، اکرم آباد و عسکریه مشابه با نتیجه DWQI بود. بررسی نتایج کیفیت آب روستاهای شهرستان یزد، لزوم پیاده سازی دقیق برنامه ایمنی آب بر روی آب زیرزمینی منطقه با تاکید بر مدیریت برداشت آب و جلوگیری از ورود منابع آلودگی به منابع آب زیرزمینی با مدیریت استفاده از کود و بارورسازهای کشاورزی، تصفیه فاضلاب صنعتی و شهری و شیرابه و سپس تخلیه به منابع آب را نشان داد.

آنها نیز کیفیت آب زیرزمینی جنوب آبخوان کیفیت بهتری داشت [۳۲]. بررسی شاخص کیفیت آب زیرزمینی شهرستان کاشان توسط رضوانی و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که از ۷۱ چاه ارزیابی شده ۶۷ درصد دارای کیفیت عالی و ۳۳ درصد کیفیت خوب داشتند [۳۳]. در مطالعه محبی و همکاران (۲۰۱۳) کیفیت آب ۹۵٪ منابع آب زیرزمینی شرب در ایران در طبقه کیفیت خوب توصیف کرده است. در مطالعه حاضر اما ۶۴٪ روستاها دارای کیفیت آب خوب از نظر شاخص DWQI بودند [۳۴]. امیری و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه خود، کیفیت آب‌های زیرزمینی استان یزد را با استفاده از شاخص کیفیت آب وزن دار آنتروپی (EWWQI) طبقه‌بندی کردند، بر اساس امتیاز این شاخص، درصد نمونه‌های آب زیرزمینی توصیف شده به عنوان عالی، خوب، متوسط، ضعیف و بسیار ضعیف به ترتیب ۱۰/۳، ۳۰/۰، ۱۷/۸، ۷/۴ و ۳۴/۵ درصد بود [۱۵].

HPI و HEI به عنوان ابزارهای مفیدی برای ارزیابی آلودگی کلی منابع آب به فلزات سنگین شناخته می‌شوند. به عبارتی این دو شاخص می‌تواند وضعیت کیفیت آب را از نظر آلودگی به فلزات سنگین به‌طورکلی نشان دهد. اگرچه تفاوت این دو شاخص در وزندهی به فلزات سنگین است اما بدلیل اینکه غلظت‌های افزایش یافته فلزات سنگین در همه روستاهای شهرستان یزد باهم مشابه بود، همان روستاهایی که شاخص HEI بالایی داشتند (خویدک، اکرم آباد و عسکریه)، شاخص HPI بالایی نشان دادند و در دسته کیفیت با آلودگی زیاد یا نامناسب قرار گرفتند. این موضوع در مورد شاخص HWQI نیز مطابقت نشان داد.

در مطالعات متعددی این دو شاخص برای ارزیابی وضعیت کیفیت آب استفاده شده است. در مطالعه Molekoa و همکاران، بررسی شاخص‌های HPI و HEI مشخص کرد که منشاء فلزات سنگین در آب‌های سطحی منطقه Mokopane آفریقای جنوبی منشاء فعالیت انسانی داشتند؛ زیرا غلظت فلزات از بالادست رودخانه به پایین افزایش یافته و مقادیر این شاخص در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال‌های قبل کاهش یافته بود که می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر کاهش فعالیت‌های جوامع انسانی در نتیجه وقوع پاندمی کووید-۱۹ باشد [۳۵].

مطالعه Abebe و همکاران در مطالعه خود دریافتند که ۲۵ درصد ایستگاه‌های نمونه‌برداری در حوضه آبریز Awash اتیوپی دارای شاخص HPI بالاتر از ۱۰۰ بودند در حالی که اکثر ایستگاه‌ها HEI کمتر از ۲۰ داشتند. بررسی آنها نشان داد که اکثر فلزات سنگین بسیار سمی، از جمله آرسنیک، کروم، نیکل و جیوه هم منبع طبیعی و هم منبع فعالیت انسانی داشته است و افزایش این شاخص در منطقه مورد مطالعه، نتیجه توسعه سریع صنعتی و شهرنشینی بوده است [۳۶]. Hussain و Aziz در بررسی کیفیت آب زیرزمینی اطراف زمین دفنی در عراق میانگین و بازه شاخص HPI در طول فصل خشک را ۶۳۰/۳ و ۱۳۸۵-۶۴/۸ و در فصل

تضاد منافع

در این مطالعه نویسندگان هیچگونه تضاد منافی ندارند.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر طرح برگرفته از پایان نامه MPH در دانشکده بهداشت و ایمنی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و با کد اخلاق IR.SBMU.PHNS.REC.1401.060 است. نویسندگان مقاله از همه کسانی که در انجام مطالعه همکاری نمودند، تشکر و قدردانی می نمایند.

References

- 1- IAH. Groundwater—more about the hidden resource. International Association of Hydrogeologists. Available from: <https://iah.org/education/general-public/groundwater-hidden-resource>. Accessed Jun 30, 2023.
- 2- Li P, Tian R, Xue C, Wu J. Progress, opportunities, and key fields for groundwater quality research under the impacts of human activities in China with a special focus on western China. *Environmental Science and Pollution Research* 2017; 24:13224-34.
- 3-Fahmi H, Ebrahimi-khusfi M. The National document studies of land use planning in the water sector. Tehran, Iran: Center for Development Research and Foresight (CDRF), 2020 (In Persian).
- 4-Li P, Wu J. Sustainable living with risks: meeting the challenges. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 2019; 25(1-2):1-10.
- 5-Li P, Karunanidhi D, Subramani T, Srinivasamoorthy K. Sources and Consequences of Groundwater Contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 2021; 80(1):1-10.
- 6-Zhao C, Zhang X, Fang X, Zhang N, Xu X, Li L, et al. Characterization of drinking groundwater quality in rural areas of Inner Mongolia and assessment of human health risks. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2022; 234:113360.
- 7-Scanlon BR, Fakhreddine S, Rateb A, de Graaf I, Famiglietti J, Gleeson T, et al. Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future. *Nature Reviews Earth & Environment* 2023; 4(2):87-101.
- 8-Naddafi K, Mesdaghinia A, Abtahi M, Hassanvand MS, Beiki A, Shaghghi G, et al. Assessment of burden of disease induced by exposure to heavy metals through drinking water at national and subnational levels in Iran, 2019. *Environmental Research* 2022; 204:112057. Doi: 10.1016/j.envres.2021.112057.
- 9-Rafiee M, Zare Teymori Z. The relationship between the quality of underground water in Saveh Plain and the amount of rainfall in 2016-2018: quality of underground water in Saveh Plain. *Journal of Health in the Field* 2023; 11(1):23-35 (In Persian).
- 10-Abtahi M, Yaghmaeian K, Mohebbi MR, Koulivand A, Rafiee M, Jahangiri-rad M, et al. An innovative drinking water nutritional quality index (DWNQI) for assessing drinking water contribution to intakes of dietary elements: A national and sub-national study in Iran. *Ecological Indicators* 2016; 60:367-76.
- 11- Adimalla N. Controlling factors and mechanism of groundwater quality variation in semiarid region of South India: An approach of water quality index (WQI) and health risk assessment (HRA). *Environmental Geochemistry and Health* 2020; 42(6):1725-52.
- 12-Rezaei kalantari R, Azari A, Ahmadi e, Ahmadi Jebeli M. Quality evaluation and stability index determination of Qom rural drinking water resources. *Journal of Health in the Field* 2014; 1(3):9-16 (In Persian).
- 13-Abou Zakhem B, Hafez R. Heavy metal pollution index for groundwater quality assessment in Damascus Oasis, Syria. *Environmental Earth Sciences*. 2015; 73:6591-600.
- 14-Dippong T, Hoaghia M-A, Senila M. Appraisal of heavy metal pollution in alluvial aquifers: Study case on the protected area of Ronișoara Forest, Romania. *Ecological Indicators* 2022; 143:109347. Doi: 10.1016/j.ecolind.2022.109347.
- 15-Amiri V, Kamrani S, Ahmad A, Bhattacharya P, Mansoori J. Groundwater quality evaluation using Shannon information theory and human health risk assessment in Yazd province, central plateau of Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 2021; 28(1):1108-30.
- 16-Feifei C, Yao L, Mei G, Shang Y, Xiong F, Ding Z. Groundwater quality and potential human health risk assessment for drinking and irrigation purposes: A Case study in the semiarid region of north China. *Water* 2021; 13(6), 783. Doi: 10.3390/w13060783.
- 17-Abtahi M, Golchinpour N, Yaghmaeian K, Rafiee M, Jahangiri-rad M, Keyani A, et al. A modified drinking water quality index (DWQI) for assessing drinking source water quality in rural communities of Khuzestan Province, Iran. *Ecological Indicators* 2015; 53:283-91.
- 18-Dallal MMS, Ehrampoush MH, Aminharati F, Tafti AAD, Yaseri M, Memariani M. Associations between climatic parameters and the human salmonellosis in Yazd province, Iran. *Environmental Research* 2020; 187:109706. Doi: 10.1016/j.envres.2020.109706.
- 19-APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd ed. Washington DC: American Public Health Association; 2012.
- 20-Dash S, Borah SS, Kalamdhad A. A modified indexing approach for assessment of heavy metal contamination in Deepor Beel, India. *Ecological Indicators* 2019; 106:105444. Doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105444.
- 21-Singha S, Pasupuleti S, Singha SS, Kumar S. Effectiveness of groundwater heavy metal pollution indices studies by deep-learning. *Journal of Contaminant Hydrology* 2020; 235:103718. Doi: 10.1016/j.jconhyd.2020.103718.

- 22-Kumar V, Sharma A, Kumar R, Bhardwaj R, Kumar Thukral A, Rodrigo-Comino J. Assessment of heavy-metal pollution in three different Indian water bodies by combination of multivariate analysis and water pollution indices. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 2020; 26(1):1-16.
- 23-Gholamnia R, Abtahi M, Dobaradaran S, Koolivand A, Jorfi S, Khaloo SS, et al. Spatiotemporal analysis of solar ultraviolet radiation based on Ozone Monitoring Instrument dataset in Iran, 2005–2019. *Environmental Pollution* 2021; 287:117643. Doi: 10. 1016 /j. envpol. 2021.117643.
- 24-Ebrahimi E, Asadi H, Farhangi MB, Ashrafzadeh A. Assessment of Spatio-temporal variations in contamination, sediment and water quality index in Pasikhan River, Guilan Province. *Journal of Health in the Field*. 2020; 8(1):32-50 (In Persian).
- 25-Sarvi Sadrabad H, Zare Chahouki A. Study of the efficiency of groundwater quality index to evaluate the long-term effects of Inter-Basin water transfer using non-parametric methods and GIS (Case Study Yazd-Ardakan Aquifer). *Water and Soil* 2022; 35(6):804-791 (In Persian).
- 26-Khosravi H, Haydari Alamdarloo E, Nasabpour S. Investigation of Spatial-Temporal changes of Yazd-Ardakan Plain Groundwater Quality Using GQI. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)* 2018; 26(104):35-44 (In Persian).
- 27-Dashti Barmaki M, Rezaei M, Saberi Nasr A. Assessment of groundwater quality index (GQI) for Lenjanat aquifer using GIS. *Journal of Engineering Geology*. 2014; 8(2):2121-38 (In Persian).
- 28-Sabzevari Y, Zeinivand H. Assessing the Trend and Quality Classification of Groundwater Resources in Boroujerd- Dorod plain. *Journal of Wetland Ecobiology* 2020; 45:101-16 (In Persian).
- 29-Dehghan A, Azizian A, Yarami N, Tazeh M, Amirbeygi M. Investigation of the quality and quantity of groundwater resources and their relationship with the geological formations (Case study: Yazd-Ardakan Basin). *Water and Soil Science* 2020; 30(3):75-91 (In Persian).
- 30-Sobhanardakani S. Evaluation of the water quality pollution indices for groundwater resources of Ghahavand plain, Hamadan province, western Iran. *Iranian Journal of Toxicology* 2016; 10(3):35-40.
- 31-Aziz FF, Hussain EK. Spatiotemporal variation of heavy metals and pollution indices in groundwater around Al-Diwaniyah Open Dump. *Journal of Ecological Engineering* 2023; 24(8):106-117.
- 32-Ostovari Y, Beigi-Harchegani H, Davoudian A. Assessment of Groundwater Quality Index (GWQI) and its geostatistical analysis in Lordegan Plain Aquifer. *Journal of Environmental Science and Technology* 2017; 19(5):227-38 (In Persian).
- 33-Rezvani Ghalhari M, Ajami B, Ghordouei Milan E, Khalooei M, Mahvi AH. Evaluation of groundwater quality for drinking purposes in Kashan using water quality indicators. *Iranian Journal of Health and Environment* 2022; 14(4):615-28 (In Persian).
- 34-Mohebbi MR, Saeedi R, Montazeri A, Vaghefi KA, Labbafi S, Okaie S, et al. Assessment of water quality in groundwater resources of Iran using a modified drinking water quality index (DWQI). *Ecological indicators* 2013; 30:28-34.
- 35-Molekoa MD, Avtar R, Kumar P, Thu Minh HV, Dasgupta R, Johnson BA, et al. Spatio-temporal analysis of surface water quality in Mokopane area, Limpopo, South Africa. *Water* 2021; 13(2):220. Doi: 10. 3390/ w13020220.
- 36-Abebe Y, Alamirew T, Whitehead P, Charles K, Alemayehu E. Spatio-temporal variability and potential health risks assessment of heavy metals in the surface water of Awash basin, Ethiopia. *Heliyon*. 2023; 9(5). Doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e15832.
- 37-Rezaei A, Hassani H, Hassani S, Jabbari N, Fard Mousavi SB, Rezaei S. Evaluation of groundwater quality and heavy metal pollution indices in Bazman basin, southeastern Iran. *Groundwater for Sustainable Development*. 2019; 9:100245 Doi: 10. 1016 /j. gsd .2019. 100245.



Journal homepage: <https://journals.sbmu.ac.ir/jhf>

**Journal of
Behdasht dar Arseh
(i.e., Health in the Field)**



Shahid Beheshti University of Medical Sciences
School of Public Health and Safety

Vol.12, No.2, Summer 2024

Zoning of drinking water quality in villages of Yazd County based on water quality indices

Maryam Oroskhan¹ , Mohamadreza Massoudinejad² , Reza Saeedi^{3, 4} , Azita Mohagheghian⁵ , Mehrnoosh Abtahi^{2*} 

¹MPH Department, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

²Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³Research Institute for Health Sciences and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁴Department of Health, Safety, and Environment (HSE), School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁵Department of Environmental Health, School of Health, Guilan University of Medical Sciences, Rasht, Iran

Abstract

Background and Aims: Lack of adequate access to clean water has long been a challenge in the arid areas of Iran. The increased industrial activities accompanied with the consequences of climate change and drought have raised this concern throughout the country. Understanding the spatiotemporal variations in water quality is the first step towards sustainable management of both the quantity and quality of drinking water.

Materials and Methods: In this descriptive-analytical study, the quality of drinking water in the villages around Yazd city was investigated during 2014 to 2020. In addition to assessing the spatiotemporal trends, the drinking water quality index (DWQI), heavy metal evaluation index (HEI), and heavy metal pollution index (HPI) were determined. Compliance with ethical considerations was maintained throughout all stages of the study implementation.

Results: Based on the results of the temporal trend analysis, turbidity, total dissolved solids, sulfate, and several heavy metals, including mercury, zinc, lead, cadmium, chromium, and manganese, had been increased during the study period. The highest and lowest DWQI indices were recorded in the villages of Shehneh (92.34), and Akramabad (67.48), respectively. Likewise, the villages of Khavidak, Akramabad, and Askarieh exhibited poor water quality in terms of HPI and HEI.

Conclusion: Examining the spatiotemporal changes in drinking water quality revealed that the main source of groundwater pollution in the villages was industrial activities, as the villages near industrial centers had poorer water quality. This finding highlights the necessity for sustainable management of drinking water quality based on a water safety plan in this region.

Keywords: Drinking water, Water quality index, Heavy metals, Spatiotemporal variations

Please cite this article as: Oroskhan M, Massoudinejad MR, Saeedi R, Mohagheghian A, Abtahi M. Zoning of drinking water quality in villages of Yazd County based on water quality indices. Journal of Health in the Field 2024; 12(2):23-34. **Doi:** <https://doi.org/10.22037/jhf.v12i2.44580>.

Corresponding Author: Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Corresponding Author: Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Email: mehrabtahi@yahoo.com

Received: 4 February 2024

Accepted: 22 July 2024