

ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن همدان با استفاده از شاخص‌های MI و PoS

فرید شفوی و سهیل سبحان اردکانی

دوره ۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹ صفحات ۲۷۲-۲۵۷

Vol. 6(3), Autumn 2020, 257 – 272

DOI: 10.22034/jewe.2020.242749.1402

Groundwater Quality Assessment Using MI and  
PoS Indices in Razan Watershed, Hamedan, Iran

Shafavi F. and Sobhan Ardakani S.



[www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

شفوی ف. و سبحان اردکانی س. (۱۳۹۹). ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن همدان با استفاده از شاخص‌های MI و PoS. محیط-زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۳، صفحات: ۲۷۲-۲۵۷.

**Citing this paper:** Shafavi F. and Sobhan Ardakani S. (2020). Groundwater quality assessment using MI and PoS indices in Razan Watershed, Hamedan, Iran. Environ. Water Eng., 6(3), 257–272. DOI: 10.22034/jewe.2020.242749.1402.

## ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن همدان با استفاده از شاخص‌های MI و PoS

فرید شفوی<sup>۱</sup> و سهیل سبحان اردکانی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

\* نویسنده مسئول: [s.sobhan@iauh.ac.ir](mailto:s.sobhan@iauh.ac.ir)

### مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۵/۱۶]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۵/۲۵]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۰۵/۲۵]

### چکیده

از آنجا که ۹۰٪ آب مورد نیاز مصارف مختلف در ایران از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود، ارزیابی کیفی این منبع حیاتی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. این پژوهش با هدف ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن همدان با استفاده از شاخص‌های MI و PoS بر اساس محتوی عناصر روی، سرب، کادمیم و مس طی فصول بهار و تابستان سال ۱۳۹۹ انجام شد. به‌این منظور، ۱۲۰ نمونه آب زیرزمینی از ۲۰ ایستگاه برداشت و پارامترهای pH، EC و دما در محل اندازه‌گیری شد. محتوی عناصر در نمونه‌ها نیز بعد از طی مراحل آماده‌سازی آزمایشگاهی به‌وسیله دستگاه نشر اتمی خوانده شد. میانگین غلظت روی، سرب، کادمیم و مس در نمونه‌های فصل بهار به‌ترتیب برابر با ۳۶/۳، ۷/۸۷، ۰/۳۴۰ و ۳۸/۲  $\mu\text{g/l}$ ؛ و در فصل تابستان نیز به‌ترتیب برابر با ۳۸/۳، ۸/۸۰، ۰/۴۳۰ و ۴۲/۴  $\mu\text{g/l}$  و در هر دو فصل کوچک‌تر از بیشینه رواداری WHO و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای مصارف آشامیدن و آبیاری محصولات کشاورزی بود. از طرفی میانگین مقادیر شاخص‌های MI و PoS در فصل بهار با ۰/۹۲۰ و ۰/۳۶۰ به‌ترتیب بیان‌گر سطح کیفی پاک و آلودگی حداقل و در فصل تابستان نیز با ۱/۰۵ و ۰/۴۱۰ به‌ترتیب بیان‌گر سطح کیفی تحت تأثیر اندک و آلودگی حداقل بود. از اینرو، گرچه در زمان انجام مطالعه، منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن در معرض آلودگی بیش‌تر از حد مجاز به فلزات سنگین نبود، ولی با استفاده بی‌رویه از نهاده‌های کشاورزی و به‌ویژه کودهای شیمیایی سولفات پتاسیم، سوپر فسفات تریپل و سموم شیمیایی محتوی فلزات سنگین به‌وسیله کشاورزان، امکان افزایش غلظت انواع فلزات سنگین در خاک و نفوذ آن‌ها به سفره‌های آب زیرزمینی در میان‌مدت دور از انتظار نخواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی کیفی؛ فلز سنگین؛ حوزه آبخیز؛ منابع آب زیرزمینی؛ نقشه توزیع مکانی.

## ۱- مقدمه

امروزه اهمیت آب شیرین به عنوان مهم ترین عنصر حیات و آبادانی بخصوص در زمینه های توسعه شهری، صنعتی و کشاورزی بر هیچ کس پوشیده نیست. با توجه به جمعیت رو به افزایش جهان به خصوص در کشورهایی که به دلیل کمبود بارش با محدودیت منابع آب سطحی مواجه هستند، بررسی و کنترل کمیت و کیفیت آب، به ویژه منابع آب زیرزمینی به عنوان بخش مهمی از منبع تأمین آب شیرین، می تواند این جوامع را در رویارویی با بحران افت کمی و کیفی آب، یاری کند (Daneshvar 1995; Sobhanardakani et al. 2014a). لذا پایش و کنترل منابع آب زیرزمینی برای مصارف مختلف از جمله آشامیدن و آبیاری محصولات کشاورزی امری ضروری محسوب می شود.

آلودگی محیط زیست علاوه بر تأثیراتی که بر اقتصاد جامعه وارد می کند، به طور مستقیم بر روی سلامت انسان ها، گیاهان و سایر موجودات زنده اثر گذاشته و به صورت میراثی به نسل های آینده منتقل می شود. در این خصوص، از مهم ترین مواردی که امروزه در زیست-بوم ها مشکل ساز شده است، می توان به فلزات سنگین اشاره کرد که به دلیل غیرقابل جذب بودن، پایداری، سمیت، عدم تجزیه پذیری زیستی، نیم عمر طولانی و داشتن اثرات فیزیولوژیکی در غلظت پایین، بر فعالیت جانداران توجه ویژه ای را به خود جلب کرده اند (Mohammadi Roozbahani et al. 2015; Rezaei et al. 2016).

عنصر روی به عنوان یک عنصر حیاتی، نقشی کارکردی-ساختاری در سامانه های زیستی و به ویژه واکنش های رد اکس<sup>۱</sup> ایفا کرده و در مقایسه با سایر فلزات سنگین اثرات حاد کمتری برجای می گذارد (Sobhanardakani et al. 2014b; Hazratzadeh and Sobhanardakani 2018). روی در مقادیر مازاد بر احتیاج، به کاهش پاسخ آنتی بادی های سلول های T، افزایش سلول های پیشرو مغز استخوان و همچنین کاهش تکثیر لنفوسیت های B منجر می شود (Sobhanardakani and Jafari 2014; Sobhanardakani and Jamshidi 2015). سرب

به عنوان یک عنصر غیر ضروری سمی با پراکنش وسیع در محیط، کارکرد زیستی مشخصی نداشته و از قابلیت ایجاد خطر برای زیست مندان و محیط زیست برخوردار است (Sobhanardakani and Jafari 2014; 2017a). این عنصر در فهرست ترکیبات سرطان زای موسسه بین المللی تحقیقات سرطان<sup>۲</sup> در گروه ۲B طبقه بندی شده است و از جمله مهم ترین آثار سمی و مخرب آن می توان به اثر بر دستگاه عصبی مرکزی و اعصاب محیطی، دستگاه گوارش، سیستم کلیوی، سیستم خون ساز و سیستم تولید مثل اشاره کرد (Muhammad et al. 2011; Sobhanardakani et al. 2015). تجمع کادمیم به عنوان یک عنصر غیر ضروری و سمی در بدن می تواند به اختلال سیستم عصبی، اختلال در عملکرد کلیه ها و ریه، پوکی استخوان و ابتلا به فشارخون بالا منجر شود (Özcan and AL Juhaimi 2012; Hosseini et al. 2015). تجمع بیش تر از حد مجاز مس به عنوان یک عنصر غذایی ضروری برای زیست مندان در بافت های بدن نیز می تواند به صدمات مویرگی، اختلال در سیستم اعصاب مرکزی، صدمات کلیوی-کبدی، ناراحتی های شدید مخاطی، کم خونی، افزایش کلسترول و گاهی مرگ منجر شود (Bakirdere and Yaman 2008; Sobhanardakani and Tizhosh 2016).

کیفیت آب یا از طریق عوامل طبیعی و یا به وسیله عوامل مصنوعی (انسان ساخت) تحت تأثیر قرار می گیرد (Jalali 2011; Mansouri 2008; Merrikhpour 2008). در این خصوص، تاکنون چندین شاخص برای ارزیابی منابع آبی اعم از سطحی و زیرزمینی معرفی شده است که از مهم ترین آن ها می توان به شاخص های کیفیت آب NSFQI، OWQI و CWQI که از شاخص های پرکاربرد برای طبقه بندی کیفیت آب های سطحی از لحاظ آشامیدن بوده و با افزایش سطح آلودگی، عدد شاخص آن ها کاهش می یابد و یا به شاخص های آلودگی مانند BCWQI، Liou که با افزایش سطح آلودگی، عدد شاخص آن ها افزایش می یابد، اشاره کرد (Nasirahmadi et al. 2012; Kazemi et al. 2018). از دیگر

<sup>1</sup> Redox<sup>2</sup> IARC

استان همدان واقع در حوزه غربی کشور با زمستان‌های سرد و مرطوب اگرچه از وجود آبراهه‌ها و رودخانه‌های فصلی و دائمی بی‌بهره نیست، لیکن تراکم شبکه آبراهه‌ای و حجم آب‌های سطحی دائمی در این استان در مقایسه با دیگر مناطق کوهستانی کشور مثل مناطق شمالی البرز یا زاگرس مرکزی کم‌تر بوده و به‌ویژه که خشکسالی‌های اخیر نیز به مسئله کم‌آبی و بهره‌برداری روزافزون از منابع آب زیرزمینی دامن زده است. از طرفی ناهم‌هنگی توسعه صنعتی استان در مقایسه با برخی از استان‌های هم‌جوار و بی‌بهره بودن از مراکز صنعتی مطرح و برخورداری از دشت‌های مستعد کشاورزی مانند دشت رزن، منجر به توسعه بیش از پیش کشاورزی به‌عنوان مهم‌ترین تکیه‌گاه اقتصادی و کسب معاش مردم شده است. این در حالی است که استفاده بیش از حد از انواع سموم و کودهای شیمیایی به خطری برای سلامت محیط و به‌ویژه منابع آب زیرزمینی تبدیل شده است. لذا، این پژوهش با هدف ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن همدان در سال ۱۳۹۹ با استفاده از شاخص‌های MI و PoS و بر اساس محتوی عناصر روی، سرب، کادمیم و مس و همچنین بررسی توزیع مکانی عناصر انجام یافت.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی رزن به‌عنوان یکی از دشت‌های حوزه آبخیز قره‌چای با وسعت حوزه آبریز  $4810 \text{ km}^2$  در شمال شرقی استان همدان واقع شده است. دشت رزن از شمال به استان قزوین، از غرب به دشت کبودرآهنگ، از شرق به دشت ساوه و از جنوب به دشت کمیجان اراک محدود است. عمده آب مورد نیاز برای آبیاری مزارع کشاورزی در این محدوده از منابع آب زیرزمینی شامل ۱۱۸۵ حلقه چاه عمیق، ۶۰۳ حلقه چاه نیم عمیق، ۹۶ رشته قنات و ۱۰۴ دهانه چشمه تأمین می‌شود (RWCH 2020).

شاخص‌های کیفی می‌توان به شاخص کیفیت آب یا WQI، شاخص آلودگی<sup>۱</sup>، شاخص فلزات سنگین<sup>۲</sup>، شاخص ارزیابی فلزات سنگین<sup>۳</sup>، شاخص فلزات<sup>۴</sup> و شاخص کیفی PoS<sup>۵</sup> اشاره کرد (Karbassi et al. 2011; Tziritis et al. 2014; Sobhanardakani 2017b) که به‌ویژه از پنج شاخص آخر می‌توان برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی بر اساس مقادیر فلزات سنگین استفاده کرد.

تاکنون در خصوص ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی چندین مطالعه در ایران و سایر کشورها انجام شده است که از جمله می‌توان به پژوهشی که به‌منظور ارزیابی تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی در محدوده آبخوان‌های لنجان-نجف‌آباد اصفهان با استفاده از شاخص IRWQIGC انجام یافت (Torabipoudeh et al. 2020)؛ پژوهشی که با هدف ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان ورامین از نظر قابلیت آشامیدن با استفاده از شاخص‌های HEI و HPI انجام یافت (Nejatijahromi et al. 2018)؛ پژوهشی که با هدف ارزیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت رزن همدان با کاربرد شاخص‌های  $C_d$ ، HPI و HEI در طی فصول بهار و تابستان سال ۱۳۹۱ انجام یافت (Sobhanardakani 2017b)؛ پژوهشی که طی آن به‌منظور ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی استان لرستان نسبت به محاسبه مقادیر شاخص‌های MI و HEI اقدام شد (Khoshnam et al. 2017)؛ پژوهشی که در آن نسبت به ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی اطراف یک منطقه معدنی در هندوستان از طریق محاسبه مقادیر شاخص HPI اقدام شد (Prasad and Sangita 2008) و پژوهشی که طی آن نسبت به ارزیابی کیفی چشمه‌های اطراف یک معدن سنگ‌آهک در پایین‌دست هیمالیا از طریق محاسبه مقادیر شاخص HPI اقدام شد (Prasad and Bose 2001)، اشاره کرد.

<sup>1</sup> Contamination Index ( $C_d$ )

<sup>2</sup> Heavy Metal Pollution Index (HPI)

<sup>3</sup> Heavy Metal Evaluation Index (HEI)

<sup>4</sup> Metal Index (MI)

<sup>5</sup> Poseidon (PoS)

یخدان به آزمایشگاه منتقل شدند (Sobhanardakani et al. 2017).

در آزمایشگاه به منظور تثبیت و جلوگیری از رسوب گذاری عناصر در نمونه ها، به ۲۵ ml از هر نمونه آب، ۱ ml اسید نیتریک غلیظ مرک اضافه کرده و نمونه ها به مدت ۱۰ min روی هیتر در دمای ۵۰ °C در زیر هود قرار داده شدند. سپس نمونه ها به مدت ۱۰ min با دور ملایم (۸۵ rpm) شیک و از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ عبور داده شدند. پس از ساخت محلول مادر (استوک) و استاندارد فلزات و کالیبره کردن دستگاه طیف سنج نشری پلاسمای جفت شده القایی<sup>۱</sup> مدل 710-ES ساخت شرکت Varian، غلظت عناصر روی، سرب، کادمیم و مس به ترتیب در طول موج ۲۰۶/۲۰، ۲۲۰/۳۵، ۲۲۶/۵۰ nm و ۳۲۴/۷۵ در سه تکرار خوانده شد (Sobhanardakani 2016; Alizamir et al. 2018).

#### ۲-۴- محاسبه مقادیر شاخص های کیفی آب

برای محاسبه مقادیر شاخص های PoS و MI از روابط (۱) تا (۳) استفاده شد (Tziritis et al. 2014; Khoshnam et al. 2017; Lou et al. 2017):

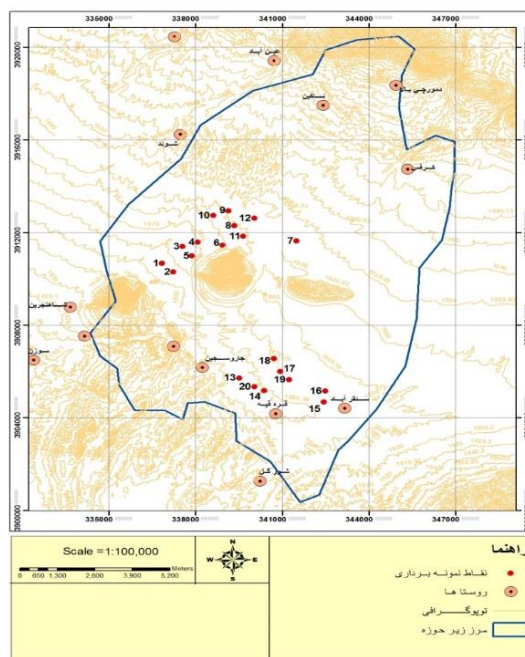
$$PoS = \sum_{j=1}^M Q_{fi} \quad (1)$$

$$Q_{fi} = 10^3 \times [Mi \times Wi] / S_j \quad (2)$$

در روابط (۱) و (۲)،  $M_j$  بیانگر غلظت هر یک از عناصر روی، سرب، کادمیم و مس ( $\mu g/l$ ) و مقادیر EC در نمونه ها ( $\mu S/cm$ ) است.  $W_j$  نشان دهنده میانگین وزنی عناصر روی، سرب، کادمیم و مس و EC در نمونه ها است که در این پژوهش به ترتیب برابر با ۰/۳۷، ۰/۳۷، ۰/۰۷، ۰/۱۴ و ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.  $S_j$  نیز بیانگر بیشینه رواداری عناصر روی، سرب، کادمیم و مس و EC در آب است که در این پژوهش به ترتیب برابر با ۵۰۰۰، ۱۰، ۳ و ۳۰۰۰  $\mu g/l$  و ۱۵۰۰  $\mu S/cm$  در نظر گرفته شد.

$$MI = \sum \frac{CI}{(MAC)} \quad (3)$$

<sup>1</sup> Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES)



شکل ۱- نقشه موقعیت استقرار ایستگاه های نمونه برداری

Fig, 1 Map of sampling sites

#### ۲-۲- انتخاب ایستگاه های نمونه برداری

در این مطالعه توصیفی، پس از انجام مطالعات اولیه کتابخانه ای و میدانی و با در نظر گرفتن پراکندگی یکنواخت ایستگاه ها در سطح منطقه مورد مطالعه و همچنین محدودیت های زمانی و اعتباری، نسبت به انتخاب ۲۰ ایستگاه نمونه برداری و ثبت مختصات جغرافیایی آن ها به وسیله دستگاه GPS ساخت شرکت Garmin اقدام شد. نقشه موقعیت استقرار ایستگاه های نمونه برداری در شکل (۱) ارائه شده است.

#### ۲-۳- نمونه برداری، آماده سازی نمونه ها و تعیین غلظت فلزات

در این پژوهش، ۱۲۰ نمونه آب زیرزمینی در اواسط فصول بهار و تابستان سال ۱۳۹۹ به روش مرکب و با استفاده از ظروف پلی اتیلنی که از قبل به وسیله نیتریک اسید شستشو داده شده بودند، برداشت شد. بدین منظور، ابتدا ظروف را سه بار با آب چاه شست و شو داده و از هر ایستگاه ۲۵۰ ml نمونه آب برداشت شد. مقادیر دما، pH و EC نمونه ها نیز در محل به وسیله دستگاه قابل حمل کالیبره Multi-Parameter قرائت شد. سپس به منظور قرائت محتوی عناصر، نمونه ها در اسرع وقت به وسیله

تی تک‌نمونه‌ای<sup>۶</sup> استفاده شد. از طرفی وجود و یا عدم وجود همبستگی بین پارامترهای کیفی آب نیز به‌وسیله آزمون همبستگی پیرسون<sup>۷</sup> مورد ارزیابی قرار گرفت.

### ۳- یافته‌ها و بحث

نتایج مربوط به قرائت مقادیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در فصول بهار و تابستان سال ۱۳۹۹ به‌ترتیب در جدول (۱) و (۲) ارائه شده است. نتایج آورده شده در جدول (۱) بیان‌گر آن است که بیشینه مقادیر روی، سرب، کادمیم، مس برحسب  $\mu\text{g/l}$  و EC برحسب  $\mu\text{S/cm}$  در نمونه‌های فصل بهار با ۷۵/۲، ۱۳/۳، ۰/۷۷۰، ۷۶/۰ و ۹۱۷ به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱۵، ۵، ۵، ۱ و ۶ بوده است. نتایج آورده شده در جدول (۲) بیان‌گر آن است که بیشینه مقادیر روی، سرب، کادمیم، مس و EC نمونه‌های فصل تابستان با ۷۶/۳، ۱۴/۴، ۰/۸۰۰، ۷۹/۰ و ۹۲۵ به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱۵، ۸، ۹، ۱ و ۶ بوده است.

نتایج بررسی نرمال بودن مقادیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب در نمونه‌های فصول بهار و تابستان نشان داد که توزیع همه پارامترها از چولگی و کشیدگی<sup>۸</sup> نرمال برخوردار بوده است. از طرفی نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نیز نشان داد که با توجه به سطح معنی‌داری (P) بزرگ‌تر از ۰/۰۵، همه داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار بوده‌اند. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه نشان داد که با توجه به حروف مشترک مندرج در ستون مربوط به پارامتر روی نمونه‌های فصل بهار، بین ایستگاه‌های ۲، ۳ و ۹؛ بین ایستگاه‌های ۱ و ۴؛ بین ایستگاه‌های ۵، ۸، ۱۷، ۱۸ و ۲۰؛ بین ایستگاه‌های ۴ و ۱۱؛ بین ایستگاه‌های ۶، ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ و ۱۹ و همچنین بین ایستگاه‌های ۸، ۱۲، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ از حیث میانگین غلظت عنصر روی در نمونه‌های آب تفاوت معنی‌دار آماری وجود نداشته است (جدول ۱).

در رابطه (۳)، CI و MAC به‌ترتیب نشان‌دهنده غلظت هر یک از عناصر روی، سرب، کادمیم و مس در نمونه و بیشینه رواداری هر یک از عناصر هر دو برحسب  $\mu\text{g/l}$  است.

لازم به ذکر است که برحسب مقادیر شاخص‌های MI و PoS، منابع آب زیرزمینی در ۶ طبقه کیفی به‌شرح ذیل ارزیابی می‌شوند: خیلی پاک ( $MI < ۰/۳$ )، پاک ( $۱ \leq MI < ۰/۳$ )، تحت تأثیر اندک ( $۱ < MI \leq ۲$ )، تحت تأثیر متوسط ( $۲ < MI \leq ۴$ )، تحت تأثیر زیاد ( $۴ < MI \leq ۶$ ) و تحت تأثیر شدید ( $MI > ۶$ )؛ پاک-آلودگی حداقل ( $PoS \leq ۱۵۰$ )، آلودگی اندک ( $۱۵۰ < PoS \leq ۳۰۰$ )، آلودگی متوسط ( $۳۰۰ < PoS \leq ۶۰۰$ )، آلودگی زیاد ( $۶۰۰ < PoS \leq ۱۲۰۰$ ) و آلودگی خیلی زیاد ( $PoS > ۱۲۰۰$ ) (Tziritis et al. 2014).

### ۲-۵- تهیه نقشه توزیع مکانی عناصر در منابع آب زیرزمینی

برای تهیه نقشه توزیع مکانی عناصر در محدوده مورد مطالعه از نسخه ۱۰.۲ نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. بدین‌صورت که پس از تهیه بانک اطلاعاتی از نتایج مربوط به قرائت غلظت عناصر، نسبت به تهیه نقشه‌های توزیع مکانی برای هر عنصر به‌روش درون‌یابی وزنی<sup>۱</sup> اقدام شد.

### ۲-۶- پردازش آماری داده‌ها

برای پردازش آماری داده‌ها از نسخه ۲۰ نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد. برای اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف<sup>۲</sup> استفاده شد. برای مقایسه میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی مابین ایستگاه‌ها، فصول نمونه‌برداری و همچنین با بیشینه رواداری WHO و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای مصارف آشامیدن و کشاورزی نیز به‌ترتیب از آزمون‌های آماری تحلیل واریانس بین آزمودنی یک‌طرفه<sup>۳</sup> و به‌دنبال آن آزمون چند دامنه‌ای دانکن<sup>۴</sup>، تی مستقل<sup>۵</sup> و

<sup>1</sup> Inverse Distance Weighted (IDW)

<sup>2</sup> Kolmogorov-Smirnov Test

<sup>3</sup> One-way ANOVA

<sup>4</sup> Duncan Multiple Range Test

<sup>5</sup> Independent T-Test

<sup>6</sup> One Sample T-Test

<sup>7</sup> Pearson Correlation Coefficient

<sup>8</sup> Kurtosis

جدول ۱- مقادیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی در فصل بهار به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری

Table 1 Physicochemical characteristics of groundwater resources in the spring season

| EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | pH         | Temp.( $^{\circ}\text{C}$ ) | Element ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) |             |           |           | Station |
|--------------------------------|------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------|-----------|-----------|---------|
|                                |            |                             | Cu                                 | Cd          | Pb        | Zn        |         |
| 653f                           | 7.60abc    | 1.70abc                     | 76.0k                              | 0.390f      | 2.25a     | 45.8g*    | 1       |
| 712j                           | 7.70abcd   | 1.50a                       | 42.0ghi                            | 0.480hi     | 7.12b     | 19.0a     | 2       |
| 546a                           | 7.90bcde   | 1.60ab                      | 45.0i                              | 0.150ab     | 8.74bc    | 19.3a     | 3       |
| 597c                           | 7.60abc    | 1.90bcd                     | 39.0fgh                            | 0.340e      | 6.39b     | 43.1fg    | 4       |
| 844o                           | 7.80abcde  | 1.70abc                     | 47.0i                              | 0.770k      | 13.29d    | 35.7e     | 5       |
| 917p                           | 8.20e      | 1.80abcd                    | 32.0bcde                           | 0.190bc     | 5.97b     | 29.9bc    | 6       |
| 690h                           | 7.80abcde  | 1.50a                       | 26.0a                              | 0.450h      | 6.44b     | 57.4i     | 7       |
| 759m                           | 7.90bcde   | 1.70abc                     | 60.0j                              | 0.500i      | 12.83d    | 32.6cde   | 8       |
| 599c                           | 7.90bcde   | 1.70abc                     | 44.0hi                             | 0.710j      | 11.22cd   | 18.8a     | 9       |
| 714j                           | 7.70abcd   | 1.80abcd                    | 31.0abcd                           | 0.130a      | 7.58bc    | 28.5b     | 10      |
| 803n                           | 8.10de     | 2.00cd                      | 29.0ab                             | 0.290d      | 7.11b     | 40.9f     | 11      |
| 683g                           | 7.90bcde   | 1.90cd                      | 35.0cdef                           | 0.180bc     | 6.25b     | 31.5bcd   | 12      |
| 589b                           | 7.80abcde  | 1.90bcd                     | 31.0abcd                           | 0.250d      | 8.30bc    | 53.5h     | 13      |
| 611d                           | 7.90bcde   | 2.10d                       | 34.0bcdef                          | 0.390f      | 9.25bc    | 29.8bc    | 14      |
| 734k                           | 8.00cde    | 1.50a                       | 30.0abc                            | 0.200c      | 7.47b     | 75.2j     | 15      |
| 588b                           | 7.70abcd   | 1.60ab                      | 31.0abcd                           | 0.440gh     | 9.10bc    | 28.5bc    | 16      |
| 619e                           | 7.40a      | 1.80abcd                    | 29.0ab                             | 0.400fg     | 5.89b     | 34.8de    | 17      |
| 702i                           | 7.70abcd   | 2.00cd                      | 36.0def                            | 0.190bc     | 7.31b     | 32.6cde   | 18      |
| 741l                           | 7.90bcde   | 1.70abc                     | 30.0abc                            | 0.170abc    | 6.15b     | 31.4bcd   | 19      |
| 696hi                          | 7.50ab     | 1.90bcd                     | 37.0efg                            | 0.130a      | 8.72bc    | 37.1e     | 20      |
| 690±94.5                       | 7.80±0.190 | 1.76±0.170                  | 38.2±12.0                          | 0.340±0.180 | 7.87±2.52 | 36.3±13.7 | Mean    |

\*حروف غیرمشترک (a, b, c و ...) در هر ستون، بیان‌گر تفاوت معنی‌دار آماری ( $p < 0.05$ ) بین ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری از حیث میانگین مقادیر عناصر بر اساس نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (آزمون چند دامنه‌ای دانکن) است.

وجود و یا عدم وجود تفاوت معنی‌دار آماری بین ایستگاه‌ها از حیث میانگین مقادیر سایر عناصر و پارامترهای مورد مطالعه در نمونه‌های آب را نیز می‌توان با توجه به حروف مندرج در جدول (۱) تفسیر کرد. از طرفی با توجه به حروف مشترک مندرج در ستون مربوط به پارامتر روی نمونه‌های فصل تابستان، بین ایستگاه‌های ۱، ۴ و ۱۱؛ بین ایستگاه‌های ۲، ۳ و ۹؛ بین ایستگاه‌های ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۹؛ بین ایستگاه‌های ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۶، ۱۸ و ۱۹؛ بین ایستگاه‌های ۶، ۸، ۱۲، ۱۶، ۱۷ و ۱۸؛ بین ایستگاه‌های ۵، ۸، ۱۲، ۱۷، ۱۸ و ۱۹؛ و همچنین بین ایستگاه‌های ۵، ۸، ۱۲، ۱۷، ۱۸ و ۲۰ از حیث میانگین غلظت عنصر روی در نمونه‌های آب تفاوت معنی‌دار آماری وجود نداشته است (جدول ۲).

وجود و یا عدم وجود تفاوت معنی‌دار آماری بین ایستگاه‌ها از حیث میانگین مقادیر سایر عناصر و پارامترهای مورد مطالعه در نمونه‌های آب را نیز می‌توان با توجه به حروف مندرج در جدول (۲) تفسیر کرد.

نتایج آزمون تی مستقل نشان داد که با توجه به سطح معنی‌داری کوچک‌تر از ۰/۰۵، فقط میانگین مقادیر دما در نمونه‌های آب زیرزمینی بین فصول بهار و تابستان ۱۳۹۹ اختلاف معنی‌دار آماری با یکدیگر داشته‌اند.

از طرفی نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که در نمونه‌های آب فصل بهار بین عناصر کادمیم و سرب و همچنین بین pH و EC با ضریب همبستگی به ترتیب برابر با ۰/۵۱۷ و ۰/۴۸۸ هر دو در سطح معنی‌داری کوچک‌تر از ۰/۰۵ (به ترتیب برابر با ۰/۰۲۰ و ۰/۰۲۹) همبستگی مثبت و معنی‌دار آماری وجود داشته است.

در حالی که در نمونه‌های آب فصل تابستان بین عناصر کادمیم و مس با ضریب همبستگی برابر با ۰/۴۵۴ در سطح معنی‌داری کوچک‌تر از ۰/۰۵ (۰/۰۴۴) و همچنین بین pH و EC با ضریب همبستگی برابر با ۰/۵۸۱ در سطح معنی‌داری کوچک‌تر از ۰/۰۱ (۰/۰۰۷) همبستگی مثبت و معنی‌دار آماری وجود داشته است.

جدول ۲- مقادیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی در فصل تابستان به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری

Table 2 Physicochemical characteristics of groundwater resources in the summer season

| EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | pH         | Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Element ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) |             |           |            | Station |
|--------------------------------|------------|------------------------------|------------------------------------|-------------|-----------|------------|---------|
|                                |            |                              | Cu                                 | Cd          | Pb        | Zn         |         |
| 689e                           | 7.50a      | 2.20a                        | 79.0i                              | 0.570bcd    | 3.17a     | 47.2g      | 1       |
| 734g                           | 7.70abc    | 2.10a                        | 48.0g                              | 0.660cd     | 7.49b     | 23.6a      | 2       |
| 583a                           | 7.60ab     | 1.90a                        | 49.0g                              | 0.310ab     | 9.15b     | 22.1a      | 3       |
| 613b                           | 7.70abc    | 2.10a                        | 42.0f                              | 0.400abc    | 7.48b     | 45.2g      | 4       |
| 879l                           | 7.90abc    | 2.00a                        | 49.0g                              | 0.790abc    | 14.0d     | 37.9ef     | 5       |
| 925m                           | 8.00bc     | 2.10a                        | 37.0cde                            | 0.370abc    | 6.73b     | 32.1bcd    | 6       |
| 711f                           | 7.90abc    | 1.90a                        | 31.0ab                             | 0.590bcd    | 7.11b     | 59.2h      | 7       |
| 788j                           | 8.00bc     | 1.90a                        | 68.0h                              | 0.620bcd    | 14.4d     | 35.3cdef   | 8       |
| 632c                           | 7.80abc    | 2.00a                        | 50.0g                              | 0.800d      | 13.3cd    | 24.0a      | 9       |
| 760h                           | 7.80abc    | 2.20a                        | 39.0def                            | 0.250ab     | 7.91b     | 30.7bc     | 10      |
| 838k                           | 8.00bc     | 2.20a                        | 30.0a                              | 0.340ab     | 9.17b     | 44.2g      | 11      |
| 695e                           | 7.90abc    | 2.10a                        | 40.0ef                             | 0.290ab     | 6.77b     | 34.1bcdef  | 12      |
| 608b                           | 7.70abc    | 2.00a                        | 36.0cde                            | 0.300ab     | 9.00b     | 55.5h      | 13      |
| 675d                           | 8.00bc     | 2.30a                        | 37.0cde                            | 0.450abcd   | 9.96bc    | 29.5b      | 14      |
| 777i                           | 8.10c      | 1.90a                        | 31.0ab                             | 0.270ab     | 8.12b     | 76.3i      | 15      |
| 590a                           | 7.80abc    | 1.90a                        | 31.0ab                             | 0.490abcd   | 10.3bc    | 32.4bcd    | 16      |
| 676d                           | 7.50a      | 2.00a                        | 34.0ab                             | 0.470abcd   | 6.80b     | 37.3def    | 17      |
| 755h                           | 7.80abc    | 2.30a                        | 43.0def                            | 0.260ab     | 8.25b     | 35.4cdef   | 18      |
| 790j                           | 7.90abc    | 2.00a                        | 35.0abc                            | 0.230a      | 7.10b     | 33.3bcde   | 19      |
| 709f                           | 7.70abc    | 2.20a                        | 39.0efg                            | 0.200a      | 9.94bc    | 39.3f      | 20      |
| 721±94.6                       | 7.81±0.170 | 2.06±0.130                   | 42.4±12.5                          | 0.430±0.180 | 8.80±2.70 | 38.7±13.16 | Mean    |

MI در فصل تابستان نشان داد که کیفیت آب ۵۵٪ از ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طبقه پاک و کیفیت آب ۴۵٪ از ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طبقه تحت تأثیر اندک قرار داشته و به‌طور کلی میانگین مقادیر شاخص با ۱/۰۵ نشان‌دهنده آلودگی اندک منابع آب زیرزمینی بوده است. همچنین، نتایج محاسبه شاخص PoS در فصل تابستان نیز همانند فصل بهار نشان داد که کیفیت آب همه (۱۰۰٪) ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طبقه آلودگی حداقل قرار داشته و به‌طور کلی میانگین مقادیر شاخص با ۰/۴۱ نشان‌دهنده حداقل آلودگی منابع آب زیرزمینی بوده است.

نتایج پهنه‌بندی میانگین غلظت عناصر روی، سرب، کادمیم و مس در حوزه آبخیز رزن در فصول بهار و تابستان ۱۳۹۹ در شکل‌های (۲) تا (۵) ارائه شده است.

نتایج محاسبه شاخص‌های MI و PoS به‌منظور ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به تفکیک فصول بهار و تابستان در جدول (۳) ارائه شده است. مقادیر شاخص MI مربوط به فصل بهار نشان داد که کیفیت آب ۷۵٪ از ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طبقه پاک و کیفیت آب ۲۵٪ از ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طبقه تحت تأثیر اندک قرار داشته و به‌طور کلی میانگین مقادیر شاخص با ۰/۹۲ نشان‌دهنده عدم آلودگی منابع آب زیرزمینی بوده است. از طرفی، نتایج محاسبه شاخص PoS در فصل بهار نیز نشان داد که کیفیت آب همه (۱۰۰٪) ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طبقه آلودگی حداقل قرار داشته و به‌طور کلی میانگین مقادیر شاخص با ۰/۳۶ نشان‌دهنده حداقل آلودگی منابع آب زیرزمینی بوده است. این در حالی است که نتایج محاسبه شاخص

نقشه توزیع مکانی عنصر روی در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان داد که دامنه غلظت‌های بیشینه این عنصر در فصل بهار با  $50-60 \mu\text{g/l}$  و  $60 >$  (شکل ۲ الف) و در فصل تابستان با  $65-75 \mu\text{g/l}$  و  $75 >$  (شکل ۲ ب) هر دو به صورت لکه‌ای و مربوط به مرکز و جنوب شرق دشت بوده است. همچنین نقشه توزیع مکانی عنصر سرب در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان داد که دامنه غلظت‌های بیشینه این عنصر در فصل بهار با  $5/5-7/12$  و  $12/5 >$  (شکل ۳ الف) و در فصل تابستان با  $8-12 \mu\text{g/l}$  و  $12 >$  (شکل ۳ ب) هر دو به صورت لکه‌ای و مربوط به مرکز و جنوب دشت بوده است.

جدول ۳- نتایج محاسبه شاخص‌های ارزیابی کیفی آب به تفکیک فصل نمونه‌برداری

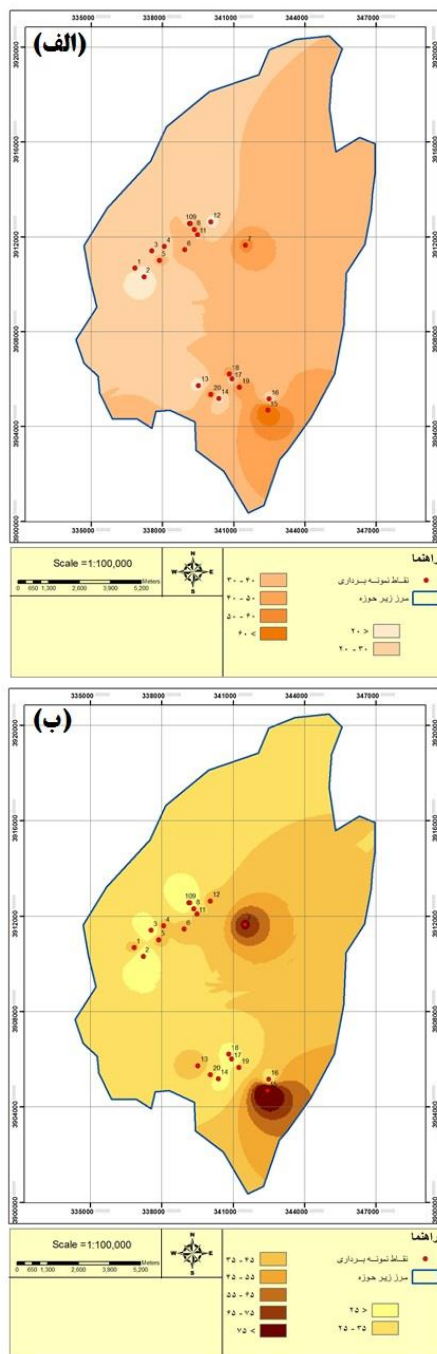
Table 3 The values of qualitative indices of groundwater resources in the spring and the summer seasons

| Station | Spring |                |       |                | Summer |                |       |                |
|---------|--------|----------------|-------|----------------|--------|----------------|-------|----------------|
|         | MI     | Water Quality  | PoS   | Water Quality  | MI     | Water Quality  | PoS   | Water Quality  |
| 1       | 0.400  | پاک            | 0.160 | پاک            | 0.550  | پاک            | 0.210 | پاک            |
| 2       | 0.900  | پاک            | 0.350 | پاک            | 1.00   | پاک            | 0.380 | پاک            |
| 3       | 0.950  | پاک            | 0.360 | پاک            | 1.05   | تحت تأثیر اندک | 0.400 | تحت تأثیر اندک |
| 4       | 0.780  | پاک            | 0.300 | پاک            | 0.910  | پاک            | 0.350 | پاک            |
| 5       | 1.62   | تحت تأثیر اندک | 0.620 | تحت تأثیر اندک | 1.69   | تحت تأثیر اندک | 0.650 | تحت تأثیر اندک |
| 6       | 0.680  | پاک            | 0.280 | پاک            | 0.820  | پاک            | 0.330 | پاک            |
| 7       | 0.820  | پاک            | 0.320 | پاک            | 0.930  | پاک            | 0.360 | پاک            |
| 8       | 1.49   | تحت تأثیر اندک | 0.560 | تحت تأثیر اندک | 1.69   | تحت تأثیر اندک | 0.640 | تحت تأثیر اندک |
| 9       | 1.38   | تحت تأثیر اندک | 0.520 | تحت تأثیر اندک | 1.62   | تحت تأثیر اندک | 0.610 | تحت تأثیر اندک |
| 10      | 0.820  | پاک            | 0.320 | پاک            | 0.900  | پاک            | 0.350 | پاک            |
| 11      | 0.830  | پاک            | 0.330 | پاک            | 1.05   | تحت تأثیر اندک | 0.410 | تحت تأثیر اندک |
| 12      | 0.710  | پاک            | 0.280 | پاک            | 0.800  | پاک            | 0.310 | پاک            |
| 13      | 0.940  | پاک            | 0.360 | پاک            | 1.03   | تحت تأثیر اندک | 0.390 | تحت تأثیر اندک |
| 14      | 1.10   | تحت تأثیر اندک | 0.410 | تحت تأثیر اندک | 1.17   | تحت تأثیر اندک | 0.450 | تحت تأثیر اندک |
| 15      | 0.840  | پاک            | 0.330 | پاک            | 0.930  | پاک            | 0.360 | پاک            |
| 16      | 1.10   | تحت تأثیر اندک | 0.410 | تحت تأثیر اندک | 1.21   | تحت تأثیر اندک | 0.460 | تحت تأثیر اندک |
| 17      | 0.740  | پاک            | 0.290 | پاک            | 0.860  | پاک            | 0.330 | پاک            |
| 18      | 0.820  | پاک            | 0.320 | پاک            | 0.940  | پاک            | 0.360 | پاک            |
| 19      | 0.690  | پاک            | 0.270 | پاک            | 0.810  | پاک            | 0.320 | پاک            |
| 20      | 0.940  | پاک            | 0.360 | پاک            | 1.09   | تحت تأثیر اندک | 0.420 | تحت تأثیر اندک |
| Mean    | 0.920  | پاک            | 0.360 | پاک            | 1.05   | تحت تأثیر اندک | 0.410 | تحت تأثیر اندک |

از طرفی نقشه توزیع مکانی عنصر کادمیم در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان داد که دامنه غلظت‌های بیشینه این عنصر در فصل بهار با  $7-75 \mu\text{g/l}$  و  $75 >$  (شکل ۵ الف) و در فصل تابستان با  $65-75 \mu\text{g/l}$  و  $75 >$  (شکل ۵ ب) هر دو به صورت لکه‌ای و مربوط به مرکز و جنوب دشت بوده است.

محتوی فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی به عوامل متعددی وابسته است که از آن جمله می‌توان به نوع، میزان و زمان کوددهی یا آفت‌کش‌های مورد استفاده، شرایط اقلیمی منطقه، زمان برداشت نمونه‌ها، سطح سفره‌های آب زیرزمینی (سطح ایستایی)، pH آب و جنس سازندهای در برگیرنده (ساختار زمین‌شناسی) منطقه اشاره کرد. همچنین غلظت فلزات سنگین در طول

معنی‌داری ۵٪ با حد مجاز اختلاف آماری داشته و کوچک‌تر از مقادیر بیشینه رواداری بوده است.



شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی میانگین غلظت عنصر روی در منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن در الف) فصل بهار و ب) فصل تابستان

Fig. 2 Spatial distribution of Zn in the groundwater resources of Razan watershed in a) spring season b) summer season

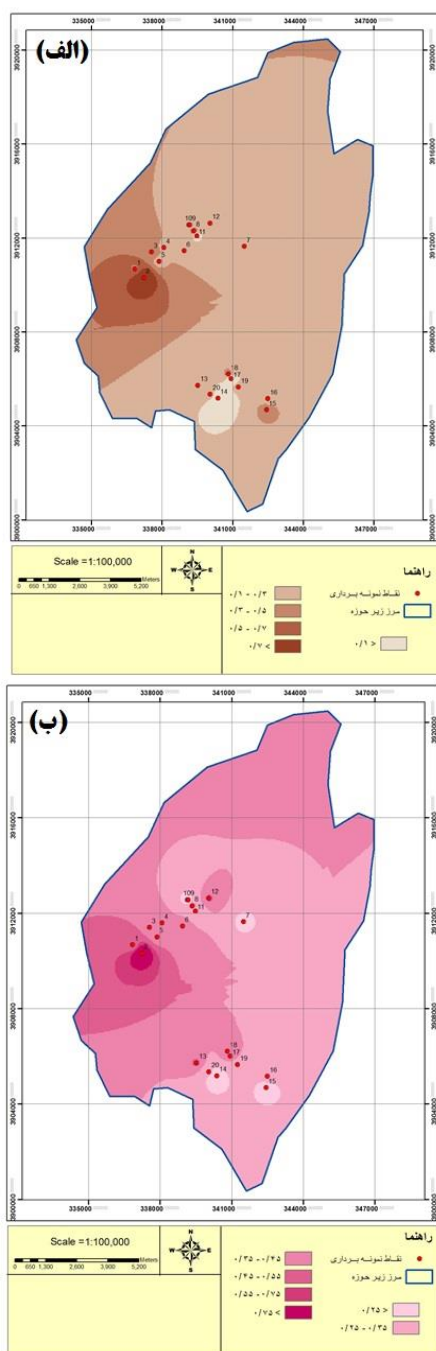
در این خصوص، نتایج پژوهش‌های انجام یافته برای ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت‌های رزن، قهاوند،

زمان تغییر کرده و چاه‌های موجود در یک محل می‌تواند به‌طور گسترده دارای غلظت‌های متفاوتی از فلزات باشند. در واقع غلظت فلزات سنگین در چاه‌ها، مرتبط با محل و عمق چاه‌ها بوده و در چاه‌های کم‌عمق‌تر در نواحی مشخص زمین‌شناسی غلظت فلزات بیش‌تر است (Sobhanardakani et al. 2014b; et al. 2012; Rajaei et al. 2003).

کانی‌های اسفالریت و اسمیت سونیت، همی‌مورفیت اولیوین، ماگنتیت، گالن، آمفیبول، بیوتیت و پلاژیوکلاز حاوی عنصر روی هستند؛ توده‌های گرانیتی واجد کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، زیرکن، آمفیبول، اورتوز، فلدسپات پتاسیم به‌عنوان کانی حامل سرب و بیوتیت، ماگنتیت، زیرکن به‌عنوان کانی‌های تمرکز دهنده سرب محسوب می‌شوند. همچنین مس در یک سنگ نفوذی گرانیتی یا گرانودیوریتی واجد کانی‌های اولیوین، ماگنتیت، پیروکسن، کالکوپیریت، اورتوز، بیوتیت، کوارتز و آمفیبول موجود است و همچنین می‌تواند در کانی‌های بیوتیت، آمفیبول جانشین شود و یا به‌صورت رگه‌های سولفیدی یافت شود. همچنین سنگ‌های آهک‌رسی حاوی عناصر مس و سرب بوده و کانی آهک‌رس حاوی عناصر کادمیم، مس و روی است (Sobhanardakani et al. 2014a,b). لذا با توجه به ساختار زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که عمدتاً از سنگ تراس، سنگ‌آهک، آهک‌رس و توف و سنگ‌های دگرگونی است (Sobhanardakani et al. 2014b)، می‌توان ورود عناصر و به‌ویژه روی به منابع آب زیرزمینی را تا حدودی با انحلال بخشی از عناصر موجود در سنگ‌ها و کانی‌های حوزه در اثر آبیاری و یا بارندگی مرتبط دانست.

نتایج نشان داد که بین فصول نمونه‌برداری از حیث میانگین محتوی عنصر روی در منابع آب زیرزمینی اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشته است. همچنین نتایج مقایسه میانگین غلظت عنصر روی ( $\mu\text{g/l}$ ) در منابع آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه در فصول بهار (۳۶/۳) و تابستان (۳۸/۷) (جداول ۱ و ۲) با بیشینه رواداری WHO و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای آب آشامیدنی و آبیاری نشان داد که میانگین غلظت این عنصر در نمونه‌های مربوط به هر دو فصل در سطح

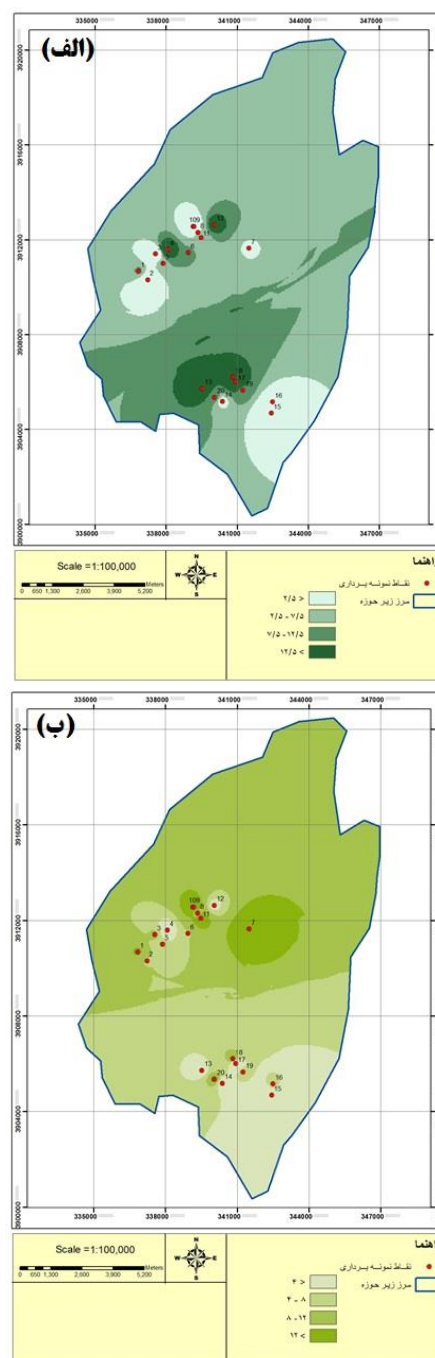
تویسرکان و اسدآباد همدان در سال ۱۳۹۱ نیز مؤند این موضوع بود (Sobhanardakani et al., 2014a,b,c,2016).



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی میانگین غلظت عنصر کادمیم در منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن در (الف) فصل بهار و (ب) فصل تابستان

Fig. 4 Spatial distribution of Cd in the groundwater resources of Razan watershed (a) spring season (b) summer season

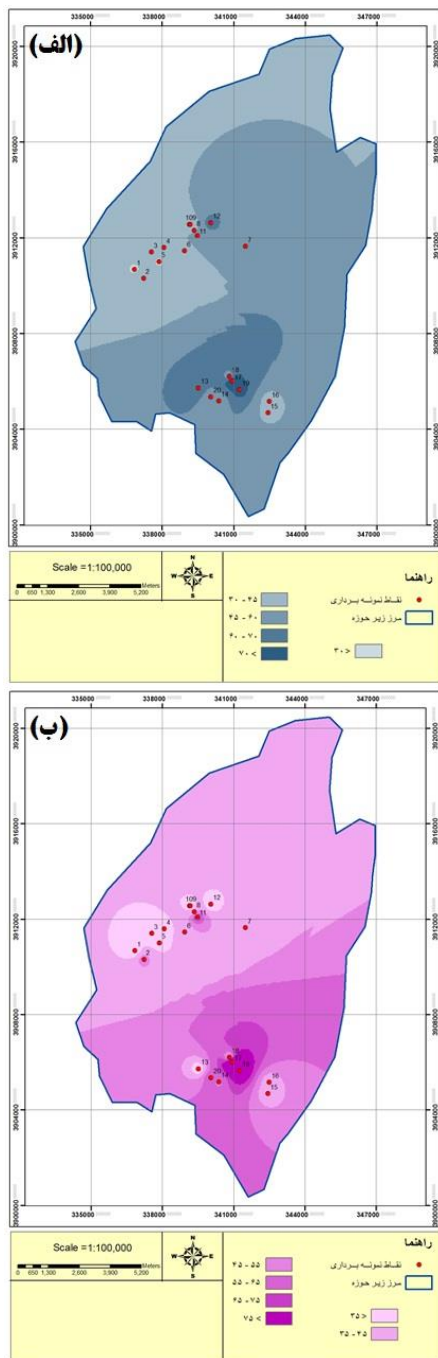
نتایج نشان داد که بین فصول نمونه‌برداری از حیث میانگین محتوی عنصر سرب در منابع آب زیرزمینی اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشته است. از طرفی میانگین غلظت عنصر سرب ( $\mu\text{g/l}$ ) در منابع آب



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی میانگین غلظت عنصر سرب در منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن در (الف) فصل بهار و (ب) فصل تابستان

Fig. 3 Spatial distribution of Pb in the groundwater resources of Razan watershed in (a) spring season (b) summer season

عنصر مس در نمونه‌های مربوط به هر دو فصل در سطح معنی‌داری ۵٪ با حد مجاز اختلاف آماری داشته و کوچک‌تر از مقادیر بیشینه رواداری بوده است.



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی میانگین غلظت عنصر مس در منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن در فصل الف) بهار و ب) تابستان

Fig. 5 Spatial distribution of Cu in the groundwater resources of Razan watershed in a) spring and b) summer season

زیرزمینی محدوده مورد مطالعه در فصول بهار (۷/۸۷) و تابستان (۸/۸۰) (جداول ۱ و ۲) در سطح معنی‌داری ۵٪ با حد مجاز اختلاف آماری داشته و برای هر دو فصل کوچک‌تر از مقادیر بیشینه رواداری بوده است. در این خصوص، نتایج چند تحقیق انجام‌یافته در سال ۱۳۹۱ در رابطه با تعیین محتوی عنصر سرب در منابع آب زیرزمینی حوزه‌های آبخیز مهم استان همدان از جمله رزن، قهاوند، تویسرکان و اسدآباد نشان داد که میانگین غلظت این عنصر کوچک‌تر از مقادیر بیشینه رواداری WHO و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای آب آشامیدن و آبیاری بوده است (Sobhanardakani et al., 2014a,c, 2015, 2016).

بعلاوه، نتایج نشان داد که بین فصول نمونه‌برداری از حیث میانگین محتوی عنصر کادمیم در منابع آب زیرزمینی اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشته است. از طرفی، نتایج مقایسه میانگین غلظت عنصر کادمیم در منابع آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه در فصول بهار (۰/۳۴) و تابستان (۰/۴۳) (جداول ۱ و ۲) با بیشینه رواداری WHO و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای آب آشامیدن و آبیاری نشان داد که میانگین غلظت این عنصر در نمونه‌های مربوط به هر دو فصل در سطح معنی‌داری ۵٪ با حد مجاز اختلاف آماری داشته و کوچک‌تر از مقادیر بیشینه رواداری بوده است. لازم به ذکر است که نتایج تحقیقات انجام‌یافته در خصوص تعیین محتوی کادمیم در منابع آب زیرزمینی حوزه‌های آبخیز رزن و اسدآباد در سال ۱۳۹۱ نیز مؤید این موضوع بود (Sobhanardakani et al. 2015, 2016).

با استناد به نتایج حاصل، بین فصول نمونه‌برداری از حیث میانگین محتوی عنصر مس در منابع آب زیرزمینی اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشته است. همچنین نتایج مقایسه میانگین غلظت عنصر مس ( $\mu\text{g/l}$ ) در منابع آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه در فصول بهار (۳۸/۲) و تابستان (۴۲/۴) (جداول ۱ و ۲) با بیشینه رواداری WHO و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای آب آشامیدن و آبیاری نشان داد که میانگین غلظت

زمین‌های کشاورزی و به تبع آن روان‌شویی سرب به منابع آب زیرزمینی شود (Atafar et al. 2010; Boudaghi et al. 2012)، غافل شد.

ارزیابی توزیع مکانی محتوی عناصر روی، سرب، کادمیم و مس در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه (نقشه‌های ۲ تا ۵) نشان داد که محتوی عناصر با شیب ملایم از شمال به جنوب حوزه افزایش یافته و دامنه غلظت‌های بیشینه آن‌ها به صورت لکه‌ای و بیش‌تر مربوط بخش‌های مرکز، جنوب، غرب و جنوب شرق دشت بوده است. این موضوع را می‌توان با شیب عمومی حوزه آبخیز رزن یعنی شمال به جنوب (Sobhanardakani et al. 2015; Sobhanardakani et al. 2014b) مرتبط دانست.

#### ۴- نتیجه‌گیری

۱- میانگین مقادیر عناصر روی، سرب، کادمیم و مس در منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن کوچک‌تر از بیشینه رواداری WHO و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای مصارف آشامیدن و کشاورزی بود.

۲- محاسبه شاخص‌های MI و PoS نشان داد که کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در زمان مطالعه برای استحصال و مصرف با مشکل مواجه نیست.

۳- با توجه به سطح زیرکشت وسیع محصول سیب‌زمینی و انواع صیفی‌جات در منطقه، استفاده بی‌رویه از نهاده‌های کشاورزی و به‌ویژه کودهای شیمیایی سولفات پتاسیم، سوپر فسفات تریپل و سموم شیمیایی محتوی آرسنیک، مس و کروم به‌وسیله کشاورزان، امکان افزایش غلظت انواع فلزات سنگین در خاک و نفوذ آن‌ها به سفره‌های آب زیرزمینی در اثر آبیاری و نزولات جوی در میان‌مدت دور از انتظار نخواهد بود.

در نهایت با استناد به نتایج این تحقیق برای حفظ سلامت شهروندان، پایش دوره‌ای کیفیت منابع آب زیرزمینی توصیه می‌شود.

با توجه به این‌که آب مهم‌ترین حلال معدنی است، حل شدن مواد معدنی و عناصر فلزی در آب هر منطقه اجتناب‌ناپذیر است؛ بنابراین، هر نمونه آب مربوط به هر منطقه جغرافیایی در برگیرنده ترکیبات و بخصوص املاح و مواد معدنی آن منطقه خواهد بود. حل شدن کاتیون‌های فلزی مانند سرب، کادمیم و مس در آب به آن خاصیت قلیایی بخشیده و pH آب از ۷ تجاوز خواهد کرد. در حالی‌که حل شدن آنیون‌ها نظیر هالیدها (فلوئور، کلر و ید) به آب خاصیت اسیدی می‌دهد (Mohammadi et al. 2011). لذا، افزایش pH (متوسط تا قلیایی) سبب کاهش تحرک و افزایش جذب کاتیون‌ها توسط کلونیدهای خاک می‌شود (Hassanzadeh et al. 2011). از آن‌جا که نتایج محاسبه ضریب همبستگی پیرسون، مشخص کرد که در هیچ‌کدام از فصول نمونه‌برداری همبستگی معنی‌دار آماری در سطوح ۱٪ و ۵٪ بین مقادیر دما و pH با میانگین محتوی عناصر روی، سرب، کادمیم و مس در نمونه‌های آب زیرزمینی وجود نداشته است، لذا می‌توان چنین استنباط کرد که احتمالاً تغییرات دما یا pH تأثیری در تجمع عناصر در منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن نداشته است.

نتایج محاسبه شاخص MI (جدول ۳) نشان داد که ۲۵٪ و ۴۵٪ از نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به ترتیب در فصول بهار و تابستان سال ۱۳۹۹ از نظر کیفی مربوط به طبقه تحت تأثیر اندک بودند. این موضوع را می‌توان با محتوی عنصر سرب در نمونه‌ها مرتبط دانست. بدین معنی که عنصر با استناد به مقادیر محاسبه‌شده شاخص MI، سرب بیش‌ترین نقش را در افت کیفی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز رزن داشته است. لذا، ضمن آن‌که می‌توان به نقش احتمالی ساختار زمین‌شناسی منطقه در انحلال سرب در منابع آب زیرزمینی اشاره کرد، نباید از مصرف بی‌رویه نهاده‌های کشاورزی و به‌ویژه کودهای شیمیایی سولفات پتاسیم و سوپر فسفات تریپل به‌وسیله کشاورزان منطقه که می‌تواند منجر به تجمع مقادیر قابل توجه سرب در خاک

## References

- Alizamir M. and Sobhanardakani S. (2018). An artificial neural network - particle swarm optimization (ANN-PSO) approach to predict heavy metals contamination in groundwater resources. *Jundishapur J. Health Sci.*, 10(2), e67544.
- Atafar Z., Mesdaghinia A., Nouri J., Homaee M., Yunesian M., Ahmadimoghaddam M. and Mahvi, A. H. (2010). Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environ. Monit. Assess.*, 160(1), 83-89.
- Bakirdere S. and Yaman M. (2008). Determination of lead, cadmium and copper in roadside soil and plants in Elazig, Turkey. *Environ. Monit. Assess.*, 136(1-3), 401-410.
- Boudaghi H., Yonesian M., Mahvi A. H., Ali Mohammadi M., Dehghani M. H. and Nazmara S. (2012). Cadmium, lead and arsenic concentration in soil and underground water and its relationship with chemical fertilizer in paddy soil. *J Mazandaran Univ. Med. Sci.*, 21(1), 20-28 [In Persian].
- Daneshvar N. (1995). *Water Chemistry*. University of Tehran Press. 414 pp [In Persian].
- Geen V., Zheng Y. and Versteeg R. (2003). Spatial variability of arsenic in 6000 tube wells in a 25 km<sup>2</sup> area in Bangladesh. *Water Res. Res.*, 39(5), 1140-1156.
- Hassanzadeh R., Abbasnejad A. and Ali Hamzeh M. (2011). Assessment of groundwater pollution in Kerman urban areas. *J. Environ. Stud.*, 36(56), 101-110 [In Persian].
- Hazratzadeh Sh. and Sobhanardakani S. (2018). Assessment of Zn, Pb, Cd, and Cu contamination in surface soils of urban parks in city of Hamedan. *Iran. J. Soil Res.*, 32(3), 399-413 [In Persian].
- Hosseini, S. V., Sobhanardakani S., Kolangi Miandare H., Harsij M. and Regenstein J. M. (2015). Determination of toxic (Pb, Cd) and essential (Zn, Mn) metals in canned tuna fish produced in Iran. *J. Environ. Health Sci. Eng.*, 13, 59.
- Jalali M. and Merrikhpour H. (2008). Effects of poor quality irrigation waters on the nutrient leaching and groundwater quality from sandy soil. *Environ. Geol.*, 53(6), 1289-1298.
- Karbassi A. R., Mir Mohammad Hosseini F., Baghvand A. and Nazariha M. (2011). Development of Water Quality Index (WQI) for Gorganrood River. *Int. J. Environ. Res.*, 5(4), 1041-1046.
- Kazemi P., Shariati F. and Keshavars Shokri A. (2018). Langroud River water quality assessment using NSFQI qualitative indicators. *Environ. Sci.*, 16(3), 65-78 [In Persian].
- Keyvani N. (2004). *Environmental Criterias and Standards in the Field of Human Environment*. Department of the Environment of Iran Publication. 158 pp [In Persian].
- Khoshtam Z., Sarikhani R., Ghassemi Dehnavi A. and Ahmadnejad Z. (2017). Evaluation of water quality using heavy metal index and multivariate statistical analysis in Lorestan Province, Iran. *J. Adv. Environ. Health Res.*, 5, 29-37.
- Lou S., Liu S., Dai C., Tao A., Tan B., Ma G., Sergeevich Chalov R. and Romanovich Chalov S. (2017). Heavy metal distribution and groundwater quality assessment for a coastal area on a Chinese Island. *Pol. J. Environ. Stud.*, 26(2), 733-745.
- Mansouri N. (2011). *Environmental Pollution (Air, Water, Solid Waste and Noise)*. Arad Publication, 472 pp [In Persian].
- Mohammadi M., Mohammadi Ghaleney M. and Ebrahimi K. (2011). Spatial and temporal variations of groundwater quality of Qazvin Plain. *Iran. Water Res. J.*, 5(8), 41-52 [In Persian].

- Mohammadi Roozbahani M., Sobhanardakani S., Karimi H. and Sorooshnia R. (2015). Natural and anthropogenic source of heavy metals pollution in the soil samples of an industrial complex; a case study. Iran. J. Toxicol., 29, 1336-1341.
- Muhammad S., Tahir Shah M. and Khan S. (2011). Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan. Microchem. J., 98(2), 334-343.
- Nasirahmadi K., Yousefi Z. and Tarassoli A. (2012). Zoning of water quality on Haraz river bases on National Sanitation Foundation Water Quality Index. J. Mazandaran Univ. Med. Sci., 22(92), 64-71 [In Persian].
- Nejatijahromi Z., Nassery H., Nakhaei M. and Alijani F. (2018). Assessment of the quality of groundwater for drinking purposes in Varamin aquifer: heavy metals contamination. Iran. J. Health Environ., 10(4), 559-572 [In Persian].
- Özcan M. M. and AL Juhaimi F. Y. (2012). 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., 184, 2373-2375.
- Prasad B. and Bose J. M. (2001). Evaluation of the heavy metal pollution index for surface and spring water near a Limestone mining area of the lower Himalayas. Environ. Geol., 41(1-2), 183-188.
- Prasad B. and Sangita K. (2008). Heavy Metal Pollution Index of ground water of an abandoned open cast mine filled with fly Ash: a case study. Mine Water Environ., 27(4), 265-267.
- Rajaei Q., Pourkhabbaz A. and Hesari Motlagh S. (2012). Assessment of heavy metals health risk of groundwater in Ali Abad Katoul Plain. J. North Khorasan Univ. Med. Sci., 2012; 4(2), 155-162 [In Persian].
- Regional Water Company of Hamedan (RWCH). (2020). Statistics and Information of Water Resources of the Hamedan Province. 28 pp.
- Rezaei Raja O., Sobhanardakani S. and Cheraghi M. (2016). Health risk assessment of citrus contaminated with heavy metals in Hamedan City, potential risk of Al and Cu. Environ. Health Eng. Manage. J., 3(3), 131-135.
- Sobhanardakani S. (2017). Tuna fish and common kilka: Health risk assessment of metal pollution through consumption of canned fish in Iran. J. Consum. Protect. Food Saf., 12(2), 157-163.
- Sobhanardakani S. (2017). 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., 4(4), 33-45 [In Persian].
- Sobhanardakani S. and Jafari S. M. (2014). 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., 4(2), 47-54.
- Sobhanardakani S., Razban S. and Maanijou M. (2014a). Evaluation of concentration of some heavy metals in ground water resources of Qahavand Plain-Hamedan. J. Kermanshah Univ. Med. Sci., 18 (6), 339-348 [In Persian].
- Sobhanardakani S., Jamali M. and Maanijou M. (2014b). 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., 16(261), 25-38 [In Persian].
- Sobhanardakani S., Talebiani S. and Maanijou M. (2014c). 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., 24(114), 120-130 [In Persian].
- Sobhanardakani S. and Jamshidi K. (2015). Assessment of metals (Co, Ni and Zn)

- content in the sediments of Mighan Wetland using geo-accumulation index. Iran. J. Toxicol., 30, 1386-1390.
- Sobhanardakani S., Maanijou M. and Asadi H. (2015). Investigation of Pb, Cd, Cu and Mg concentrations in groundwater resources of Razan Plain. Sci. J. Hamadan Univ. Med. Sci., 21(4), 319-329 [In Persian].
- Sobhanardakani S. and Tizhosh M. (2016). Determination of Zn, Pb, Cd and Cu contents in raw milk from Khorram-Abad dairies. J. Food Hyg., 6(222), 43-50 [In Persian].
- Sobhanardakani S., Yari A. R., Taghavi L. and Tayebi L. (2016). Water quality pollution indices to assess the heavy metal contamination, Case study: Groundwater resources of Asadabad Plain in 2012. Arch. Hyg. Sci., 5(4), 221-228.
- Sobhanardakani S., Taghavi L., Shahmoradi B. and Jahangard A. (2017). Groundwater quality assessment using the water quality pollution indices in Toyserkan Plain. Environ. Health Eng. Manage. J., 4(1), 21-27.
- Torabipoudeh H., Yonesi H., Haghizadeh A. and Arshia A. (2020). Assessment of groundwater quality changes and evaluation of IRWQIGC in Lenjanat-Najafabad Aquifers area. Desert Ecosys. Eng. J., 8(25), 53-66 [In Persian].
- Tziritis E., Panagopoulos A. and Arampatzis G. (2014). Development of an operational index of water quality (PoS) as a versatile tool to assist groundwater resources management and strategic planning. J. Hydrol., 517, 339-350.
- World Health Organization (WHO). (2011). Guidelines for Drinking-Water Quality. Fourth Edition, 564 pp.
- Yari A. R. and Sobhanardakani S. (2016). Water quality assessment of groundwater resources in Qaleeh Shahin Plain based on Cd and HEI. Int. Arch. Health Sci., 3(3), 101-106.

## Groundwater Quality Assessment Using MI and PoS Indices in Razan Watershed, Hamedan, Iran

Farid Shafavi<sup>1</sup> and Soheil Sobhanardakani<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>M.Sc., Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

<sup>2</sup>Assoc. Professor, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

\*Corresponding author: [s\\_sobhan@iauh.ac.ir](mailto:s_sobhan@iauh.ac.ir)

### Original Paper

Received: August 06, 2020

Revised: August 15, 2020

Accepted: August 15, 2020

### Abstract

Since 90% of the water required for various uses in Iran is supplied from groundwater sources, qualitative evaluation of this vital resource is of great importance. The aim of this study was to evaluate the quality of groundwater resources in Razan watershed of Hamedan using MI and PoS indices based on the content of Zn, Pb, Cd, and Cu during spring and summer of 2020. For this purpose, in the middle of spring and summer, 120 groundwater samples were randomly collected from 20 stations and the parameters of pH, EC and temperature were measured *in situ*. The content of the elements in the samples was read using induction coupled plasma emission spectrometer after the laboratory preparation process. The mean concentrations of Zn, Pb, Cd, and Cu in the samples in spring were 36.3, 7.87, 0.340 and 38.2 µg/l, respectively; In summer it was 38.3, 8.80, 0.430, and 42.4 µg/l, respectively, and in both seasons it was less than the maximum tolerance of WHO and the Department of Environment of Iran for drinking and irrigation of agricultural products. On the other hand, the mean values of MI and PoS indices in spring with 0.920 and 0.360 respectively indicated a clean quality level and minimum pollution and in summer with 1.05 and 0.410 respectively indicated low and minimum pollution level. Therefore, although at the time of the study, the groundwater resources of the Razan watershed were not exposed to excess pollution to heavy metals, but by the indiscriminate use of agricultural inputs, especially potassium sulfate fertilizers, triple superphosphate, and chemical poisons containing heavy metals by farmers, the possibility of increasing the concentration of heavy metals in the soil and their penetration into groundwater aquifers will not be unexpected in the medium term.

**Keywords:** Groundwater; Heavy Metals; Qualitative Assessment; Spatial Distribution Map; Watershed.