



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## ارزیابی تغییرات مکانی عنصر آرسنیک در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان

محسن پورخسروانی<sup>۱\*</sup>، فاطمه جمشیدی گوهری<sup>۱</sup>، نسرين سياري<sup>۲</sup>

۱- گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران  
۲- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: این پژوهش سعی دارد، ضمن آنالیز توزیع مکانی و روند تغییرات میزان آرسنیک در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان، عوامل موثر بر غلظت این عنصر در این منابع آبی را ارزیابی و تحلیل نماید.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰  
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۶  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۳۱  
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۶

روش بررسی: نمونه برداری از منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان از چاه‌های بهره برداری در محدوده آبخوان به تعداد ۱۹ نمونه به روش سیستماتیک - تصادفی صورت پذیرفت. در هنگام نمونه برداری، پارامترهایی همچون pH و همچنین موقعیت جغرافیایی چاه‌های نمونه با استفاده از GPS تعیین گردید. سنجش آرسنیک با روش ICP-MS که متداول ترین روش برای شناسایی و اندازه‌گیری آرسنیک است، صورت پذیرفت. همچنین جهت ارزیابی عوامل موثر بر غلظت عنصر آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان از روش تحلیل سیستم‌های ارضی استفاده شد. یافته‌ها: نتایج پژوهش نشان می‌دهد که میزان آرسنیک در تمام نمونه‌ها بالاتر از رهنمود ارائه شده سازمان جهانی بهداشت است به طوری که میزان این عنصر در منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی بین  $30 \mu\text{g/L}$  تا  $390 \mu\text{g/L}$  تغییر می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که با توجه به آنالیز ارتفاعی حوضه سیرجان حداکثر غلظت آرسنیک مربوط به قسمت‌هایی از عمیق‌ترین نقاط حوضه است. مقدار آرسنیک نمونه شماره ۹ که در پست‌ترین قسمت حوضه گرفته شده، به میزان  $390 \mu\text{g/L}$  است. به همین علت ماندگاری آب در این قسمت از حوضه افزایش یافته و به تبع آن شدت جریان کاهش می‌یابد در نتیجه طبق قانون اثر تجمعی این فرآیند می‌تواند منجر به افزایش غلظت آرسنیک گردد.

واژگان کلیدی: آرسنیک، اثر تجمعی، منابع آب زیرزمینی، کانه‌زایی، حوضه سیرجان

نتیجه‌گیری: ارزیابی روند تغییرات غلظت عنصر آرسنیک در منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی حاکی از آن است که غلظت این عنصر یک روند افزایشی بالایی داشته است. طبق نتایج، قرارگیری منطقه مورد مطالعه در مرکز فرآیندهای هیدروترمال و ژئوترمال (کمبرند کانه‌زایی مس در ایران)، اثر تجمعی و تاثیر pH بر جذب و واجذب عنصر آرسنیک، از مهمترین عوامل موثر بر افزایش میزان آرسنیک در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان هستند.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
pourkhosravan@uk.ac.ir

Please cite this article as: Pourkhosravani M, Jamshidi Gohari F, Sayari N. Evaluation of spatial changes of arsenic in underground water resources of Sirjan basin. Iranian Journal of Health and Environment. 2023;16(2):287-302.

## مقدمه

شناخت کیفیت آب های زیرزمینی، به عنوان یکی از مهم ترین و آسیب پذیرترین منابع تأمین آب در دهه های اخیر یک امر ضروری است (۱). فلزات سنگین یکی از مهم ترین عوامل تعیین کننده کیفیت آب هستند، به طوریکه غلظت فلزات سنگین در آب را به عوامل انسان ساخت و زمین شناسی نسبت می دهند. مهم ترین منابع زمین شناسی فلزات شامل فرسایش سنگ ها، ته نشست های سنگ معدن و فعالیت های آتشفشانی است که موجب رها شدن فلزات به پیکره های آبی می شود (۲). در بین عناصر مختلف آرسنیک یک شبه فلزی است که به طور گسترده در محیط زیست پراکنده است و معمولاً در همه جای پوسته زمین یافت می شود. این عنصر با ظرفیت های مختلف و نیز به صورت معدنی و آلی در طبیعت یافت می شود. در آب طبیعی آرسنیک به دو شکل ارسنات ( $As^{+5}$ ) به فرم  $H_2AsO_4^{-}$  و ارسنیت ( $As^{+3}$ ) به فرم  $H_2AsO_3$  وجود دارد.  $As^{+5}$ ، گونه غالب آرسنیک در آب سطحی است. در حالی که  $As^{+3}$ ، که سمی تر از  $As^{+5}$  است، در آب زیرزمینی بیشتر دیده می شود (۳). آرسنیک به راحتی در آب حل می شود و نسبت به عناصر دیگر از تحرک بیشتری برخوردار است. آب های زیرزمینی مناسب ترین شرایط را برای جا به جایی و حرکت آرسنیک دارند بطوریکه اگر سازند دربرگیرنده سفره آب زیرزمینی دارای آرسنیک باشد به راحتی باعث آلودگی آب های زیرزمینی می شود (۴). آرسنیک از طریق فرایندهای طبیعی و یا انسان زاد وارد محیط می شود. اصلی ترین منابع طبیعی فعالیت های آتشفشانی، فرآیند های ژئوترمال و فرآیند های طبیعی دیگر مثل انحلال کانی هاست. آب های زیرزمینی غنی از آرسنیک ممکن است در مناطق فعال آتشفشانی، آب های گرمایی، سنگ های رسوبی (به ویژه تراورتن و شیل های تیره)، خاک های با تمرکز بالای سولفید که دارای مقدار زیادی آرسنیک هستند و مناطق معدنی غنی از آرسنیک به ویژه زون های کانسار سولفیدی و مناطق با فعالیت معدن کاری یافت شوند (۵). در بین عناصر سنگین، آرسنیک به عنوان

یک عنصر سرطان زا شناسایی شده است و غلظت های زیاد آن در منابع آب می تواند نگرانی بزرگ برای سلامتی عمومی و محیط زیست ایجاد نماید. در تماس حاد این عنصر علائمی همچون احساس سوختگی در دهان و گلو، تهوع، استفراغ، اسهال و التهاب مشاهده شده و سپس نکروز شدید مخاط معده و روده ها که می تواند موجب سوراخ شدگی شود و در موارد شدید گاستروانتریت هموراژیک (التهاب خونریزی دهنده معده و روده) ایجاد می شود. در موارد سمیت حاد، در تنفس بیمار بویی مشابه سیر مشاهده می شود. انقباض عضلانی و اسپاسم نیز ممکن است ایجاد شود و در مراحل بعدی فعالیت کبد مختل شده و نارسایی کبد ایجاد می گردد. در مسمومیت های مزمن با این عنصر، تغییر در رنگدانه های پوست، ایجاد هیپرکراتوسیز کف دست و پا، علائم گوارشی، کم خونی، بیماری کبدی و بزرگی طحال مشاهده شده است (۶). (۷). سازمان جهانی بهداشت مقدار  $0.1 \text{ mg/L}$  را به عنوان مقدار رهنمود نظارتی برای As مطرح کرده است (۸).

با توجه به مضرات و آثار سوء آرسنیک، محققین مختلف تحقیقات گسترده ای را در زمینه بررسی پراکندگی و منشأ آرسنیک در منابع آب زیرزمینی در مناطق مختلف انجام داده اند. از جمله، Yinzhū و همکاران (۲۰۱۶) توزیع مکانی آرسنیک در منابع آب زیرزمینی در بخش های شمالی، شرقی و جنوبی سین کیانگ، چین را بررسی کردند. نتایج نشان داد، بیش از ۱۲ درصد از منابع آب زیرزمینی دارای آرسنیک بالای  $10 \mu\text{g/L}$  هستند و غلظت آرسنیک با افزایش عمق نمونه برداری افزایش می یابد (۹). Hamidian و همکاران (۲۰۱۹) ضمن بررسی توزیع فضایی آرسنیک در آب های زیرزمینی ایران، دریافتند که بیشترین غلظت آرسنیک برای استان های کردستان، آذربایجان شرقی و کرمان می باشد و منشأ بیشتر آلودگی آرسنیک زمین زایی است (۱۰). همچنین Tarviji و همکاران (۲۰۲۲) ضمن ارزیابی ریسک بهداشتی فلزات سنگین در آب مصرفی خانواده های ساکن در برخی روستاهای مازندران که با استفاده از روش مبتنی بر شبیه سازی مونت کارلو صورت

این فلزات در این شبکه آبرسانی در حدود مجاز استانداردهای ملی و بین المللی قرار دارد. همچنین نقشه پراکنش سرب و کادمیوم نشان داد که در نواحی مرکزی و برخی نواحی مرزی غلظت این دو فلز بیشتر است (۱۴).

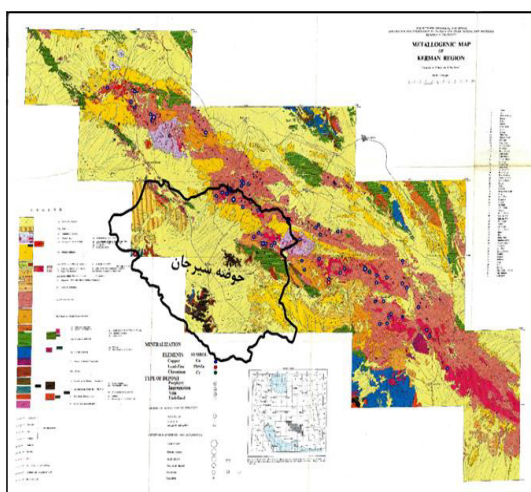
در سال های اخیر غلظت آرسنیک در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان به عنوان بخشی از کمربند آتشفشانی- رسوبی دهج- ساردوئیه افزایش چشمگیری داشته است. بطوریکه در بسیاری از بخش های این حوضه غلظت آرسنیک بسیار بیشتر از رهنمود ارائه شده توسط سازمان جهانی بهداشت است (۳). در همین راستا این پژوهش سعی دارد ضمن ارزیابی توزیع مکانی غلظت آرسنیک در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان عوامل موثر بر افزایش غلظت این عنصر در این منابع آبی را ارزیابی و تحلیل نماید.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بین ۵۴ درجه ۷۴ دقیقه تا ۵۶ درجه ۴۵ دقیقه طول شرقی و بین ۲۸ درجه ۷۸ دقیقه تا ۲۹ درجه ۹۹ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. موقعیت حوضه سیرجان نسبت به زون دهج- ساردوئیه و معادن مس در شکل ۱ نشان داده شده است.

گرفت، گزارش کرده اند که غلظت این فلزات در آب آشامیدنی منطقه مورد مطالعه بسیار کمتر از استانداردهای ملی است. بنابراین آب آشامیدنی در روستاهای مورد مطالعه از نقطه نظر آلودگی به فلزات کیفیت قابل قبولی دارد (۱۱). Podgorski و همکاران (۲۰۲۰) توزیع آرسنیک در آب های زیرزمینی هند را با استفاده از مدل سازی جغرافیایی بررسی کردند. نتایج نشان داد، علاوه بر مناطق شناخته شده با آرسنیک بالا، مانند در امتداد رودخانه گنگ و برهماپوترا، چندین منطقه دیگر در سراسر کشور است که کانون های بالقوه آرسنیک هستند (۱۲). در پژوهشی دیگر، Chen و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی آرسنیک در بخشی از دلتای رود مروارید در جنوب چین پرداختند. بدین منظور نمونه ها معمولاً از چاه های موجود در منطقه مورد مطالعه جمع آوری شدند و برای ارزیابی آرسنیک در آب های سطحی، نمونه هایی از سطوح مختلف رودخانه (بالا، وسط و پایین) جمع آوری و مخلوط شدند تا نمونه آب را از یک سایت نشان دهند نتایج این پژوهش نشان داد که، آرسنیک در منطقه مورد مطالعه عمدتاً از منابع ژئوژنیک ایجاد می شود و پایدار و نسبتاً بی حرکت است (۱۳). Dadban Shahamat و همکاران (۲۰۲۲) ضمن بررسی غلظت فلزات سرب و کادمیوم در نمونه های آب شرب شبکه آبرسانی شهر گرگان که با استفاده از سامانه سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده است اشاره شده است که غلظت



شکل ۱- نقشه موقعیت حوضه سیرجان در زون آتشفشانی- رسوبی دهج- ساردوئیه

## روش

تحقیق حاضر از نوع کاربردی و مبتنی بر روش‌های توصیفی-تحلیلی است که در آن جهت جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات از شیوه‌های اسنادی، کتابخانه‌ای و آزمایشگاهی استفاده شده است. در همین رابطه جهت ارزیابی آلودگی آرسنیک و منشأ آن در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان، از مجموع ۴۴ چاه، ۱۹ نمونه به روش سیستماتیک - تصادفی در پاییز سال ۱۳۹۹ انتخاب شد. انتخاب چاه‌های نمونه بگونه‌ای صورت گرفت که کل آبخوان را پوشش دهد. در هنگام نمونه برداری، پارامترهایی همچون pH و همچنین موقعیت جغرافیایی چاه‌های نمونه با استفاده از GPS تعیین گردید. نمونه برداری از چاه‌های در حال کار انجام شد و برای تهیه نمونه از چاه‌هایی که پمپ آنها خاموش بود، ۳ تا ۵ min بعد از پمپاژ، نمونه برداری انجام می‌شد. ظروف نمونه برداری از جنس پلی‌اتیلن ۱ لیتری بودند. نمونه‌های تهیه شده در مکانی خنک و دور از نور قرار داده شدند. همچنین پس از برداشت نمونه‌ها و قبل از انتقال آنها به آزمایشگاه، نمونه‌های برداشت شده جهت آنالیز آرسنیک با اضافه کردن ۲/۵ mL اسیدنیتریک، pH آنها به کمتر از ۲ رسانده شد. سنجش آرسنیک با روش ICP-MS صورت پذیرفت. این روش دقیق‌ترین روش برای شناسایی و اندازه‌گیری آرسنیک است که به دلیل دقت بالا نیاز به ریکواری ندارد. روش ICP-MS، ترکیب روش پلاسمای مزدوج القایی مانند منبع یونی با آنالیزورهای جرمی است، که قادر به شناسایی همزمان چندین عنصر است. فیلترهای جرمی چهار قطبی به عنوان معمول‌ترین و بیشترین آنالیزورهای جرمی در این روش هستند زیرا از لحاظ هزینه‌ای بسیار باصرفه است. در

دمای K ۷۵۰۰، حدود ۵۰ درصد آرسنیک به  $As^{75}$  یک بار مثبت یونیزه می‌شود که با آنالیزهای جرمی قابل شناسایی است (۱۵). لازم به ذکر است که حد تشخیص دستگاه آنالیز آرسنیک طبق نتایج ارائه شده توسط آزمایشگاه ۱۰ ppb بوده است. به منظور ارزیابی روند غلظت آرسنیک در منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی از داده‌های سازمان آب و فاضلاب استفاده شد. لازم به توضیح است که صحت سنجی این داده‌ها توسط سازمان آب و فاضلاب انجام شده است. از طرفی استفاده از داده‌های سازمان آب و فاضلاب فقط جهت ارزیابی تغییر میزان آرسنیک در منابع آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی در سال ۱۳۹۸ نسبت به ۱۳۹۰ می‌باشد. یعنی اینکه میزان آرسنیک در این منابع آبی در سال ۱۳۹۸ نسبت به سال ۱۳۹۰ افزایش یا کاهش داشته است. در مرحله بعد نقشه هم‌غلظت عنصر آرسنیک در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان با استفاده از روش درون‌یابی IDW در نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد. همچنین جهت ارزیابی عوامل موثر بر غلظت عنصر آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان از روش تحلیل سیستم‌های ارضی استفاده شد.

## یافته‌ها

جدول ۱، نتایج آمار توصیفی پارامترهای آرسنیک و pH را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. همچنین جدول ۲، نتایج حاصل از آنالیز آرسنیک و مقدار pH نمونه‌های مورد مطالعه حوضه سیرجان را نشان می‌دهد. طبق نتایج به دست آمده تمامی نمونه‌ها دارای آرسنیک بیش از حد مجاز ۱۰ ppb می‌باشند.

جدول ۱- خلاصه آمار توصیفی پارامترهای آرسنیک و pH در منطقه مورد مطالعه

| پارامتر | تعداد | میانگین | انحراف معیار | واریانس  | حداقل | حداکثر |
|---------|-------|---------|--------------|----------|-------|--------|
| pH      | ۱۹    | ۸/۳۱۰۵  | ۰/۵۰۸۷۰      | ۰/۲۵۹    | ۷     | ۹/۵    |
| As      | ۱۹    | ۹۲/۶۳۱۶ | ۶۳/۲۵۶۱۰     | ۶۹۳۱/۵۷۹ | ۳۰    | ۳۹۰    |

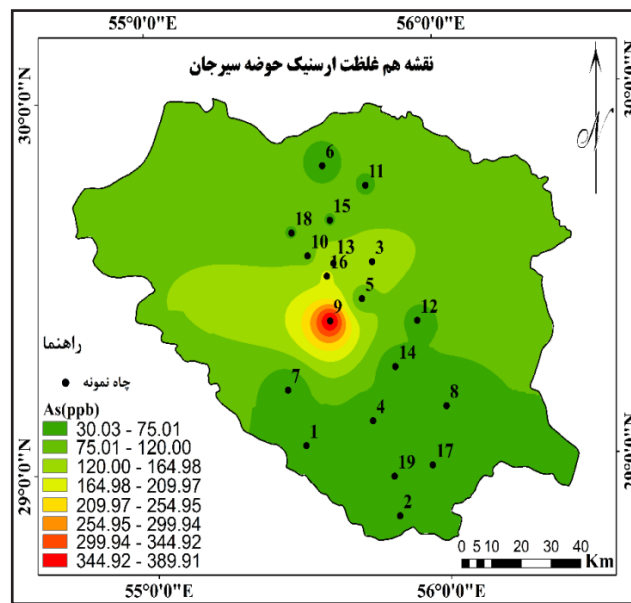
جدول ۲- مقادیر غلظت آرسنیک و مقدار pH نمونه های مورد مطالعه حوضه سیرجان

| چاه نمونه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | As ( $\mu\text{g/L}$ ) | pH  |
|-----------|---------------|---------------|------------------------|-----|
| ۱         | ۳۵۵۷۸۹        | ۳۲۱۵۰۱۵       | ۴۰                     | ۸   |
| ۲         | ۳۸۶۰۳۴        | ۳۱۹۲۵۳۳       | ۳۰                     | ۷/۹ |
| ۳         | ۳۸۰۵۳۱        | ۳۲۶۸۷۴۱       | ۱۵۰                    | ۸   |
| ۴         | ۳۷۸۴۱۴        | ۳۲۲۱۳۱۶       | ۵۰                     | ۸/۲ |
| ۵         | ۳۷۶۵۶۶        | ۳۲۵۷۸۸۰       | ۹۰                     | ۸/۹ |
| ۶         | ۳۶۵۳۳۸        | ۳۲۹۸۱۷۸       | ۶۰                     | ۸/۵ |
| ۷         | ۳۵۰۴۹۸        | ۳۲۳۱۸۹۰       | ۴۰                     | ۸/۱ |
| ۸         | ۴۰۳۱۹۱        | ۳۲۲۴۵۵۵       | ۵۰                     | ۷   |
| ۹         | ۳۶۵۵۹۲        | ۳۲۵۱۷۹۳       | ۳۹۰                    | ۸/۳ |
| ۱۰        | ۳۵۹۰۵۴        | ۳۲۷۱۵۶۶       | ۱۱۰                    | ۸/۱ |
| ۱۱        | ۳۷۹۴۴۷        | ۳۲۹۱۵۹۴       | ۷۰                     | ۸/۶ |
| ۱۲        | ۳۹۴۷۰۷        | ۳۲۵۰۴۵۲       | ۶۰                     | ۸/۲ |
| ۱۳        | ۳۶۷۵۷۵        | ۳۲۶۸۹۵۲       | ۱۶۰                    | ۹/۵ |
| ۱۴        | ۳۸۶۷۱۶        | ۳۲۳۷۰۸۸       | ۵۰                     | ۸/۶ |
| ۱۵        | ۳۶۷۰۵۷        | ۳۲۸۱۸۱۵       | ۷۰                     | ۸/۷ |
| ۱۶        | ۳۶۵۱۸۵        | ۳۲۶۵۲۰۵       | ۱۷۰                    | ۸/۶ |
| ۱۷        | ۳۹۷۷۲۲        | ۳۲۰۷۱۵۱       | ۵۰                     | ۸/۲ |
| ۱۸        | ۳۵۳۹۸۶        | ۳۲۷۸۶۶۰       | ۷۰                     | ۷/۹ |
| ۱۹        | ۳۸۴۷۸۹        | ۳۲۰۴۴۳۶       | ۵۰                     | ۸/۶ |

نقشه هم غلظت آرسنیک حوضه سیرجان

شکل ۲ نقشه هم غلظت آرسنیک حوضه سیرجان نشان می دهد. با توجه به نمونه های مورد بررسی غلظت آرسنیک

در آب های زیرزمینی حوضه سیرجان بین  $30 \mu\text{g/L}$  تا  $390 \mu\text{g/L}$  با میانگین  $92/63 \mu\text{g/L}$  تغییر می کند.



شکل ۲- نقشه هم غلظت آرسنیک در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان

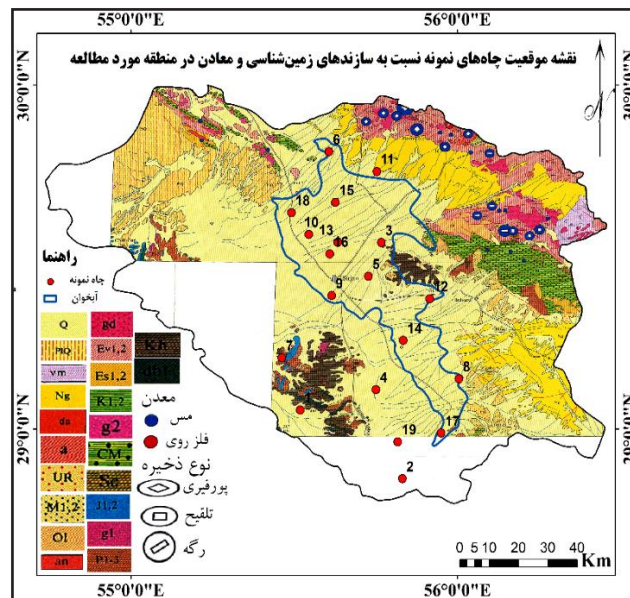
## بحث

منشأ آرسنیک در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان فعالیت آتشفشانی در کمربند آتشفشانی نفوذی ارومیه- دختر (سهند- بزمان) از کرتاسه شروع شده و در دوره ائوسن به نهایت فعالیت خود رسیده است. بخش جنوب شرقی کمربند آتشفشانی، نفوذی سهند- بزمان در استان کرمان قرار دارد و به کمربند فرعی دهج- ساردوئیه معروف است که از دهج در شمال غرب استان کرمان تا جنوب شرق در منطقه ساردوئیه به طول ۵۰۰ کیلومتر کشیده شده است. این منطقه ضخامتی حدود ۱۵ کیلومتر از سنگ های آتشفشانی اسیدی تا حد واسط و بازی ائوسن را در بر می گیرد. در این منطقه بیشترین گسترش را سنگ های آتشفشانی، سنگ های نفوذی و سنگ های رسوبی ائوسن تشکیل داده اند (۱۶) و یکی از مناطق اصلی کانه زایی مس ایران به شمار می رود که در آن بیش از ۵۰ کانسار و رخداد معدنی پورفیری و رگه ای شناسایی شده است (شکل ۱). آخرین مراحل کانه زایی مس فرآیندهای هیدروترمال و ژئوترمال می باشد که منجر به آزاد سازی

آرسنیک به خصوص در فرآیندهای ژئوترمال می گردد. محلول های هیدروترمال ناشی از اعماق پوسته، در نزدیکی سطح زمین به علت کاهش فشار در حال جوشش هستند در نتیجه به علت تبخیر غلظت آرسنیک در فاز مایع افزایش می یابد. باید توجه داشت که به طور طبیعی میزان آرسنیک در محلول های هیدروترمال و ژئوترمال از حد استاندارد آب بالاتر است (۱۷)، از طرفی دیگر وجود کانی های سولفیدی نیز می تواند منشأ آرسنیک باشد و سبب آزادسازی آرسنیک به آب زیرزمینی گردد زیرا این عنصر از عناصر تشکیل دهنده بیش از ۲۰۰ گونه کانی است که در بسیاری از کانی های سولفیدی و ترکیبات دیگر وجود دارد. به طور کلی با توجه به مطالب گفته شده می توان گفت از لحاظ زمین شناسی کلاً زون هایی که کانه زایی مس دارند مثل زون دهج- ساردوئیه کرمان، پتانسیل آلودگی آرسنیک دارند. با توجه به شکل ۳ فرآیندهای هیدروترمال و ژئوترمال در شمال شرق، شرق و قسمت هایی از شمال حوضه سیرجان بیشتر است. حاصل این فرآیندها وجود معادن مس در این قسمت ها از حوضه و

دشت مورد مطالعه باشد. جدول ۳ نوع واحدهای زمین شناسی حوضه سیرجان را طبق شکل ۳ نشان می دهد. طبق شکل ۳ اکثر چاههای نمونه در آبرفت های دوران چهارم قرار گرفته اند.

سنگ های تراورتن در شرق حوضه (نقشه های ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی) است، که می تواند منشأ آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان باشند. از طرفی دیگر تجزیه سولفیدها نیز می تواند منشأ آرسنیک در منابع آب زیرزمینی



شکل ۳- نقشه موقعیت چاه های نمونه نسبت به سازندهای زمین شناسی و معادن در منطقه مورد مطالعه

جدول ۳- نوع واحدهای زمین شناسی حوضه سیرجان

| واحد های زمین شناسی | عنوان                       |
|---------------------|-----------------------------|
| Q                   | آبرفت های دوران چهارم       |
| PIQ                 | سیلت های بادرفتی            |
| vm                  | سازندهای ولکانیکی           |
| Ng                  | رسوبات پالئوسن              |
| da                  | توده های نفوذی پلوتونیک دهج |
| a                   | توده های نفوذی پلوتونیک     |
| UR                  | سازند قرمز فوقانی           |
| MI,2                | رسوبات میوسن پایانی و میانه |

## ادامه جدول ۳- نوع واحدهای زمین شناسی حوضه سیرجان

| عنوان                        | واحدهای زمین شناسی |
|------------------------------|--------------------|
| سازند الیگوسن- قم و چهارگنبد | Ol                 |
| گدازه های اندزیتی            | an                 |
| هیپ ایسال نوع جبل بارز       | gd                 |
| ولکانیسم ائوسن               | Evl,2              |
| رسوبات ائوسن پایانی و میانی  | Esl,2              |
| سازندای کرتاسه               | Kl,2               |
| سازندهای آمیزه رنگین         | g <sup>2</sup>     |
| آمیزه رنگین                  | CM                 |
| سرپانتینیت                   | Se                 |
| ژوراسیک سازندهای             | Jl,2               |
| سنگ های گرانیتی              | gl                 |
| پرمین سازندهای               | PI-3               |
| کمپلکس خواجه                 | Kh                 |
| دباباز دگرگونی               | dbl                |

عوامل موثر بر میزان آرسنیک در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان

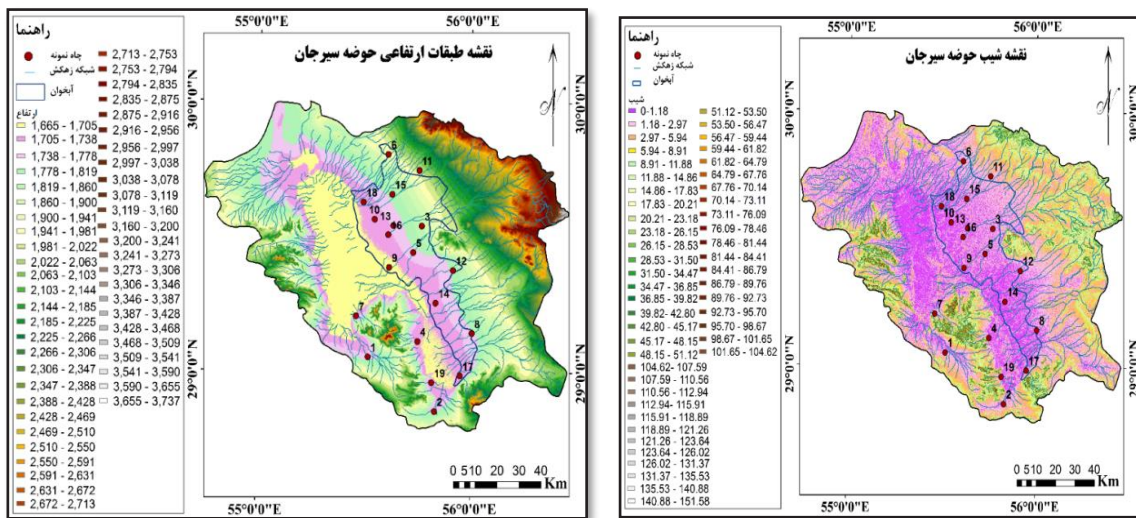
آلودگی آب ها به وسیله آرسنیک با منشأ طبیعی در بیش از ۷۰ کشور دنیا گزارش شده است که در حدود ۱۵۰ میلیون نفر فقط در جنوب غرب آسیا در معرض آلودگی شدید آب به وسیله آرسنیک هستند (۱۸). آرسنیک با غلظت بالا در آب های زیرزمینی در حد گسترده ای از کانی های مرتبط با فعالیت های آتشفشانی و نیز انحلال سنگ های هوازده خاکستر و خاک آنها ناشی می شود. آلودگی آرسنیک در آب زیرزمینی، اغلب به سبب تحرک آن در سنگ ها، رسوبات، خاک و گاهی اوقات از آب های زمین گرمایی ناشی می شود (۱۹). به طور کلی چهار فرآیند واجدبلیایی، انحلال احیایی، اکسایش کانی های سولفیدی و فعالیت ژئوترمال در آزاد سازی آرسنیک

به سفره های آب زیرزمینی نقش دارند. تحت شرایط قلیایی اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن در رسوبات معمولاً بار منفی دارند و جاذب های ایده آلی برای اکسی آنیون های آرسنیک نیستند (۲۰). بررسی ها نشان می دهد که آب های زیرزمینی با غلظت بالای آرسنیک معمولاً در آبخوان های حوضه های بسته با اقلیم خشک و نیمه خشک و آبخوان های آبرفتی شدیداً دارای شرایط احیاء یافت می شوند. این محیط ها از نظر زمین شناسی شامل رسوبات آبرفتی جوان و از نظر توپوگرافی پست و هموار هستند که گردش و سرعت آب زیرزمینی در آنها بسیار ضعیف و کند است به طوری که آرسنیک آزاد شده از رسوبات قادر به تجمع در آب های زیرزمینی است (۲۱).

نتایج نشان می دهد که در حوضه سیرجان حداکثر غلظت آرسنیک مربوط به نمونه شماره ۹ (علی آباد کفه)، به میزان

۱۷۳۸ و نمونه شماره ۱۳ (محمود آباد سید) که کمی بالاتر از ارتفاع ۱۷۳۸ قرار می گیرد، به ترتیب  $170 \mu\text{g/L}$  و  $160 \mu\text{g/L}$  است. به طور کلی با حرکت به سمت بخش های شمالی حوضه به علت افزایش ارتفاع، شیب (شکل ۴) و شدت جریان، ماندگاری آب در این مناطق کاهش می یابد. به همین علت غلظت آرسنیک در نمونه های مورد بررسی در این قسمت از حوضه نسبت به غلظت آرسنیک در نمونه هایی دیگر که در قسمت هایی از مرکز حوضه مورد بررسی قرار گرفته اند کمتر است. اما با توجه به نمونه های مورد بررسی هر چه به سمت جنوب، جنوب شرق، جنوب غرب و قسمت هایی از شرق حوضه پیش رویم، با توجه به شرایط مساعدتر از لحاظ زمین شناسی و فاصله از زون دهج - ساردوئیه و معادن مس و همچنین جهت حرکت آب در این قسمت ها از حوضه، مقدار غلظت آرسنیک کاهش می یابد.

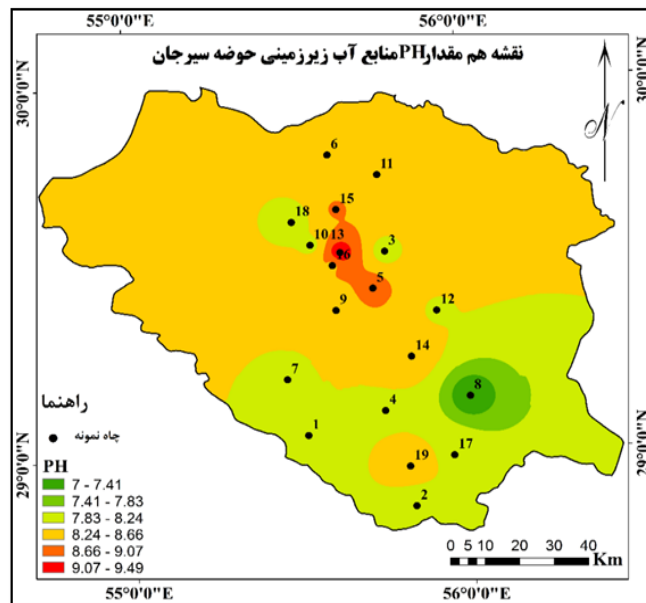
$390 \mu\text{g/L}$  است. آنالیز ارتفاعی منطقه مطالعاتی (شکل ۴) حاکی از آنست که این نمونه در پست ترین قسمت حوضه (ارتفاع ۱۶۶۵ تا ۱۷۰۵ m) قرار گرفته است. به همین علت ماندگاری آب در این قسمت از حوضه افزایش یافته و به تبع آن شدت جریان کاهش می یابد در نتیجه طبق قانون اثر تجمعی این فرآیند می تواند منجر به افزایش غلظت آرسنیک گردد. از طرفی با برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی گرادیان هیدرولیکی آب زیرزمینی کمتر شده و در نتیجه جریان آب به ویژه در این قسمت از حوضه که عمیق ترین قسمت های حوضه است کاهش بیشتری می یابد و با کاهش جریان، آب راکد مانده و غلظت عنصر آرسنیک افزایش می یابد. بعد از نمونه شماره ۹ (علی آباد کفه)، حداکثر غلظت آرسنیک مربوط به نمونه شماره ۱۶ (نصرت آباد) که در ارتفاعات ۱۷۰۵ تا



شکل ۴- نقشه شیب و طبقات ارتفاعی حوضه سیرجان

۲ مقادیر pH نمونه های مورد مطالعه و شکل ۵ نیز نقشه هم مقدار pH را در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان نشان می دهد. دامنه تغییرات pH در حوضه سیرجان از ۷ - ۹/۵ می باشد که کمترین مقدار مربوط به جنوب شرق حوضه سیرجان است.

طبق نتایج تحقیقات پیشین، pH یکی دیگر از پارامترهایی است که می تواند بر میزان آرسنیک تاثیر داشته باشد. به طوریکه pH محیط از پارامترهای موثر بر فرآیند جذب و واجذب آرسنیک است که می تواند موجب افزایش عنصر آرسنیک در محیط گردد. جدول



شکل ۵- نقشه هم مقدار pH منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان

۱۳۹۸) مورد بررسی قرار گرفتند آورده شده است. نتایج نشان می دهد غلظت عنصر آرسنیک در منابع آب زیرزمینی سیرجان یک روند افزایشی قابل توجهی داشته است.

ارزیابی روند غلظت آرسنیک در منابع آب زیرزمینی سیرجان در جدول ۴ مقادیر غلظت آرسنیک چاه های نمونه ای که توسط سازمان آب و فاضلاب در طول زمان (سال های ۱۳۹۰ و

جدول ۴- مقادیر غلظت آرسنیک در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان در سال های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۸ برحسب (ppb)

| شماره چاه های نمونه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | زمستان ۱۳۹۰ | بهار ۱۳۹۸ |
|---------------------|---------------|---------------|-------------|-----------|
| ۱                   | ۳۷۶۷۷۰        | ۳۲۶۵۲۹۶       | ۷۸/۲۹       | ۹۷/۱      |
| ۲                   | ۳۷۶۷۵۴        | ۳۲۶۲۶۱۹       | ۵۲/۵۸       | ۱۰۰/۱۵    |
| ۳                   | ۳۷۶۳۷۲        | ۳۲۶۱۴۸۶       | ۵۲/۴۹       | ۷۷/۷۴     |
| ۴                   | ۳۷۵۹۵۹        | ۳۲۶۰۵۳۶       | ۴۳/۶۱       | ۷۹/۳۲     |
| ۵                   | ۳۷۷۸۷۹        | ۳۲۶۴۶۵۰       | ۷۲/۷۴       | ۹۹/۳۲     |
| ۶                   | ۳۷۷۷۰۴        | ۳۲۶۵۵۶۴       | ۵۳/۲۷       | ۹۴/۵۲     |
| ۷                   | ۳۷۸۶۰۵        | ۳۲۶۵۹۰۱       | ۶۱/۶۷       | ۱۱۴/۴۴    |
| ۸                   | ۳۷۸۸۸۱        | ۳۲۶۴۹۳۷       | ۴۴/۹۹       | ۶۸/۶۴     |
| ۹                   | ۳۷۹۸۴۴        | ۳۲۶۵۲۰۳       | ۴۶/۵۹       | ۸۸/۲۲     |
| ۱۰                  | ۳۷۹۶۳۸        | ۳۲۶۲۹۲۵       | ۴۴/۷۵       | ۷۱/۲۲     |

ادامه جدول ۴- مقادیر غلظت آرسنیک در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۸ برحسب (ppb)

| شماره چاه‌های نمونه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | زمستان ۱۳۹۰ | بهار ۱۳۹۸ |
|---------------------|---------------|---------------|-------------|-----------|
| ۱۱                  | ۳۸۰۴۸۶        | ۳۲۶۳۷۳۶       | ۵۲/۸۴       | ۱۶۲/۲۲    |
| ۱۲                  | ۳۸۱۱۲۸        | ۳۲۶۴۳۴۶       | ۶۸/۶۲       | ۸۹/۷۱     |
| ۱۳                  | ۳۸۰۱۷۳        | ۳۲۶۶۵۰۶       | ۶۸          | ۱۱۵/۳     |
| ۱۴                  | ۳۷۹۳۸۳        | ۳۲۶۶۷۵۶       | ۷۹          | ۱۶۸/۹     |
| ۱۵                  | ۳۸۰۰۵۰        | ۳۲۶۷۴۹۴       | ۸۵          | ۱۴۷/۶     |

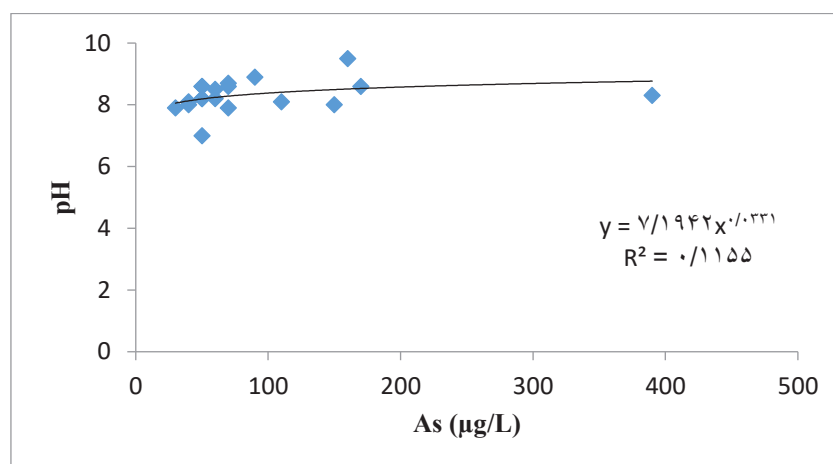
و شوره زارها در مرکز و در دشت کبوترخان، سنگ‌های آتشفشانی و سولفیدی کوهستان سرچشمه در جنوب دشت)، منجر به آزادسازی عنصر آرسنیک در منطقه شده است (۲۴). Hashemi Madani (۲۰۱۸) ضمن بررسی غلظت آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت خاتون آباد دریافت، غلظت آرسنیک در این دشت در حد ۸/۶۵ تا ۳۴۶  $\mu\text{g/L}$  متغیر است و منشأ اصلی آرسنیک تجزیه سولفیدهای موجود در کوهستان‌های شمالی منطقه یا فعالیت‌های ژئوترمال بوده است (۲۵). Nazari و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی تحت عنوان منشأ و پراکندگی آرسنیک در آب‌های زیرزمینی دشت راین دریافتند، تغییرات غلظت آرسنیک در منطقه بین ۱/۰ ppb تا ۱۰ ppb ۲۰۴/۸ با میانگین ۲۰/۹۶ ppb است. دو عامل اصلی تزریق آب‌های گرمابی به سفره آب زیرزمینی و واجدبی از اکسید و هیدرواکسیدهای آهن به عنوان عوامل افزایشی غلظت آرسنیک در این دشت معرفی می‌شوند (۲۶). در پژوهشی دیگر، Molaei Moghbeli (۲۰۱۸) به بررسی تغییرات مقدار آرسنیک در سفره آب زیرزمینی دشت جیرفت و ارزیابی منبع و اثرات بالقوه آن پرداخت. بررسی میزان آرسنیک در منطقه نشان داد که این عنصر بیشتر ناشی از عوامل طبیعی (سازندهای زمین‌شناسی) است (۲۷). با فاصله گرفتن از این زون غلظت آرسنیک منابع آب به طور معناداری کاهش می‌یابد. به طور مثال، دشت فهرج در حوضه بم - نرماشیر که در

آلودگی منابع آب به آرسنیک یکی از مهمترین خطراتی است که اکوسیستم‌های طبیعی و سلامت انسان را تهدید می‌کند. آرسنیک یکی از سمی‌ترین آلاینده‌های منابع آب زیرزمینی و خاک است. تماس با آب‌های آلوده به آرسنیک سبب اختلالات مختلف دستگاه تنفسی، دستگاه گوارشی، دستگاه قلبی عروقی و انواع سرطان‌ها می‌شود (۲۲، ۲۳). یافته‌های تحقیق حاکی از آنست که مجاورت منطقه مورد مطالعه با کمر بند کانه زایی مس ایران بیشترین تاثیر را در افزایش غلظت آرسنیک در منابع آبی منطقه دارد. همسو بودن نتایج تحقیق با پژوهش‌های صورت گرفته در رابطه با میزان آرسنیک در منابع آب سایر حوضه‌های واقع در اطراف زون آتشفشانی - رسوبی دهج - ساردوئیه دلیلی بر این مدعاست. این مهم در مطالعات صورت گرفته در رابطه با غلظت آرسنیک در دشت‌های بردسیر (۲)، رفسنجان (۲۴)، خاتون آباد (۲۵)، راین (۲۶)، جیرفت (۲۷) به خوبی مشهود است. Malakootian و همکاران (۲۰۱۵) ضمن بررسی غلظت آرسنیک در منابع آب شرب مرکز و جنوب دشت بردسیر در سال ۱۳۹۲ دریافتند، غلظت آرسنیک در ۵۰ درصد از نمونه‌های مورد مطالعه فراتر از حد رهنمودی WHO است (۲). Ebrahimi meymand (۲۰۰۹) در پژوهشی تحت عنوان بررسی پراکندگی و منشأ آرسنیک در آب زیرزمینی دشت رفسنجان دریافت، تنوع لیتولوژی در منطقه (شیل‌های ژوراسیک در شمال شرق، رسوبات تبخیری

بعد از آزاد شدن آرسنیک از کانی های سولفید در سنگ های آتشفشانی، این عنصر توسط کانی های رسی، اکسید و هیدرواکسیدهای آهن و آلومینیوم جذب می گردد و با افزایش pH (بیش از ۸)، آرسنیک در سطح اکسید و هیدرواکسیدهای فلزی آزاد و به شکل محلول در سفره آب زیرزمینی قرار می گیرد (۲۶). بر همین اساس، بعد از آزاد شدن آرسنیک از کانی های سولفید در سنگ های آتشفشانی و کانی های ژئوترمال و هیدروترمال، وارد حوضه سیرجان می شود، با توجه به بالا بودن pH در بخش های وسیعی از حوضه، واجذب اکسیدهای آهن افزایش می یابد که این عامل می تواند یکی از عوامل افزایش غلظت آرسنیک در منطقه مطالعاتی باشد. نمودار ۱ رابطه نمایی و مثبت را با ضریب تبیین ۰/۱۱۴ بین پارامترهای آرسنیک و pH در منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

در مجموع یافته های تحقیق حاضر حاکی از این است که قرارگیری منطقه مورد مطالعه در مرکز فرآیندهای هیدروترمال و ژئوترمال و مجاورت با کمر بند کانه زایی مس ایران موجب افزایش میزان آرسنیک در منابع آب منطقه مورد مطالعه بوده است. لذا بایستی در نحوه تامین آب شرب منطقه تجدید نظر اساسی صورت گیرد. لازم به ذکر است با توجه به ملاحظات سازمان آب منطقه ای استان کرمان، نمونه برداری و تعداد نمونه ها از مهمترین محدودیت های این پژوهش می باشد.

قسمت انتهایی زون دهج- ساردوئیه واقع شده است و نسبت به معادن مس فاصله بیشتری دارد، از غلظت آرسنیک کمتری برخوردار است (۲۸). همچنین با توجه به گزارشات شرکت آب منطقه ای دشت های مانند راور، زرنند، کوهبنان، نوق رفسنجان و کرمان به دلیل این که در نواحی زون های رسوبی و آهکی به لحاظ زمین شناسی قرار دارند مشکل عمده ای از نظر بالا بودن غلظت آرسنیک ندارند (۲۹). در این میان طبق نتایج پژوهش های گذشته رابطه تغییرات pH تاثیر مستقیمی بر میزان آرسنیک موجود در محیط خواهد داشت به طوریکه افزایش pH (بیش از ۸) منجر به واجذبی عنصر آرسنیک جذب شده به ویژه گونه های پنج ظرفیتی آن، می شود (۵). محیط های احیایی غنی از مواد آلی هستند، در نتیجه فعالیت میکروبی در آنها بالاست، غلظت اکسیژن کم و زهکشی ناچیز است و بنابراین آرسنیک از طریق انحلال احیایی آزاد می گردد (۳۰). در این شرایط در pH نزدیک خنثی، واجذب آرسنیک از کانی های اکسیدی و انحلال اکسیدهای آهن سه ظرفیتی و منگنز چهار ظرفیتی باعث آزادسازی این عنصر می گردد. به طور کلی در pH بزرگتر از ۸ واجذب آرسنیک از اکسیدهای فلزی به ویژه آهن و منگنز می تواند سبب افزایش غلظت آرسنیک در آب زیرزمینی شود. به عبارت دیگر جذب آرسنیک توسط اکسید آهن با افزایش pH بالا می رود (۲۴).



نمودار ۱- نمودار رابطه بین پارامترهای pH و آرسنیک در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان

## نتیجه گیری

همین راستا با توجه به یافته‌های تحقیق میزان pH در منطقه مورد مطالعه بین ۷ تا ۹/۵ تغییر می کند که نقش مهمی در افزایش میزان آرسنیک در منابع آب زیرزمینی منطقه خواهد داشت به طوریکه بیشترین میزان آرسنیک در نمونه‌های مورد مطالعه مربوط به چاه شماره ۹ ( $390 \mu\text{g/L}$ )، چاه شماره ۱۶ ( $170 \mu\text{g/L}$ )، چاه شماره ۱۳ ( $160 \mu\text{g/L}$ )، چاه شماره ۱۰ ( $110 \mu\text{g/L}$ ) می باشد که در بخش‌هایی از حوضه واقع شده اند که میزان pH آنها بالاتر از ۸ می‌باشد.

## ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی ذکر شده از جمله عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه و تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این پژوهش رعایت کرده‌اند.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که کمال تشکر و قدردانی را از سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان و آزمایشگاه زرآما به جهت همکاری در نمونه‌برداری و آزمایش نمونه‌ها داشته باشند.

به علت اهمیت منابع آب در توسعه و سلامت جوامع انسانی پژوهش حاضر عوامل موثر بر میزان آرسنیک در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان را ارزیابی و تحلیل نموده است. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که میزان آرسنیک در منابع آب زیرزمینی حوضه سیرجان در محدوده  $30 \mu\text{g/L}$  تا  $390 \mu\text{g/L}$  بوده است که این میزان بسیار بیشتر از رهنمود ارائه شده سازمان جهانی بهداشت ( $10 \text{ ppb}$ ) بوده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که، قرارگیری منطقه مورد مطالعه در مرکز فرآیندهای هیدروترمال و ژئوترمال (کمبرند کانه زایی مس در ایران) از عوامل اصلی موثر بر افزایش میزان آرسنیک در منابع آب منطقه مورد مطالعه است. همچنین طبق نتایج تحقیقات پیشین pH محیط از پارامترهای موثر بر فرآیند جذب و واجذب آرسنیک است که می‌تواند موجب افزایش عنصر آرسنیک در محیط گردد. به طوریکه افزایش pH (بیش از ۸) منجر به واجدبی عنصر آرسنیک جذب شده به ویژه گونه های پنج ظرفیتی آن، می شود. به عبارت دیگر در pH بزرگتر از ۸ واجذب آرسنیک از اکسیدهای فلزی به ویژه آهن و منگنز می‌تواند سبب افزایش غلظت آرسنیک در آب زیرزمینی شود. در

## References

1. Hosseini A, Poormohammad P, Yarmohamadi E. Investigation of Groundwater Quality in the Area of Irrigation and Drainage Networks for Agricultural and Drinking Purposes (Case Study: DASHTEABAS). Iran-Watershed Management Science & Engineering. 2018;12(40):51-58 (in Persian).
2. Malakootian M, Darabi Fard Z, Amirmahani N, Nasiri A. Evaluation of Arsenic, Copper, Lead, Cadmium, and Iron Concentration in Drinking Water Resources of Central and Southern Bardsir Plain, Iran, in 2014. Journal of Kerman University of Medical Sciences. 2015;22(5):542-54 (in Persian).
3. Fathi N, Rahnama M, Zounemat Kermani M. Investigation of Arsenic Release Mechanism and Prediction of its Concentration Variations In Groundwater Resources (Case Study: Sirjan Plain). Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 2019;13(4):883-91 (in Persian).
4. Haugen E, Jurgens B, Arroyo-Lopez J, Bennett G. Groundwater development leads to decreasing arsenic

- concentrations in the San Joaquin Valley, California. *Science of The Total Environment*. 2021;771:1-14.
5. Smedley PL, Kinniburgh DG. *Essentials of Medical Geology: Impacts of the Natural Environment on Public Health*. 2ed ed. London: Elsevier Academic press; 2005.
  6. Madhukar M, Sadashiva Murthy BM, Udayashankara TH. Sources of Arsenic in Groundwater and its Health Significance- A Review. *Nature Environment and Pollution Technology*. 2016;15(3):971-79.
  7. Ullah Z, Talib MA, Rashid A, Ghani J, Shahab A, Irfan M, et al. Hydrogeochemical Investigation of Elevated Arsenic Based on Entropy Modeling, in the Aquifers of District Sanghar, Sindh, Pakistan. *Water*. 2021;13(23):1-20.
  8. Shaji E, Santosh M, Sarath KV, Prakash P, Deepchand V, Divya BV, Arsenic contamination of groundwater: A global synopsis with focus on the Indian Peninsula. *Geoscience Frontiers*. 2021;12(3):1-18.
  9. Yin Zhu Z, Yanyan Z, Jinlong Z, Huaming G, Qiao L, Ruiliang J, et al. Distribution of groundwater arsenic in Xinjiang, P.R. China. *Applied Geochemistry*. 2016;77:116-25.
  10. Hamidian AH, Razeghi N, Zhang Y, Yang M. Spatial distribution of arsenic in groundwater of Iran, a review. *Journal of Geochemical Exploration*. 2019;201:88-98.
  11. Tarviji H, Shekoohiyan S, Moussavi Gh, Heidari M. Health risk assessment of heavy metals in water consumed by families living in some villages of Mazandaran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2022;15(2):215-28. (in Persian)
  12. Podgorski J, Wu R, Chakravorty B, Polya D. Groundwater Arsenic Distribution in India by Machine Learning Geospatial Modeling. *Environmental Research and Public Health*. 2020;17(19):1-17.
  13. Chen L, Joyanto R, Dinggui L, Lezhang W, Yu L. Arsenic in the Pearl River Delta and its related waterbody, South China: occurrence and sources, a review. *Official Journal of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS)*. 2021;8(12):1-13.
  14. Dadban Shahamat Y, Mohammadi H, Sangbari N, Roshandel Gh, Ghahrchi M. Investigation of Pb and Cd concentrations in drinking water samples of Gorgan water supply network: preparation of zoning maps by geographic information system. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2022;15(1):181-92. (in Persian)
  15. Jarvis KE, Gray AL, Houk RS. *Handbook of Inductivity Coupled Plasma Mass Spectrometry*. 2ed ed. New York: Springer; 1992.
  16. Yousefi J, Moradian A. Mineralization pattern of Mastla Chahargonbad deposit (Sirjan), using mineralogical, alteration, geochemical studies and multivariate statistical tests. *Journal of Economic Geology*. 2012;4(1):135-53 (in Persian).
  17. Askandrey M, Abedi A, Parkhial S. Investigating the environmental effects of the arsenic element from the hot springs of Meshkin Shahr geothermal field. *The 30th Earth Sciences Conference*. Tehran; 2012. p. 1-10 (in Persian).
  18. Stroud JL, Norton GJ, Islam MR, Dasgupta T, White RP, Price AH, et al. The dynamics of arsenic in four paddy fields in the Bengal delta. *Environmental Pollution*. 2011;159(4):947-53.
  19. Christodoulidou M, Charalambous C, Aletrari M, Nicolaidou Kanari P, Petronda A, Ward NI. Arsenic concentrations in groundwaters of Cyprus. *Journal of Hydrology*. 2012;468-469:94-100.
  20. Hanke K. *Arsenic: Environmental Chemistry, Health Threats and Waste Treatment*. 1th ed. New York: John

- Wiley; 2009.
21. Smedley PL, Kinniburgh DG. A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*. 2002;17(5):517-68.
  22. Mandal BK, Roy Choudhury T, Samanta G, Basu GK, Chowdhury PP, Chandra CR, et al. Arsenic in groundwater in seven districts of West Bengal, India-the biggest arsenic calamity in the world. *Current Science*. 1996;70(11):976-86.
  23. Maharjan M, Watanabe CH, Ahmad SKA, Ohtsuka R. Arsenic contamination in drinking water and skin manifestations in Lowland Nepal: the first community-based survey. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 2005;73(2):477-79.
  24. Ebrahimi meymand M. Evaluation of Arsenic dispersivity and the survey of the source of Arsenic in Groundwater of Rafsanjan plain and represent the suitable ways of removal arsenic [dissertation]. *Science in Environmental Geology(M.Sc)*: Shahid Bahonar University of Kerman; 2009 (in Persian).
  25. Hashemi Madani F. Investigation of arsenic concentration in underground water sources of Khatun Abad plain [dissertation]. *Science in Environmental Geology(M.Sc)*: Shahid Bahonar University of Kerman; 2018 (in Persian).
  26. Nazari Y, Abbasnejad A. Determining the Origin and Distribution of Arsenic in Groundwater in the Rayen Plain (Southeast of Kerman) using Statistical Techniques. *Scientific Quarterly Journal Geosciences*. 2015;24(94):117-28 (in Persian).
  27. Molaei Moghbeli M. The Investigation of Arsenic Concentration in Groundwater of Jiroft Plain: Causes and Potential Impacts [dissertation]. *Science in Environmental Geology (M.Sc)*: Shahid Bahonar University of Kerman; 2018 (in Persian).
  28. Kazemian R. Investigation of arsenic in underground water sources of Fahraj Plain [dissertation]. *Science in Environmental Geology(M.Sc)*: Shahid Bahonar University of Kerman; 2019 (in Persian).
  29. Kerman Regional Water Company. Report on the status of water resources in Kerman province in terms of the presence of arsenic; 2013 (in Persian).
  30. Amini M, Abbaspour KC, Berg M, Winkel L, Hug SJ, Hoehn E, et al. Statistical Modeling of Global Geogenic Arsenic Contamination in Groundwater. *Environmental Science & Technology*. 2008;42(10):3669-675.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Evaluation of spatial changes of arsenic in underground water resources of Sirjan basin

Mohsen Pourkhosravani<sup>1,\*</sup>, Fatemeh Jamshidi Gohari<sup>1</sup>, Nasrin Sayari<sup>2</sup>

1- Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2- Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 30 April 2023

**Revised:** 17 July 2023

**Accepted:** 22 July 2023

**Published:** 17 September 2023

**Keywords:** Arsenic, Cumulative effect, Underground water resources, Mineralization, Sirjan basin

**\*Corresponding Author:**

[pourkhosravani@uk.ac.ir](mailto:pourkhosravani@uk.ac.ir)

### ABSTRACT

**Background and Objective:** This research tries to analyze the spatial distribution and trend of arsenic level changes in the underground water resources of the Sirjan basin, and also to evaluate and analyze the factors affecting the concentration of this element in these water resources.

**Materials and Methods:** Sampling of underground water sources in the study area was done by systematic-random method and arsenic concentration was done by ICP-MS method in the laboratory. Also, to evaluate the factors affecting the concentration of arsenic in the underground water resources of Sirjan basin, the method of land systems analysis was used.

**Results:** The results of the research show that the amount of arsenic in all samples is higher than the Guidelines provided by the World Health Organization so the amount of this element in the underground water sources of the study area varies between 30 and 390 µg/L. Samples No. 9, 13, and 16, which are located in the deepest parts of the basin, have the highest amount of arsenic. For this reason, the durability of water in this part of the basin increases. This reduces the intensity of the current. As a result, according to the cumulative effect law, this process can lead to an increase in arsenic concentration.

**Conclusion:** The evaluation of changes in the concentration of arsenic in the underground water resources of the study area indicates that the concentration of this element had a high increasing trend. According to the results, the location of the studied area in the center of hydrothermal and geothermal processes (copper mineralization belt in Iran), the cumulative effect, and the effect of pH on the absorption and desorption of arsenic are among the most important factors affecting the increase of arsenic in the underground water resources of Sirjan Basin.

Please cite this article as: Pourkhosravani M, Jamshidi Gohari F, Sayari N. Evaluation of spatial changes of arsenic in underground water resources of Sirjan basin. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2023;16(2):287-302.

