

ارزیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی به عناصر بالقوه سمی با استفاده از

شاخص‌های کیفی MI و PoS (مورد مطالعه: شهر سنقر)

هادی امجدیان^۱، سهیل سبحان اردکانی^{۲*}

^۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران
^۲- استاد علوم محیط‌زیست، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰

چکیده

زمینه و هدف: ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران که به‌طور تقریبی ۹۰٪ آب مورد نیاز آن‌ها برای مصارف گوناگون از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود، از اهمیتی بسزا برخوردار است. لذا، این پژوهش با هدف ارزیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی شهر سنقر به عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و مس با استفاده از شاخص‌های کیفی MI و PoS در طی فصول تابستان و پاییز سال ۱۴۰۱ انجام شد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی، در اواسط فصول تابستان و پاییز از ۱۲ حلقه چاه تأمین‌کننده آب شرب شهر سنقر در مجموع ۳۶ نمونه مرکب آب زیرزمینی برداشت و مقادیر پارامترهای pH، EC، TDS و دما در محل اندازه‌گیری شدند. پس از آن و با انجام مراحل آماده‌سازی آزمایشگاهی، غلظت عناصر در نمونه‌ها به‌روش طیف‌سنجی نوری پلاسمای جفت‌شده القایی خوانده شدند. کیفیت آب با استفاده از شاخص‌های MI و PoS ارزیابی شده و داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS مورد پردازش قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و مس در نمونه‌های آب فصل تابستان به‌ترتیب برابر با ۴/۲۲، ۰/۱۲۵، ۰/۳۸۷ و ۰/۵۹۸ میکروگرم در لیتر و در نمونه‌های آب فصل پاییز (میکروگرم در لیتر) نیز به‌ترتیب برابر با ۲/۹۸، ۰/۱۳۷، ۰/۲۱۳ و ۰/۶۱۰ و در هر دو فصل کوچک‌تر از بیشینه رواداری WHO، EPA و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران بوده است. به‌علاوه، میانگین مقادیر شاخص‌های MI و PoS در فصل تابستان با ۱/۰۰ و ۲۰۳ به‌ترتیب بیان‌گر سطوح کیفی "تحت تاثیر اندک" و "آلودگی اندک" و در فصل پاییز نیز با ۰/۸۳۰ و ۱۴۴ به‌ترتیب بیان‌گر سطوح کیفی "پاک" و "پاک-آلودگی حداقل" بود.

نتیجه‌گیری: با استناد به یافته‌ها، گرچه در زمان اجرای مطالعه منابع آب زیرزمینی شهر سنقر در معرض آلودگی بیش‌تر از حد مجاز به عناصر بالقوه سمی نبوده است، ولی با استفاده بی‌رویه از نهاده‌های کشاورزی و به‌ویژه کودهای شیمیایی فسفات و ازته و سموم شیمیایی با پایه فلزی توسط کشاورزان، امکان افزایش غلظت انواع فلزات سنگین در خاک و نفوذ آن‌ها به سفره‌های آب زیرزمینی در اثر روان‌شویی ناشی از آبیاری و نزولات جوی در میان‌مدت دور از انتظار نخواهد بود. از این‌رو، برای حفظ سلامت مصرف‌کنندگان، نسبت به پایش و ارزیابی کیفی دوره‌ای و منظم منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه توصیه می‌شود.

کلید واژه: آلودگی آب، ارزیابی کیفی، بیشینه رواداری، عناصر بالقوه سمی، سنقر

مقدمه

دسترسی به منابع پایدار آب و به‌ویژه آب شیرین با تاثیر بر تحولات اجتماعی، اقتصادی و سیاسی جوامع به‌خصوص در حوزه‌های توسعه شهری، صنعتی و کشاورزی از اهمیتی بسزا برخوردار بوده و حفظ کمیت و کیفیت این منبع حیاتی و به‌ویژه منابع آب زیرزمینی در کشورهایی که با محدودیت دسترسی به منابع پایدار آب مواجه هستند، می‌تواند این جوامع را در رویارویی با بحران افت کمی و کیفی آب در آینده یاری کند^{۲۱}. از این‌رو، پایش و ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی برای مصارف آشامیدن و آبیاری محصولات کشاورزی با هدف در دسترس بودن آب با کیفیت برای مصرف‌کنندگان امری ضروری محسوب می‌شود^{۴۳}.

امروزه، مقوله آلودگی محیط‌زیست به انواع آلاینده‌های آلی و معدنی و زیان‌هایی که در اثر آن به جوامع انسانی و به‌ویژه بر سلامت زیست‌مندان وارد می‌شود، به یک معضل جهانی تبدیل شده است. در این خصوص، فلزات سنگین به دلیل برخورداری از نیم‌عمر طولانی، پایداری، سمیت، زیست تجزیه‌ناپذیر بودن و قابلیت تجمع‌زیستی و ایجاد اثرات فیزیولوژیک حتی در مواجهه با مقادیر اندکی از آن‌ها، توجه ویژه‌ای را به‌خود معطوف کرده‌اند^{۶۵}.

آرسنیک یک شبه فلز (Metalloid) سمی و سرطان‌زا است که قرار گرفتن در معرض مقادیر زیاد آن می‌تواند به آسیب‌های کلیوی و کبدی و به‌علاوه ابتلا به سرطان‌های مثانه، ریه و پوست منجر شود^{۸۷}. سرب نیز به عنوان یک عنصر سمی و غیرضروری با قابلیت ایجاد خطر برای زیست‌مندان و محیط‌زیست از پراکنش گسترده در محیط‌زیست برخوردار بوده و کارکرد زیستی مشخصی ندارد^{۱۰۹}. سرب در گروه ۲B از فهرست ترکیبات سرطان‌زای موسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان (International Agency for Research on Cancer) طبقه‌بندی شده است و از جمله مهم‌ترین آثار نامطلوب آن می‌توان به اثر بر سیستم عصبی مرکزی و اعصاب محیطی،

اختلالات گوارشی و کلیوی، بروز اختلال در سیستم‌های خون‌ساز و تولیدمثلی اشاره کرد^{۱۲۱}. کادمیم یک عنصر غیرضروری و سمی است که قرارگرفتن در معرض آن می‌تواند به اختلالات عصبی، کلیوی و ریوی، پوکی استخوان و ابتلا به فشار خون منجر شود^{۱۳-۱۵}. هرچند مس یک عنصر غذایی ضروری برای زیست‌مندان است، ولی تجمع بیش‌تر از حد مجاز آن در بافت‌های بدن می‌تواند به اختلال در سیستم اعصاب مرکزی، بروز آسیب‌های مویرگی، کلیوی-کبدی، کم-خونی، افزایش کلسترول، ابتلا به بیماری ویلسون و حتی مرگ نیز منجر شود^{۱۶-۱۸}.

کیفیت آب، توصیف‌کننده مناسب بودن آب از لحاظ ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و زیستی در مقایسه با مقادیر استاندارد برای مصارف آشامیدن، کشاورزی و صنعتی است که به کیفیت‌های متفاوت آب نیاز دارند. کیفیت منابع آب اعم از سطحی و یا زیرزمینی از طریق عوامل طبیعی و یا عوامل با منشأ انسانی (Anthropogenic Origin) تحت تأثیر قرار می‌گیرند^{۱۹}. امروزه، مساله کمبود و همچنین افت کیفی آب از عوامل کنترل و محدود کننده پیشرفت و توسعه فناوری در کشورها محسوب می‌شوند. از این‌رو، مدیریت صحیح آب از الزامات ضروری در راستای دستیابی به توسعه پایدار و درخور محسوب می‌شود^{۲۰}.

به‌منظور ارزیابی کیفی منابع آبی اعم از سطحی و زیرزمینی تاکنون چندین شاخص معرفی شده است، که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به شاخص‌های NSFQI، OWQI و CWQI، Liou و BCWQI برای طبقه‌بندی کیفی منابع آب سطحی^{۲۳-۲۱} و از طرفی، شاخص‌های "آلودگی" (Contamination Index: Cd)، "آلودگی فلزات سنگین" (Heavy Metal Pollution Index: HPI)، "ارزیابی فلزات سنگین" (Heavy Metal Evaluation Index: HEI)، "فلزات" (Metal Index: MI) و PoS برای طبقه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی اشاره کرد^{۲۴-۲۷}.

از طرفی، به منظور ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی چندین مطالعه در ایران و سایر کشورها انجام یافته است. در پژوهشی برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت سرایان خراسان جنوبی از شاخص WQI استفاده شد.^{۲۸} در پژوهشی برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی آبخوان‌های لنجان‌ت-نجف آباد اصفهان از شاخص IRWQIGC استفاده شد.^{۲۹} در پژوهشی برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی آبخوان اردبیل از شاخص WQI استفاده شد.^{۳۰} نجاتی جهرمی و همکاران (۲۰۱۸)^{۳۱} به منظور ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی آبخوان ورامین از شاخص‌های HEI و HPI استفاده کردند. سبحان اردکانی (۲۰۱۷)^{۳۲} در پژوهشی برای ارزیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت رزن همدان به عناصر بالقوه سمی از شاخص‌های HEI، HPI، C_h استفاده کرد. در پژوهشی که با هدف ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت قلعه‌شاهین شهرستان سرپل ذهاب انجام یافت، از شاخص HPI استفاده شد.^{۳۳} عسگری مقدم و همکاران (۲۰۱۸)^{۳۳} نسبت به ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت مهربان آذربایجان شرقی با استفاده از شاخص‌های GQI و FGQI اقدام کردند. در پژوهشی به منظور ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت قلعه‌شاهین شهرستان سرپل ذهاب از شاخص HPI استفاده شد.^{۳۰} در پژوهشی با محاسبه مقادیر شاخص GWQI نسبت به ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی مرودشت فارس اقدام شد.^{۳۴} خوش‌نم و همکاران (۲۰۱۷)^{۳۶} با استفاده از شاخص‌های MI و HEI نسبت به ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی در استان لرستان اقدام کردند. از دیگر پژوهش‌های مرتبط می‌توان به استفاده از شاخص‌های HEI، HPI، C_h و HEI برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان همدان^{۳۵}؛ استفاده از شاخص‌های HPI و HEI برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد همدان^{۳۶}؛ استفاده از شاخص‌های HEI، C_h و HPI به منظور ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت قهاوند همدان^{۳۷}؛ محاسبه مقادیر شاخص‌های

HEI و C_h برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت قلعه‌شاهین کرمانشاه^{۳۸}؛ کاربرد شاخص HPI با هدف ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی مجاور مجتمع فولاد خراسان^{۳۹}؛ استفاده از شاخص‌های MI و PoS به منظور ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت رزن همدان^{۴۰} و استفاده از شاخص‌های WQI، C_h، HPI، HEI، PoS و MI برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد همدان^{۴۱} اشاره کرد. این در حالی است که لو و همکاران (۲۰۱۷)^{۴۲} برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی اطراف محل دفن زباله در چین از شاخص‌های HPI و PoS استفاده کردند. به علاوه، از جمله پژوهش‌های مشابه انجام یافته در سایر کشورها می‌توان به ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دمشق با استفاده از شاخص HPI^{۴۳}؛ ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی در هند با محاسبه مقادیر شاخص HPI^{۴۴}؛ ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی اطراف یک معدن زغال سنگ در هندوستان با استفاده از شاخص HPI^{۴۵}؛ محاسبه مقادیر شاخص‌های C_h و HPI برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی شهر مدیاس (Medias) رومانی^{۴۶}؛ محاسبه مقادیر شاخص HPI به منظور ارزیابی کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی اطراف نیروگاه حرارتی پارلی (Parli) هندوستان^{۴۷}؛ پژوهش پراساد و سانگیتا (۲۰۰۸)^{۴۸} که با محاسبه مقادیر شاخص HPI نسبت به ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی اطراف یک منطقه معدنی در هندوستان اقدام کردند و ارزیابی کیفی چشمه‌های اطراف یک معدن سنگ آهک در پایین دست هیمالیا با محاسبه مقادیر شاخص HPI^{۴۹}، اشاره کرد.

ناهماهنگی توسعه صنعتی در استان کرمانشاه و برخورداری از قابلیت توسعه کشاورزی منجر به گسترش روزافزون سطح زیرکشت و به تبع آن استفاده بی‌رویه از انواع نهاده‌های کشاورزی بعضاً آلاینده محیط شده است. لذا، این پژوهش با هدف ارزیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی شهر سنقر به عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و مس و در سال

از شمال به شهرستان قروه، از جنوب به شهرستان صحنه، از شرق به شهرستان اسدآباد و از غرب به شهرستان کامیاران محدود شده است. سطح زیرکشت در شهرستان سنقر اعم از آبی، دیم، آیش و باغی (مثمر و غیرمثمر) در حدود ۱۳۵۰۰۰ هکتار برآورد شده است^{۵۰}.

انتخاب مکان‌های نمونه برداری

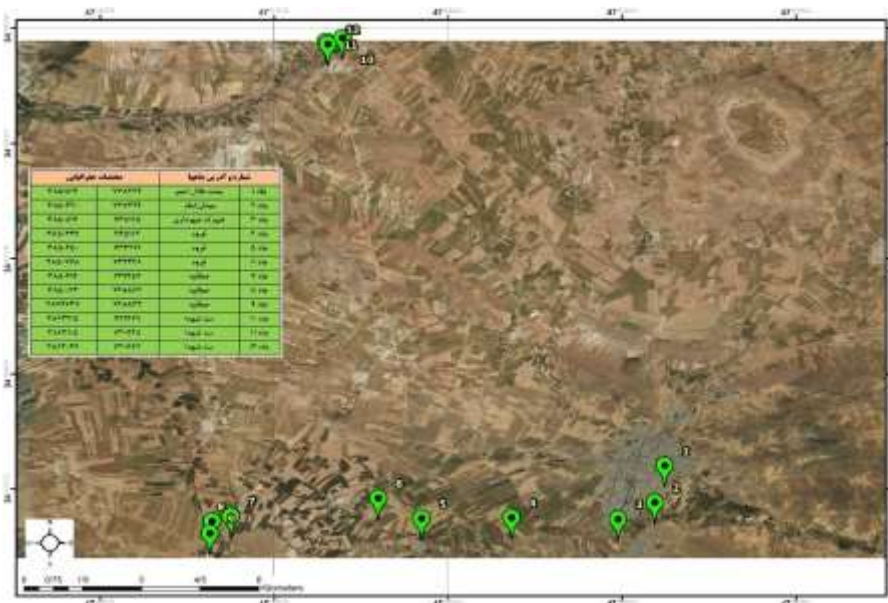
در این مطالعه توصیفی-مقطعی، با انتخاب چاه‌های اصلی تامین کننده آب شرب شهر سنقر و همچنین در نظر گرفتن محدودیت‌های زمانی و مالی، نسبت به انتخاب ۱۲ چاه و ثبت مختصات جغرافیایی آن‌ها توسط دستگاه GPS گارمین مدل ETRE 32X اقدام شد. نقشه موقعیت استقرار مکان‌های نمونه برداری در شکل ۱ آورده شده است.

۱۴۰۱ با استفاده از شاخص‌های MI و PoS طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر سنقر به عنوان مرکز شهرستان سنقر و کلیایی در ۸۵ کیلومتری شمال شرقی کرمانشاه در فواصل ۴۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۷ دقیقه طول جغرافیایی شرقی و ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی واقع شده است. شهرستان سنقر و کلیایی با ۲۳۳۰ کیلومترمربع وسعت در حدود ۱۲۰۰۰۰ نفر جمعیت دارد. این شهرستان دارای موقعیتی کوهستانی با ارتفاع ۱۶۸۰ متر از سطح دریا و آب و هوای معتدل کوهستانی است که از چهار جهت بین ارتفاعات رشته کوه زاگرس محصور شده و



شکل ۱. نقشه موقعیت استقرار مکان‌های نمونه برداری

پلی اتیلنی که از قبل توسط اسید نیتریک رقیق شسته شده بودند، برداشت شد. بدین صورت که ابتدا ظروف نمونه برداری را سه بار با آب چاه شست و شو داده و از هر مکان ۲۵۰ میلی لیتر نمونه آب برداشت شد. مقادیر پارامترهای کیفی

نمونه برداری، آماده سازی و تعیین غلظت

عناصر در نمونه‌ها

در این پژوهش، ۳۶ نمونه مرکب آب زیرزمینی در اواسط فصول تابستان و پاییز سال ۱۴۰۱ با استفاده از ظروف

$$pos = \sum_{j=1}^M Q_{fj} \quad (2)$$

$$Q_{fj} = 10^3 [M_j \times W_j] / S_j \quad (3)$$

در روابط ۲ و ۳:

Mj نشان‌دهنده مقادیر پارامترهای کیفی مورد ارزیابی در نمونه‌ها بر حسب میکروگرم در لیتر برای عناصر و میکروزیمنس در سانتی‌متر برای EC است. Wj بیان‌گر میانگین وزنی پارامترهای کیفی مورد ارزیابی است که در این پژوهش برابر با ۰/۳۵۱، ۰/۲۸۱، ۰/۲۸۱، ۰/۰۵۳ و ۰/۰۳۵ به ترتیب برای آرسنیک، سرب، کادمیم، مس و EC در نظر گرفته شد. Sj نیز نشان‌دهنده بیشینه رواداری (Maximum Permissible Concentration: MPC) پارامترهای کیفی مورد ارزیابی در آب است که در این پژوهش برابر با ۱۰، ۱۰، ۳ و ۲۰۰۰ میکروگرم در لیتر و ۱۵۰۰ میکروزیمنس در سانتی‌متر به ترتیب برای آرسنیک، سرب، کادمیم، مس و EC در نظر گرفته شد.

مقادیر شاخص PoS نیز در ۶ طبقه کیفی پاک-آلودگی حداقل ($150 \leq PoS$)، آلودگی اندک ($300 < PoS \leq 150$)، آلودگی متوسط ($600 < PoS \leq 300$)، آلودگی زیاد ($1200 < PoS \leq 600$)، آلودگی خیلی زیاد ($2400 < PoS \leq 1200$) و آلودگی شدید ($PoS > 2400$) دسته‌بندی می‌شوند.

پردازش آماری داده‌ها

برای پردازش آماری داده‌ها از نسخه ۱۹ نرم‌افزار SPSS استفاده شد. بدین صورت که نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov Test) بررسی شد. میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی مابین مکان‌ها و فصول نمونه‌برداری و همچنین بیشینه رواداری سازمان بهداشت جهانی، آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای مصارف آشامیدن نیز به ترتیب با استفاده از آزمون‌های آماری تحلیل واریانس بین آزمودنی یک‌طرفه (One-way

دما، pH، EC و TDS نمونه‌ها نیز در محل و با استفاده از دستگاه قابل حمل کالیبره Multi-Parameter مدل TS 606-G/2-I ساخت شرکت WTW خوانده شدند. به منظور تعیین غلظت عناصر، نمونه‌ها در اسرع وقت توسط یخدان به آزمایشگاه انتقال یافتند.^{۲۷}

در آزمایشگاه و به منظور تثبیت و جلوگیری از رسوب‌گذاری عناصر در نمونه‌ها، به ۲۵ میلی‌لیتر از هر نمونه آب، یک میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ مرک افزوده و نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه روی هیتر در دمای ۵۰ درجه سلسیوس در زیر هود قرار داده شدند. پس از آن، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با دور ملایم (۸۵ دور در دقیقه) شیک شده و از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ عبور داده شدند. در گام بعد، با ساخت محلول مادر (استوک) و استاندارد عناصر مورد ارزیابی و کالیبره کردن دستگاه طیف‌سنج نشری پلاسما جفت‌شده القایی (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy: ICP-OES) واریان مدل 710-ES، غلظت عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و مس به ترتیب در طول موج‌های ۱۸۸/۹۸۰، ۲۲۰/۳۵۳، ۲۲۶/۵۰۲ و ۳۲۴/۷۵۴ نانومتر در سه تکرار خوانده شدند.^{۵۲،۵۱،۳۸}

محاسبه مقادیر شاخص‌های کیفی آب

برای محاسبه مقادیر شاخص‌های MI و PoS از روابط ۱ تا ۳ استفاده شد.^{۴۲،۲۶،۲۵}

$$MI = \sum \frac{CI}{(MAC)} \quad (1)$$

در رابطه ۱:

CI و MAC به ترتیب نشان‌دهنده غلظت هر یک از عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌ها و بیشینه رواداری هر یک از عناصر هر دو بر حسب میکروگرم در لیتر هستند.

مقادیر شاخص MI در ۶ طبقه کیفی خیلی پاک ($MI < 0.3$)، پاک ($0.3 < MI \leq 1$)، تحت تاثیر اندک ($1 < MI \leq 2$)، تحت تاثیر متوسط ($2 < MI \leq 4$)، تحت تاثیر شدید ($MI > 6$) دسته‌بندی می‌شوند.

یافته‌ها

نتایج مربوط به تعیین مقادیر پارامترهای فیزیکیوشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در فصول تابستان و پاییز سال ۱۴۰۱ به ترتیب در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

(ANOVA) و به دنبال آن آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncan (Multiple Range Test)، تی مستقل (Independent T-Test) و تی تک‌نمونه‌ای (One Sample T-Test) مورد مقایسه قرار گرفتند. علاوه بر این، وجود و یا عدم وجود همبستگی بین پارامترهای کیفی آب نیز از طریق اجرای آزمون همبستگی پیرسون (Pearson Correlation Coefficient) مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱. مقادیر* پارامترهای فیزیکیوشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی در فصل تابستان به تفکیک مکان نمونه‌برداری

مکان نمونه‌برداری	آرسنیک (میکروگرم در لیتر)	سرب (میکروگرم در لیتر)	کادمیم (میکروگرم در لیتر)	مس (میکروگرم در لیتر)	دما (درجه سلسیوس)	pH	EC (میکروزیمنس در سانتی‌متر)	TDS (میکروگرم در لیتر)
۱	۸/۰۰	۰/۱۳۰	۰/۴۰۰	۰/۹۰۰	۱۵/۲	۷/۳۰	۶۹۰	۴۸۳
۲	۴/۳۰	۰/۱۴۰	۰/۲۶۰	۰/۱۳۰	۱۵/۳	۷/۸۰	۵۷۳	۳۴۵
۳	۱/۵۰	۰/۱۲۰	۰/۴۰۰	۰/۴۰۰	۱۵/۷	۷/۵۰	۵۹۳	۴۱۵
۴	۵/۰۰	۰/۱۱۰	۰/۴۰۰	۰/۸۳۰	۱۵/۱	۷/۹۰	۵۰۱	۳۲۱
۵	۴/۰۰	۰/۱۱۰	۰/۴۶۰	۰/۶۳۰	۱۵/۳	۷/۴۰	۹۲۹	۶۵۰
۶	۲/۵۰	۰/۱۴۰	۰/۴۰۰	۰/۸۰۰	۱۵/۲	۷/۴۰	۶۵۳	۴۵۷
کمیته	۱/۵۰	۰/۱۱۰	۰/۲۶۰	۰/۱۳۰	۱۵/۱	۷/۳۰	۵۰۱	۳۲۱
بیشینه	۸/۰۰	۰/۱۴۰	۰/۴۶۰	۰/۹۰۰	۱۵/۷	۷/۹۰	۹۲۹	۶۵۰
میانگین	۴/۲۲	۰/۱۲۵	۰/۳۸۷	۰/۵۹۸	۱۵/۳	۷/۶۰	۶۵۷	۴۴۵
انحراف معیار	۲/۲۵	۰/۰۱۴	۰/۰۶۶	۰/۲۸۶	۰/۲۱۰	۰/۲۴۳	۱۴۹	۱۱۸
ضریب تغییرات (%)	۵۳/۳	۱۱/۲	۱۷/۱	۴۷/۸	۱/۳۷	۳/۲۰	۲۲/۷	۲۶/۵

* مقادیر پارامترها مربوط به میانگین سه تکرار هستند.

مربوط به مکان‌های ۱، ۲ و ۳، ۴ و ۵ بوده است. به علاوه، بیشینه مقادیر پارامترهای دما (درجه سلسیوس)، pH و TDS (میکروگرم در لیتر) نیز با ۱۵/۷، ۷/۹۰ و ۶۵۰ به ترتیب مربوط به مکان‌های ۳، ۴ و ۵ بودند.

نتایج مندرج در جدول ۱ بیانگر آن است که بیشینه مقادیر عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و مس همگی برحسب میکروگرم در لیتر و EC بر حسب میکروزیمنس در سانتی‌متر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در فصل تابستان با ۸/۰۰، ۰/۱۴۰، ۰/۴۶۰، ۰/۹۰۰ و ۹۲۹ به ترتیب

جدول ۲. مقادیر* پارامترهای فیزیکیوشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی در فصل پاییز به تفکیک مکان نمونه‌برداری

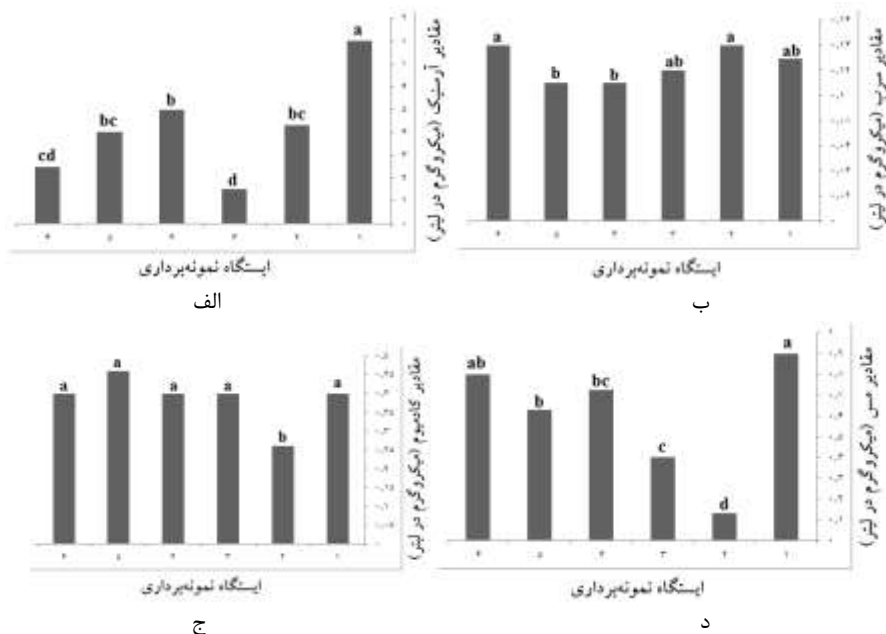
مکان نمونه‌برداری	آرسنیک (میکروگرم در لیتر)	سرب (میکروگرم در لیتر)	کادمیم (میکروگرم در لیتر)	مس (میکروگرم در لیتر)	دما (درجه سلسیوس)	pH	EC (میکروزیمنس در سانتی‌متر)	TDS (میکروگرم در لیتر)
۱	۷/۰۰	۰/۱۰۰	۰/۳۰۰	۰/۶۰۰	۱۴/۳	۷/۸۰	۶۵۵	۴۵۰
۲	۲/۶۰	۰/۱۳۰	۰/۲۶۰	۱/۳۰	۱۳/۳	۶/۸۰	۶۰۲	۳۸۳
۳	۱/۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۱۴/۱	۷/۹۰	۷۱۳	۴۹۹
۴	۲/۰۰	۰/۱۳۰	۰/۳۶۰	۰/۶۳۰	۱۳/۴	۷/۳۰	۴۹۱	۳۴۲

۶۵۳	۹۴۴	۷/۲۰	۱۳/۵	۰/۵۳۰	۰/۱۶۰	۰/۱۶۰	۳/۳۰	۵
۴۲۸	۶۱۲	۷/۲۰	۱۳/۸	۰/۵۰۰	۰/۱۰۰	۰/۲۰۰	۲/۰۰	۶
۳۴۲	۴۹۱	۶/۸۰	۱۳/۳	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۱/۰۰	کمینه
۶۵۳	۹۴۴	۷/۹۰	۱۴/۳	۱/۳۰	۰/۳۶۰	۰/۲۰۰	۷/۰۰	بیشینه
۴۵۹	۶۷۰	۷/۳۷	۱۳/۷	۰/۶۱۰	۰/۲۱۳	۰/۱۳۷	۲/۹۸	میانگین
۱۰۹	۱۵۳	۰/۴۱۳	۰/۴۰۳	۰/۳۸۹	۰/۱۰۹	۰/۰۳۸	۲/۱۱	انحراف معیار
۲۳/۷	۲۲/۸	۵/۶۰	۲/۹۴	۶۲/۳	۵۱/۲	۲۷/۷	۷۰/۸	ضریب تغییرات (%)

* مقادیر پارامترها مربوط به میانگین سه تکرار هستند.

نتایج بررسی نرمال بودن توزیع مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب در نمونه‌های فصول تابستان و پاییز نشان داد که توزیع همه پارامترها از چولگی (Skewness) و کشیدگی (Kurtosis) نرمال برخوردار بوده است. همچنین، با استناد به نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، با توجه به سطح معنی‌داری (p-value) بزرگ‌تر از ۰/۰۵، همه داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار بودند. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه در شکل‌های ۲(الف تا د) و ۳(الف تا د) نشان داده شده است.

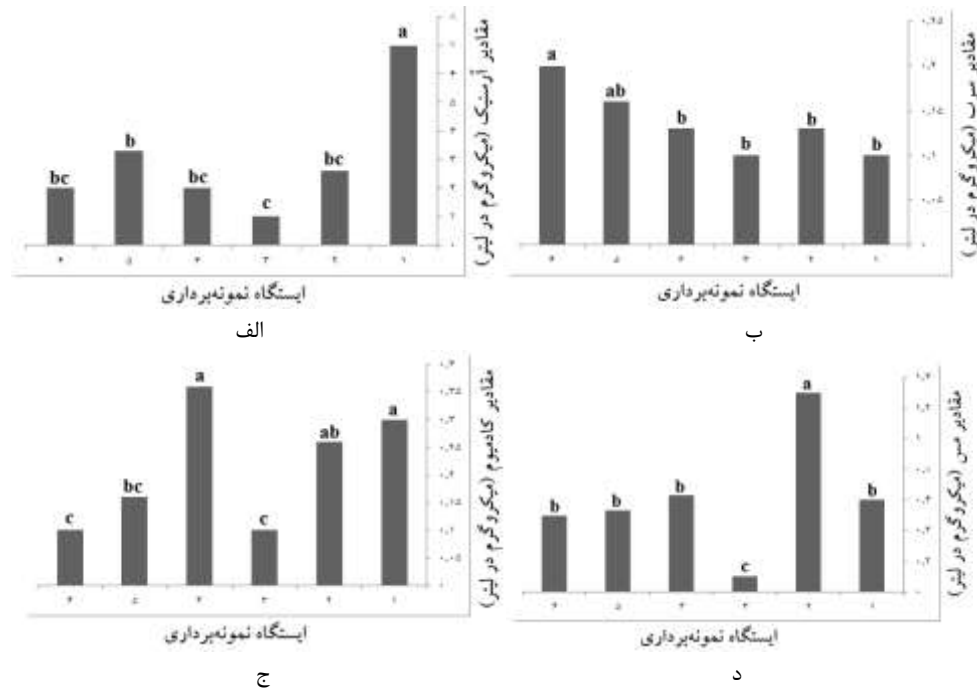
نتایج مندرج در جدول ۲ بیانگر آن است که بیشینه مقادیر عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و مس همگی برحسب میکروگرم در لیتر و EC بر حسب میکروزیمنس در فصلی سانی متر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در فصل پاییز با ۷/۰۰، ۰/۲۰۰، ۰/۳۶۰، ۱/۳۰ و ۹۴۴ به ترتیب مربوط به مکان‌های ۱، ۶، ۴، ۲ و ۵ بوده است. به‌علاوه، بیشینه مقادیر پارامترهای دما (درجه سلسیوس)، pH و TDS (میکروگرم در لیتر) نیز با ۱۴/۳، ۷/۹۰ و ۶۵۳ به ترتیب مربوط به مکان‌های ۱، ۳ و ۵ بودند.



شکل ۲. مقایسه مکان‌های نمونه‌برداری از حیث میانگین مقادیر عناصر آرسنیک (الف)؛ سری (ب)؛ کادمیم (ج) و مس (د) در نمونه‌های آب فصل تابستان و پاییز. حروف غیرمشترک (a, b, c, ...) در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0/05$) بین مکان‌های نمونه‌برداری از حیث میانگین مقادیر عناصر بر اساس نتایج تحلیل واریانس یک‌طرفه (آزمون چند دامنه‌ای دانکن) است.

وجود نداشته است ($p > 0.05$) که برای سایر پارامترها نیز می‌توان با استناد به حروف مشترک مندرج در ستون شکل‌های ۲(ب) تا ۲(د) تفسیرهایی مشابه ارائه کرد.

نتایج ارائه شده در شکل ۲(الف) بیانگر آن است که بین مکان‌های ۲، ۴ و ۵ و یا بین مکان‌های ۳ و ۶ و یا بین مکان‌های ۵ و ۶ از نظر میانگین مقادیر عنصر آرسنیک در نمونه‌های آب زیرزمینی فصل تابستان اختلاف معنی‌دار آماری



شکل ۳. مقایسه مکان‌های نمونه‌برداری از حیث میانگین مقادیر عناصر آرسنیک (الف)؛ سری (ب)؛ کادمیم (ج) و مس (د) در نمونه‌های آب فصل پاییز حروف غیرمشترک (a, b, c, ...) در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0.05$) بین مکان‌های نمونه‌برداری از حیث میانگین مقادیر عناصر بر اساس نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (آزمون چند دامنه‌ای دانکن) است.

رواداری سازمان بهداشت جهانی برای عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و مس در آب آشامیدنی به ترتیب برابر با ۱۰۰، ۱۰۰، ۱۰/۰ و ۲۰۰ میکروگرم در لیتر^{۵۳}، آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا برای عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و مس در آب آشامیدنی به ترتیب برابر با ۱۰/۰، ۱۵/۰، ۵/۰ و ۱۳۰۰ میکروگرم در لیتر^{۵۴}، و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و مس در آب آشامیدنی به ترتیب برابر با ۱۰۰، ۱۰۰۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰^{۵۴} نشان داد که میانگین محتوی عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌های آب

نتایج مندرج در شکل ۳(الف) بیانگر آن است که بین مکان‌های ۲، ۴ و ۶ و یا بین مکان‌های ۵ و ۶ از نظر میانگین مقادیر عنصر آرسنیک در نمونه‌های آب زیرزمینی فصل پاییز اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشته است ($p > 0.05$) که برای سایر پارامترها نیز می‌توان با استناد به حروف مشترک مندرج در ستون شکل‌های ۳(ب) تا ۳(د) تفسیرهایی مشابه ارائه کرد.

نتایج مقایسه آماری میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه با بیشینه

پارامترهای EC و TDS با ضریب همبستگی (r) برابر با ۰/۹۸۵ در سطح معنی‌داری ۰/۰۱۰، ارتباط مثبت و مستقیم وجود داشته است. از طرفی، مشخص شد که در نمونه‌های آب زیرزمینی فصل پاییز، بین میانگین مقادیر پارامترهای دما و pH با ضریب همبستگی برابر با ۰/۸۸۴ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵۰ و همچنین، بین میانگین مقادیر پارامترهای EC و TDS با ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۹۱ در سطح معنی‌داری ۰/۰۱۰ ارتباط مثبت و مستقیم وجود داشته است.

مقادیر محاسبه‌شده شاخص‌های MI و PoS به تفکیک فصول تابستان و پاییز در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های MI و PoS به تفکیک فصل نمونه‌برداری

مکان نمونه‌برداری	فصل تابستان			مکان نمونه‌برداری	فصل پاییز		
	MI	کیفیت آب	PoS		MI	کیفیت آب	PoS
۱	۱/۴۰	تحت تاثیر اندک	۳۳۸	۱	۱/۲۵	تحت تاثیر اندک	۲۹۲
۲	۰/۹۱۰	پاک	۱۹۳	۲	۰/۷۶۰	پاک	۱۳۳
۳	۰/۶۹۰	پاک	۱۰۷	۳	۰/۶۲۰	پاک	۶۴/۰
۴	۰/۹۸۰	پاک	۲۲۸	۴	۰/۶۶۰	پاک	۱۱۹
۵	۱/۱۸	تحت تاثیر اندک	۲۰۸	۵	۱/۰۳	تحت تاثیر اندک	۱۵۷
۶	۰/۸۳۰	پاک	۱۴۴	۶	۰/۶۶۱	پاک	۹۹/۵
میانگین	۱/۰۰	تحت تاثیر اندک	۲۰۳	میانگین	۰/۸۳۰	پاک	۱۴۴

زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در فصول تابستان و پاییز ۱۴۰۱ از بیشینه رواداری سازمان‌های مارالذکر کوچک‌تر بوده است. نتایج آزمون تی مستقل نشان داد که با توجه به سطح معنی‌داری کوچک‌تر از ۰/۰۵، بین فصول تابستان و پاییز از حیث میانگین مقادیر عناصر سرب و کادمیم اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشته است. در حالی‌که از حیث میانگین مقادیر سایر پارامترهای کیفی مورد مطالعه، اختلاف معنی‌دار آماری بین فصول تابستان و پاییز وجود نداشته است ($p > 0/05$). به‌علاوه، نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که در نمونه‌های آب زیرزمینی فصل تابستان بین میانگین مقادیر

شرایط اقلیمی، ساختار زمین‌شناسی، سطح ایستابی (عمق سفره)، زمان برداشت نمونه‌ها، pH آب و از طرفی، نوع، میزان و زمان مصرف نهاده‌های کشاورزی (کود و سموم شیمیایی با پایه فلزی) بر آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی یک منطقه به فلزات سنگین اثرگذار هستند^{۳،۳۸،۵۵}.

از نظر ساختار زمین‌شناختی، چاله‌های ناودیس سنقر در منتهی‌الیه شمال غربی زون سنندج-سیرجان که به اصطلاح قلمرو دگرگونی زاگرس نامیده می‌شود واقع شده و زون سنندج-سیرجان در این ناحیه اکثراً از سنگ‌های متامریک دگرگونی و زون خرد شده از سنگ‌های آهک و آهک مارنی و شیست متعلق به دوره ژوراسیک تشکیل شده است^{۵۶}. از آنجا که توده‌های گرانیتی واجد کانی‌های کوارتز و فلدسپار

با استناد به نتایج مندرج در جدول ۳، میانگین مقادیر شاخص MI مربوط به نمونه‌های آب فصل تابستان برابر با یک، و نشان‌دهنده عدم آلودگی منابع آب زیرزمینی است. از طرفی، میانگین مقادیر شاخص PoS در فصل تابستان برابر با ۲۰۳ و نشان‌دهنده آلودگی اندک منابع آب زیرزمینی است. این در حالیست که نتایج محاسبه مقادیر شاخص MI مربوط به فصل پاییز مشابه با فصل تابستان بود. به‌علاوه، میانگین مقادیر شاخص PoS در فصل پاییز برابر با ۱۴۴ و نشان‌دهنده حداقل آلودگی منابع آب زیرزمینی بود.

بحث

مرور منابع نشان‌دهنده آن است که عوامل مختلفی از جمله

میانگین غلظت این عناصر در نمونه‌های برداشت شده در فصل تابستان سال ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۴/۲۲، ۰/۱۲۵، ۰/۳۸۷ و ۰/۵۹۸ میکروگرم در لیتر و در نمونه‌های برداشت شده در فصل پاییز سال ۱۴۰۱ نیز به ترتیب برابر با ۲/۹۸، ۰/۱۳۷، ۰/۲۱۳ و ۰/۶۱۰ میکروگرم در لیتر بوده است. علاوه بر این، میانگین مقادیر پارامترهای دما (درجه سلسیوس)، pH، هدایت الکتریکی (میکروزیمنس در سانتی‌متر) و کل جامدات محلول (میکروگرم در لیتر) نمونه‌های فصل تابستان به ترتیب برابر با ۱۵/۳، ۷/۶۰، ۶۵۷ و ۴۴۵ و میانگین مقادیر همین پارامترها در نمونه‌های فصل پاییز نیز به ترتیب برابر با ۱۳/۷، ۷/۳۷، ۶۷۰ و ۴۵۹ تعیین شدند. میانگین مقادیر عناصر مورد مطالعه در منابع آب زیرزمینی سنقر مربوط به فصول تابستان و پاییز ۱۴۰۱ با میانگین مقادیر همین عناصر در منابع آب زیرزمینی سایر حوضه‌های آبریز واقع در غرب ایران در جدول ۴ مقایسه شده است.

به‌عنوان کانی حامل سرب و همچنین، سنگ‌های آهک رسی حاوی عناصر مس و سرب بوده و کانی آهک رس حاوی عناصر کادمیم و مس است^۴، از این‌رو، ورود عناصر و به‌ویژه سرب، کادمیم و مس به منابع آب زیرزمینی را می‌توان تا حدودی با انحلال بخشی از عناصر موجود در سنگ‌ها و کانی‌های حوضه‌های آبریز گاورود و گامیشان در اثر آبیاری و یا بارندگی مرتبط دانست. از طرفی، کشت انواع محصولات کشاورزی در منطقه مورد مطالعه و به‌تبع آن استفاده بی‌رویه از نهاده‌های کشاورزی حاوی آرسنیک، کادمیم و مس می‌تواند به تجمع فلزات سنگین در خاک و در پی آن منابع آب زیرزمینی منجر شود. این در حالی است که نباید نقش عمیق کم منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه^{۵۷} در آلودگی آن‌ها به فلزات سنگین را نادیده گرفت.

نتایج تعیین مقادیر عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و مس در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان داد که

جدول ۴. مقایسه مقادیر عناصر در نمونه‌های آب زیرزمینی شهر سنقر با یافته‌های سایر پژوهش‌های مشابه در غرب ایران

منبع	عنصر (میکروگرم در لیتر)				منطقه مورد مطالعه
	مس	کادمیم	سرب	آرسنیک	
۱	۹/۳۰	-	۲/۸۰	۹/۰۰	دشت قهاوند همدان
۵۲	۱۲/۵	-	۱/۸۵	۳/۹۹	دشت تویسرکان همدان
۱۲	۲۵/۶	۰/۳۰۰	۴/۸۶	-	دشت رزن همدان
۵۱	-	-	-	۶/۸۳	دشت رزن همدان
۲۰	-	-	-	۱۹/۸	دشت قلعه شاهین سرپل ذهاب کرمانشاه
۳۲	-	۱/۲۱	۶/۴۶	-	دشت قلعه شاهین سرپل ذهاب کرمانشاه
۵۸	-	۱۶/۰	-	۱/۹۵	دشت خرم‌آباد لرستان
۵۹	-	۰/۸۰۰	۰/۹۰۰	۰/۸۴۰	شهرستان ماهنشان زنجان
۳۶	۱۰/۵	۴/۵۷	۹/۲۸	۵۷/۶	دشت اسدآباد همدان
مطالعه حاضر	۰/۶۰۴	۰/۳۰۰	۰/۱۳۱	۳/۶۰	سنقر کردستان

پاییز سال ۱۴۰۱ با بیشینه رواداری سازمان‌های بهداشت جهانی و حفاظت محیط‌زیست ایران و آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا نشان داد که میانگین غلظت همه عناصر

نتایج آزمون تی تک‌نمونه‌ای برای مقایسه میانگین غلظت عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و مس (میکروگرم در لیتر) در منابع آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه در فصول تابستان و

رزن و اسدآباد همدان به ترتیب با $2/80$ ، $1/85$ ، $4/86$ و $9/28$ میکروگرم در لیتر کوچک‌تر از بیشینه رواداری گزارش شد^{۵۲،۳۶،۱۲۱}. سبجان اردکانی و نظری (۲۰۱۶)^{۳۲} و علیائی و باریکلو (۲۰۱۸)^{۵۹} نیز میانگین غلظت عنصر سرب در منابع آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین سرپل ذهاب کرمانشاه و شهرستان ماهنشان زنجان را به ترتیب برابر با $6/46$ و $0/900$ میکروگرم در لیتر و کوچک‌تر از بیشینه رواداری گزارش کردند. لازم به ذکر است که نتایجی مشابه در خصوص میانگین غلظت عنصر کادمیم در منابع آب زیرزمینی دشت‌های رزن ($0/300$ میکروگرم در لیتر)^{۱۲} و اسدآباد ($4/57$ میکروگرم در لیتر)^{۳۶} همدان و قلعه شاهین سرپل ذهاب کرمانشاه ($1/21$ میکروگرم در لیتر)^{۳۳} و همچنین شهرستان ماهنشان زنجان ($0/800$ میکروگرم در لیتر)^{۵۹} و میانگین غلظت عنصر مس دشت‌های قهاوند ($9/30$ میکروگرم در لیتر)^۱، تویسرکان ($12/5$ میکروگرم در لیتر)^{۵۲}، رزن ($25/6$ میکروگرم در لیتر)^{۱۲} و اسدآباد ($10/5$ میکروگرم در لیتر)^{۳۶} همدان گزارش شده است. در حالی که میانگین غلظت عنصر کادمیم در منابع آب زیرزمینی دشت خرم‌آباد لرستان برابر با $16/0$ میکروگرم در لیتر و بزرگ‌تر از بیشینه رواداری WHO و EPA گزارش شد^{۵۸}.

نتایج آزمون تی مستقل نشان داد که بین فصول نمونه‌برداری تابستان و پاییز از حیث میانگین محتوی عناصر سرب و کادمیم در منابع آب زیرزمینی اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشته است. در حالی که از حیث میانگین مقادیر سایر پارامترهای کیفی مورد مطالعه، اختلاف معنی‌دار آماری بین فصول تابستان و پاییز وجود نداشته است ($p > 0/05$). در این خصوص، از آن‌جا که ثابت شده است کاربرد کود شیمیایی می‌تواند قابلیت در دسترس بودن کادمیم را به‌طور مستقیم تحت تاثیر قرار دهد، بیش‌تر بودن میانگین مقادیر عنصر کادمیم در نمونه‌های آب زیرزمینی فصل تابستان در مقایسه با نمونه‌های آب فصل پاییز را می‌توان با مصرف انواع

در نمونه‌ها در سطح معنی‌داری 5% با حد مجاز اختلاف آماری داشته و در هر دو فصل کوچک‌تر از حد مجاز بوده است. در این خصوص، نتایج برخی از پژوهش‌های انجام یافته در حوزه غربی کشور که با هدف تعیین محتوی عناصر بالقوه سمی در منابع آب زیرزمینی اجرا شدند، نشان داد که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و مس کوچک‌تر از بیشینه رواداری WHO، EPA و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران بوده است. به‌عنوان مثال، میانگین محتوی عنصر آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت قهاوند همدان با $9/00$ میکروگرم در لیتر کوچک‌تر از بیشینه رواداری گزارش شد^۱. از طرفی، میانگین محتوی عنصر آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان همدان با $3/99$ میکروگرم در لیتر کوچک‌تر از بیشینه رواداری گزارش شد^{۵۲}. سبجان اردکانی و همکاران (۲۰۱۴)^{۵۱} با بررسی غلظت آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت رزن همدان گزارش کردند که میانگین محتوی عنصر آرسنیک با $6/83$ میکروگرم در لیتر کوچک‌تر از بیشینه رواداری بوده است. در پژوهشی دیگر، میانگین محتوی عنصر آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت خرم‌آباد لرستان برابر با $1/95$ میکروگرم در لیتر و کوچک‌تر از بیشینه رواداری گزارش شد^{۵۸}. علیائی و باریکلو (۲۰۱۸)^{۵۹} نیز میانگین محتوی عنصر آرسنیک در منابع آب زیرزمینی شهرستان ماهنشان زنجان را برابر با $0/840$ میکروگرم در لیتر و کوچک‌تر از بیشینه رواداری گزارش کردند. این در حالی است که میانگین محتوی عنصر آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین سرپل ذهاب کرمانشاه با $19/8$ میکروگرم در لیتر بزرگ‌تر از بیشینه رواداری EPA گزارش شد^{۲۰}. سبجان اردکانی و همکاران (۲۰۱۶)^{۳۶} نیز میانگین محتوی عنصر آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد همدان را $57/6$ میکروگرم در لیتر و بزرگ‌تر از بیشینه رواداری EPA گزارش کردند. در خصوص سایر عناصر مورد مطالعه، میانگین غلظت سرب در منابع آب زیرزمینی دشت‌های قهاوند، تویسرکان،

نتایج محاسبه مقادیر شاخص های MI و PoS (جدول ۳) نشان دادند که در فصل تابستان، کیفیت آب ۶۶/۷٪ از مکان های نمونه برداری در طبقه "پاک" و کیفیت آب سایر ایستگاه ها در طبقه "تحت تاثیر اندک" قرار داشته و به طور کلی میانگین مقادیر شاخص MI برابر با یک و نشان دهنده عدم آلودگی منابع آب زیرزمینی بوده است. از طرفی، نتایج محاسبه شاخص PoS در فصل تابستان نشان داد که کیفیت آب ۸۳/۳٪ از چاه های مورد بررسی در طبقه های "پاک" و یا "آلودگی اندک" قرار داشته و فقط نمونه های مربوط به ایستگاه ۱ با مقدار شاخص برابر با ۳۳۸ در طبقه "آلودگی متوسط" دسته بندی شده اند. به علاوه، میانگین مقادیر شاخص PoS برابر با ۲۰۳ و نشان دهنده "آلودگی اندک" منابع آب زیرزمینی بود. این در حالیست که نتایج محاسبه مقادیر شاخص MI مربوط به فصل پاییز مشابه فصل تابستان بود. به علاوه، نتایج محاسبه شاخص PoS در فصل پاییز نشان داد که کیفیت آب ۶۶/۷٪ چاه های مورد بررسی در طبقه "پاک-آلودگی حداقل" قرار داشته و به طور کلی میانگین مقادیر شاخص با ۱۴۴ نشان دهنده "حداقل آلودگی" منابع آب زیرزمینی بود. در این خصوص، مقادیر محاسبه شده شاخص MI که در مجموع نشان دهنده طبقه کیفی "تحت تاثیر اندک" ۶۶/۷٪ از نمونه های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در هر دو فصل تابستان و پاییز سال ۱۴۰۱ بوده است را می توان با محتوی عناصر آرسنیک و کادمیم در نمونه ها مرتبط دانست. بدین معنی که با استناد به مقادیر محاسبه شده شاخص MI، عناصر آرسنیک و کادمیم بیش ترین نقش را در افت کیفی منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه داشته اند. لذا، ضمن آن که می توان به نقش احتمالی ساختار زمین شناسی منطقه در آلودگی منابع آب زیرزمینی به کادمیم اشاره کرد، نباید از مصرف بی رویه نهاده های کشاورزی و به ویژه کودهای شیمیایی فسفاته و از ته توسط کشاورزان منطقه که می تواند منجر به تجمع مقادیر قابل توجه کادمیم در خاک زمین های

کودهای شیمیایی و آلی به ویژه کودهای فسفاته و از ته در زمین های کشاورزی اطراف محل های نمونه برداری در فصل کشت مرتبط دانست^{۶۰}. از طرفی، کودهای از ته حاوی اورانیوم (اوره) می تواند pH خاک را به دلیل آزادسازی یون هیدروژن کاهش و توانایی مبادله و قابلیت انحلال کادمیم در خاک را افزایش دهد^{۶۱}. به بیان دیگر، با افزایش مصرف کودهای از ته، قدرت یونی محلول خاک و به دنبال آن رقابت بین کادمیم و کاتیون های موجود در الکترولیت افزایش یافته و به انتشار فلزات سنگین از مکان های تبادل و یا کلونیدهای خاک از طریق یون های تبادل منجر می شود^{۶۱،۶۲}. علاوه بر این، بیش تر بودن میانگین مقادیر عنصر سرب در نمونه های آب زیرزمینی فصل پاییز در مقایسه با نمونه های آب فصل تابستان را می توان با افزایش تردد وسایل نقلیه موتوری برای حمل و نقل محصولات زراعی و به تبع آن آلودگی ناشی از انتشارات ناشی از احتراق سوخت، نشت روان کننده ها و خوردگی و فرسایش لنت ترمز خودرو و پوشش سطح جاده مرتبط دانست^{۶۳،۶۴}.

آب مهم ترین حلال معدنی است و از این رو، هر نمونه آب حاوی ترکیبات، املاح و مواد معدنی منطقه جغرافیایی محل برداشت نمونه است. حل شدن کاتیون های فلزی مانند سرب، کادمیم و مس در آب به آن خاصیت قلیایی بخشیده و منجر به افزایش pH آب و به تبع آن کاهش تحرک و افزایش جذب کاتیون ها توسط کلونیدهای خاک می شود. این در حالی است که حل شدن آنیون ها به آب خاصیت اسیدی می دهد^{۶۵،۶۶}. از آنجا که ماتریس همبستگی پیرسون نشان داد که بین مقادیر پارامترهای دما و pH با میانگین محتوی عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و مس در نمونه های آب زیرزمینی فصول تابستان و پاییز در سطوح ۱٪ و ۵٪ همبستگی معنی دار آماری وجود نداشته است، لذا، می توان اذعان داشت که تغییر در مقادیر دما یا pH بر تجمع عناصر در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه اثرگذار نبوده است.

نتیجه‌گیری

با استناد به نتایج حاصل می‌توان اذعان کرد هرچند میانگین مقادیر عناصر آرسنیک، سرب، کادمیم و مس در منابع آب زیرزمینی شهرستان سنقر کوچک‌تر از بیشینه رواداری WHO، EPA و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران بود و از طرفی، نتایج محاسبه مقادیر شاخص‌های MI و PoS نیز نشان داد که کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در زمان انجام مطالعه برای استحصال و مصرف با مشکل مواجه نبوده است، اما با توجه به سطح زیر کشت وسیع انواع محصول کشاورزی در منطقه، استفاده بی‌رویه از نهاده‌های کشاورزی و به‌ویژه کودهای فسفاته، سولفات پتاسیم و سوپر فسفات تریپل محتوی عناصر سرب و کادمیم و سموم شیمیایی محتوی آرسنیک و مس توسط کشاورزان، امکان افزایش غلظت انواع فلزات سنگین در خاک و نفوذ آن‌ها به سفره‌های آب زیرزمینی در اثر آبیاری و یا از طریق نزولات جوی در میان مدت دور از انتظار نخواهد بود. با این حال، به‌منظور کنترل و پیشگیری از آلودگی این منابع حیاتی و از طرفی برای حفظ سلامت شهروندان، نسبت به پایش دوره‌ای کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه توصیه می‌شود.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان با کد ۱۷۱۱۲۹۸۰۰۶۹۰۷۶۴۲۱۴۰۱۸۱۶۲۶۲۰۰۴۱ است که بدین‌وسیله نویسندگان از حوزه معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه برای فراهم کردن امکانات اجرای مطالعه سپاسگزاری می‌کنند.

کشاورزی و به‌تبع آن روان‌شویی (Leaching) این عنصر سمی به منابع آب زیرزمینی شود، غافل شد. از طرفی، در خصوص آلودگی منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به عنصر آرسنیک نیز می‌توان به کاربرد انواع آفت‌کش و علف‌کش حاوی آرسنیک (Arsenical Pesticides/Herbicides) توسط کشاورزان اشاره کرد. در پژوهشی مشابه، نتایج محاسبه شاخص‌های MI و PoS منابع آب زیرزمینی حوضه آبخیز رزن-قهاوند همدان در سال ۱۳۹۹ نشان داد که در فصل بهار، کیفیت آب ۷۵٪ از مکان‌های نمونه‌برداری در طبقه کیفی "پاک" و ۲۵٪ از مکان‌ها در طبقه کیفی "تحت تاثیر اندک" قرار داشته است. از طرفی، نتایج محاسبه شاخص PoS در فصل بهار نیز نشان داد که کیفیت آب همه مکان‌های نمونه‌برداری در طبقه "آلودگی حداقل" قرار داشته است. این در حالی است که نتایج محاسبه شاخص MI در فصل تابستان بیان‌گر آن بود که کیفیت آب ۵۵٪ از مکان‌های نمونه‌برداری در طبقه کیفی "پاک" و ۴۵٪ از مکان‌ها در طبقه کیفی "تحت تاثیر اندک" قرار داشته است. به‌علاوه، نتایج محاسبه شاخص PoS در فصل تابستان نیز همانند فصل بهار بیان‌گر آن بود که کیفیت آب همه مکان‌های نمونه‌برداری در طبقه "آلودگی حداقل" قرار داشته است.^{۴۰} قبادی و همکاران (۲۰۲۱)^{۴۱} نیز با ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اسدآباد همدان با استفاده از شاخص‌های PoS و MI گزارش کردند که میانگین مقادیر شاخص‌های MI و PoS در فصل بهار سال ۱۳۹۷ با ۰/۹۲۰ و ۰/۳۶۰ به ترتیب بیان‌گر سطوح کیفی "پاک" و "آلودگی حداقل" و در تابستان سال ۱۳۹۷ نیز با ۱/۰۵ و ۰/۴۱۰ به ترتیب نشان‌دهنده سطوح کیفی "تحت تاثیر اندک" و "آلودگی حداقل" بوده است.

References

- Sobhanardakani S, Razban S, Maànijou M. Evaluation of concentration of some heavy metals in ground water resources of Qahavand Plain-Hamedan. *J Kermanshah Univ Med Sci* 2014;18(6):339-48 (In Persian).
- Ghobadi A, Cheraghi M, Sobhanardakani S, et al. Hydrogeochemical characteristics, temporal and spatial variations for evaluation of groundwater quality of Hamedan-Bahar Plain as a major agricultural region, west of Iran. *Environ Earth Sci* 2020;79:428.
- Alizamir M, Sobhanardakani S. An artificial neural network - particle swarm optimization (ANN- PSO) approach to predict heavy metals contamination in groundwater resources. *Jundishapur J Health Sci* 2018;10(2):e67544.
- Ghobadi A, Cheraghi M, Sobhanardakani S, et al. Groundwater quality modeling using a novel hybrid data-intelligence model based on Grey wolf optimization algorithm and multi-layer perceptron artificial neural network, Case study: Asadabad plain, Hamedan, Iran. *Environ Sci Pollut Res* 2022;29(6):8716-30.
- 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.
- Selahvarzi S, Sobhanardakani S. Analysis and health risk assessment of toxic (Cd and Pb) and essential (Cu and Zn) elements through consumption of potato (*Solanum tuberosum*) cultivated in Iran. *Int J Environ Anal Chem* 2022;102(18):6310-20.
- Tasleem Jan A, Azam M, Siddiqui K, et al. Heavy metals and human health: mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants. *Int J Mol Sci* 2015;16(12):29592-630.
- 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.
- 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.
- Cheraghi M, Sobhanardakani S, Zandipak R, et al. Removal of Pb(II) from aqueous solutions using waste tea leaves. *Iran J Toxicol* 2015;9(28):1247-53.
- Muhammad S., Tahir Shah M, Khan S. Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan. *Microchem J* 2011;98(2):334-43.
- Sobhanardakani S, Maanijou M, Asadi H. Investigation of Pb, Cd, Cu and Mg concentrations in groundwater resources of Razan Plain. *Sci J Hamadan Univ Med Sci* 2015;21(4):319-29 (In Persian).
- Özcan MM, AL Juhaimi FY. Determination of heavy metals in bee honey with connected and not connected metal wires using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). *Environ Monit Assess* 2012;184:2373-5.
- Sobhanardakani S, Jafari SM. Heavy metals contamination in silver, common and grass carp caught from Zarivar Lake, western Iran. *Eur Online J Nat Soc Sci* 2014;3(2):344-50.
- Hosseini SV, Sobhanardakani S, Kolangi Miandare H, et al. Determination of toxic (Pb, Cd) and essential (Zn, Mn) metals in canned tuna fish produced in Iran. *J Environ Health Sci Eng* 2015;13: 59.
- Bakirdere S, Yaman M. Determination of lead, cadmium and copper in roadside soil and plants in Elazig, Turkey. *Environ Monit Assess* 2008;136(1-3):401-10.
- Sobhanardakani S. Evaluation of the water quality pollution indices for groundwater resources of Ghahavand Plain, Hamedan Province, western Iran. *Iran J Toxicol* 2016;10(3):35-40.
- Davodpour R, Sobhanardakani S, Cheraghi M, et al. Honeybees (*Apis mellifera* L.) as a potential bioindicator for detection of toxic and essential elements in the environment (Case study: Markazi Province, Iran). *Arch Environ Contam Toxicol* 2019;77(3):344-58.
- Jalali M, Merrikhpour H. Effects of poor quality irrigation waters on the nutrient leaching and groundwater quality from sandy soil. *Environ Geol* 2008;53(6):1289-98.
- 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).
- Nasirahmadi K, Yousefi Z, Tarassoli A. Zoning of water quality on Haraz river bases on National Sanitation Foundation Water Quality Index. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2012;22(92):64-71 (In Persian).
- Salari M, Radmanesh F, Zarei H. Quantitative and qualitative assessment of Karoon River water using NSFQI index and AHP method. *Human Environ* 2013;23:13-22 (In Persian).
- Kazemi P, Shariati F, Keshavars Shokri A. Langroud River water quality assessment using NSFQI qualitative indicators. *Environ Sci* 2018;16(3):65-78 (In Persian).
- Karbassi AR, Mir Mohammad Hosseini F, Baghvand A, et al. Development of Water Quality Index (WQI) for Gorganrood River. *Int J Environ Res* 2011;5(4):1041-6.
- 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.
- Khoshnam Z, Sarikhani R, Ghassemi Dehnavi A, et al. Evaluation of water quality using heavy metal index and multivariate statistical analysis in Lorestan Province, Iran. *J Adv Environ Health Res* 2017;5:29-37.

27. 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).
28. Bahrami F, Dastourani M. Quality assessment of groundwater in the plain of Sarayan using water quality index (WQI). *Iran J Irrig Drain* 2019;13(4):1064-74 (In Persian).
29. Torabipoudeh H, Yonesi H, Haghizadeh A, et al. Assessment of groundwater quality changes and evaluation of IRWQIGC in Lenjanat-Najafabad Aquifers area. *Desert Ecosys Eng J* 2020;8(25):53-66 (In Persian).
30. Rahimi M, Besharat S, Verdinejad V. Quality evaluation of groundwater resources of Ardabil aquifer for agricultural and drinking uses. *Environ Water Eng* 2017;2(4):360-75 (In Persian).
31. Nejatijahromi Z, Nassery H, Nakhaei M, et al. Assessment of the quality of groundwater for drinking purposes in Varamin aquifer: heavy metals contamination. *Iran J Health Environ* 2018;10(4): 559-72 (In Persian).
32. 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).
33. Asghari Moghaddam A, Javanmard Z, Vadiati M, et al. Evaluating the quality of Mehraban Plain groundwater resources using GQI and FGQI methods. *Hydrogeomorphology* 2018;1(2):79-98 (In Persian).
34. Honarbakhsh A, Tahmoures M, Tashayo B, et al. GIS-based assessment of groundwater quality for drinking purpose in northern part of Fars province, Marvdasht. *J Water Suppl Res Technol-Aqua* 2019;68(3):187-96.
35. 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.
36. 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.
37. Sobhanardakani S. Evaluation of the water quality pollution indices for groundwater resources of Ghahavand Plain, Hamedan Province, western Iran. *Iran J Toxicol* 2016;10(3):35-40.
38. 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.
39. 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 Environ Sci* 2014;4(2):511-18.
40. 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).
41. Ghobadi A, Cheraghi M, Sobhanardakani S, et al. Qualitative assessment of groundwater resources of Asadabad Plain using WQI, Cd, HPI, HEI, PoS and MI indices in 2018. *J Environ Health Eng* 2021;9(1):1-21 (In Persian).
42. Lou S, Liu S, Dai C, et al. Heavy metal distribution and groundwater quality assessment for a coastal area on a Chinese island. *Pol J Environ Stud* 2017;26(2):733-45.
43. Abou Zakhem B, Hafez R. Heavy metal pollution index for groundwater quality assessment in Damascus Oasis, Syria. *Environ Earth Sci* 2015;73:6591-6600.
44. Binay PP, Prasoon KS, Ashwani KT, et al. Assessment of heavy metal pollution index for groundwater around Jharia coalfield region, India. *J Biodivers Environ Sci* 2015;6(3):33-9.
45. Prasad B, Kumari P, Bano S, et al. Ground water quality evaluation near mining area and development of heavy metal pollution index. *Appl Water Sci* 2014;4:11-7.
46. Maria-Alexandra H, Roman C, Ristoiu D, et al. Assessing of water quality pollution Indices for heavy metal contamination. A study case from Medias City groundwaters. *Agr Sci Pract* 2013;3-4: 25-31.
47. Nalawade PM, Bholay AD, Mule MB. Assessment of groundwater and surface water quality indices for heavy metals nearby area of Parli Thermal Power Plant. *Univ J Environ Res Technol* 2012;2(1):47-51.
48. Prasad B, Sangita K. Heavy Metal Pollution Index of ground water of an abandoned open cast mine filled with fly Ash: a case study. *Mine Water Environ* 2008;27(4):265-7.
49. Prasad B, Bose JM. Evaluation of the heavy metal pollution index for surface and spring water near a Limestone mining area of the lower Himalayas. *Environ Geol* 2001;41(1-2):183-8.
50. Malekei A, Gorbanpoor A. Regionalization of landslide hazard of Charmaleh Basin, Songor division, Kermanshah Province. *Geogr Develop* 2008;6(12):181-98 (In Persian).
51. Sobhanardakani S, Jamali M, Maanijou M. Evaluation of As, Zn, Cr and Mn concentrations in groundwater resources of Razan Plain and preparation of zoning map using GIS. *J Environ Sci Technol* 2014;16(261):25-38 (In Persian).
52. Sobhanardakani S, Talebiani S, Maanijou M. Evaluation of As, Zn, Pb and Cu concentrations in groundwater resources of Toyserkan Plain and preparing the zoning map using GIS. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2014;24(114):120-30 (In Persian).
53. World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking-Water Quality. Fourth Edition, 2011;564 pp.
54. Keyvani N. Environmental Criterias and Standards in the Field of Human Environment. Department of the

- Environment of Iran Publication. 2004;158 pp (In Persian).
55. Geen V, Zheng Y, Versteeg R. Spatial variability of arsenic in 6000 tube wells in a 25 km² area in Bangladesh. *Water Res Res* 2003;39(5):1140-56.
 56. Akbari V. Petrology of Metamorphic Rocks of North of Sonqor. Jaliz Publications, 2019;104 pp (In Persian).
 57. Setareh P, Rezaei M, Hassani AH, et al. Distribution of groundwater nitrate contamination in GIS environment: A case study, Sonqor plain. *J Kermanshah Univ Med Sci* 2014;18(3):157-64 (In Persian).
 58. Tahmasian S, Khani Temelilyeh Z, Behmanesh J. Evaluation of groundwater quality of Khorramabad Plain. 2018;3(4):341-52 (In Persian).
 59. Oliaei MS, Barikloo A. Assessment of heavy metal's health risk in underground water resources (case study some parts of northeastern villages of Mahneshan city, Dandi region, Zanjan province). *Geography (Region Plan)* 2018;8(3):41-51 (In Persian).
 60. Wangstrand H, Eriksson J, Born V. Cadmium concentration in winter wheat as affected by nitrogen fertilization. *J Agron* 2007;26:209-14.
 61. Mitchell L, Grant C, Racz G. Effect of nitrogen application on concentration of cadmium and nutrient ions in soil solution and in durum wheat. *Canad J Soil Sci* 2000;80:107-15.
 62. Lorenz SE, Hamon RE, McGrath SP, et al. Application of fertilizer cations affect cadmium and zinc concentrations in soil solutions and uptake by plants. *Eur J Soil Sci* 1994;45:159-65.
 63. Roy S, Gupta SK, Prakash J, et al. Ecological and human health risk assessment of heavy metal contamination in road dust in the National Capital Territory (NCT) of Delhi, India. *Environ Sci Pollut Res* 2019;26(29): 30413-30425.
 64. Wang H-Z, Cai L-M, Wang Q-S, et al. A comprehensive exploration of risk assessment and source quantification of potentially toxic elements in road dust: A case study from a large Cu smelter in central China. *Catena* 2021;196:104930.
 65. Hassanzadeh R, Abbasnejad A, Hamzeh MA. Assessment of groundwater pollution in Kerman urban areas. *Environ Stud* 2011;36(56):101-10 (In Persian).
 66. 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).

Assessment of Potentially Toxic Element Pollution in Groundwater Resources Using MI and PoS Indices (Case Study: City of Sonqor)

Hadi Amjadian¹, Soheil Sobhanardakani^{2*}

¹- M.Sc. in Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering, College of Engineering, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

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

Email: s_sobhan@iauh.ac.ir,

Received : 13 March 2023 , Accepted: 9 April 2023

ABSTRACT

Background & Objective: In the dry and semi dry regions of the world, due to almost 90% of their required water is provided from groundwater resources, these resources are vital. Therefore, this study was conducted to assessment of potentially toxic elements (As, Pb, Cd and Cu) pollution in groundwater resources of city of Sonqor, Kermansah Province, west of Iran in 2022 using MI and PoS indices.

Materials & Methods: In this descriptive cross-sectional study, a total of 36 groundwater samples were collected randomly from 12 sampling sites during summer and autumn seasons. The value of some qualitative parameters including T, pH, EC and TDS were determined insitu. After samples preparation, the contents of As, Pb, Cd and Cu were determined using ICP-OES. Also, the metal (MI) and the PoS indices were computed for qualitative assessment of groundwater resources. Moreover, all statistical analyses were done using SPSS version 19.0

Results: Based on the results obtained, the mean contents of the analyzed elements ($\mu\text{g/l}$) in groundwater samples collected in the summer season were found to be 4.22 for As, 0.125 for Pb, 0.387 for Cd and 0.598 for Cu, while the mean levels of As, Pb, Cd and Cu in groundwater samples of the autumn season were 2.98, 0.137, 0.213 and 0.610, respectively. Also, in comparison, the mean concentrations of the analyzed elements in the groundwater samples of both seasons were lower than the maximum permissible concentrations (MPCs) established by WHO, EPA and Iran DOE. Besides, the MI and PoS indices of the summer season with mean values of 1.00 and 203, respectively, showed that the quality of groundwater resources of the study area was classified at 'slightly affected' and 'low quality degradation level'. Whereas, in the autumn season the mean values of MI with 0.830 and PoS with 144, showed that the quality of groundwater resources of the study area was classified at 'pure' and 'none-low quality degradation level', respectively.

Conclusion: Although based on the findings, the quality of the groundwater resources of the study area was desirable during the implementation of this research, the overuse of agricultural inputs particularly phosphorus and urea fertilizers and also heavy metal-based pesticides (e.g. arsenical pesticides/herbicides), could be pose to decrease of the quality of groundwater resources, and cause irreversible damages in this area. Therefore, regular and periodic monitoring of groundwater quality for environmental and human health maintenance is recommended.

Keywords: Water pollution, Qualitative assessment, Maximum permissible concentrations, Potentially toxic elements, Sonqor.