

## بررسی توزیع مکانی - زمانی غلظت آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان

نگار فتحی<sup>۱</sup>، محمدباقر رهنما<sup>۲\*</sup>، محمد ذونعمت کرمانی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۹

### چکیده

آلودگی منابع آب زیرزمینی، یکی از مهمترین خطراتی است که اکوسیستم‌های طبیعی و سلامت انسان را تهدید می‌کند. از این رو بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی به دلیل تأمین بخش عمده‌ای از مصارف کشاورزی و شرب، از اهمیت خاصی برخوردار است و می‌تواند به مدیریت صحیح استفاده از منابع آبی کمک نماید. یکی از عوامل آلاینده‌ی آب‌های زیرزمینی، فلزات سنگین بویژه آرسنیک است که مقادیر بیش از حد آن باعث ایجاد مشکلات متعددی از قبیل بیماری‌های مختلف می‌شود. آلودگی منابع آب زیرزمینی به آرسنیک در بیشتر نقاط جهان و ایران، به ویژه در استان کرمان گزارش شده است. در تحقیق حاضر، به بررسی توزیع مکانی و تغییرات زمانی آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان، واقع در استان کرمان پرداخته شده است. برای این منظور نمونه‌برداری از ۲۲ منبع آب زیرزمینی (چاه‌های کشاورزی، شرب و قنات)، با توزیع مکانی مناسب در دشت به صورت فصلی (از زمستان ۹۴ تا بهار ۹۶)، صورت گرفت و میزان آرسنیک موجود در منابع آب اندازه‌گیری شد. بررسی توزیع مکانی نشان داد که غلظت آرسنیک در نمونه‌های آب زیرزمینی از ۱ μg/l تا ۲۰۰ μg/l متغیر می‌باشد. بیشترین مقدار غلظت آرسنیک در شمال شرق دشت و قسمت‌هایی از نواحی مرکزی وجود دارد و به سمت شمال و جنوب دشت، روندی کاهشی دارد. با بررسی‌های انجام گرفته مشخص شد که ۶۸٪ از آب‌های موجود در دشت برای شرب از نظر استاندارد (۱۰ ppb)، مناسب نمی‌باشند. همچنین نتایج حاصل از نمونه‌برداری فصلی و بررسی تراز آب چاه‌های پیرومتری، نشان داد که با افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی و کاهش تراز سطح آب، با گذشت زمان غلظت آرسنیک افزایش یافته است و می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در صورت ادامه اضافه برداشت از آب‌های زیرزمینی و کاهش بیشتر سطح آب زیرزمینی، پتانسیل افزایش غلظت آرسنیک وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: آرسنیک، آلودگی، آب‌های زیرزمینی، توزیع مکانی، تغییرات زمانی

### مقدمه

می‌شود. بیشترین مقدار آرسنیک داخل آب، ناشی از آزاد شدن آرسنیک سنگ‌ها و رسوبات است (Ahuja., 2008). غلظت آرسنیک در خاک‌ها، بیشتر از سنگ‌هاست (Yan-Chu., 1994). به طور کلی خاک‌های رسی و سیلتی حاوی مقدار بیشتری آرسنیک نسبت به خاک‌های ماسه‌ای هستند (Ravenscroft., 2009). آرسنیک به راحتی در داخل آب حل می‌شود و نسبت به دیگر عناصر متحرک‌تر می‌باشد. اگر سازند در برگیرنده آبخوان، دارای آرسنیک باشد، به راحتی باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌گردد. آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، حداکثر مجاز غلظت آرسنیک در آب آشامیدنی در سال ۱۹۹۳ را از ۵۰ به ۱۰ میکروگرم در لیتر کاهش داده است (Kartinen&Martin., 1995).

غلظت بالای آرسنیک در منابع آب بسیاری از نواحی جهان مانند بنگلادش، هند، نپال، تایلند، چین، تایوان، ویتنام، شیلی، بخش‌هایی از آمریکا و برخی بخش‌های اروپا (رومانی، صربستان، مجارستان)، دیده شده است (Smedley&Kinniburgh., 2002).

بینژو و همکاران، به بررسی توزیع مکانی آرسنیک در منابع آب

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع تأمین آب برای میلیون‌ها نفر در جهان بوده و آلوده شدن آن‌ها تأثیرات عمده‌ای بر سلامت انسانها، فعالیت صنایع، کشاورزی و محیط زیست دارد (Jousma et al., 1987). آلودگی سفره آب زیرزمینی به آرسنیک، یکی از وسیع‌ترین و نگران‌کننده‌ترین مشکلات حال حاضر است که بشر با آن روبه‌رو است (FiJohn et al., 2014). بیش از صد میلیون نفر از مردم در جنوب و جنوب شرقی آسیا، بر اثر مصرف آب‌های زیرزمینی آلوده به آرسنیک در معرض خطر قرار دارند (Ravenscroft et al., 2009). آرسنیک شبه فلزی است که معمولاً در همه جای پوسته زمین یافت می‌شود (Smedley&Kinniburgh., 2002). این عنصر با ظرفیت‌های مختلف و نیز به صورت معدنی و آلی در طبیعت یافت

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- دانشیار بخش مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- دانشیار بخش مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان

(Email: mbr@uk.ac.ir)

\*- نویسنده مسئول:

بخش‌های شهرستان چارامیواق استان آذربایجان شرقی توسط مسافری و همکاران (۱۳۸۷)، انجام شد، تعداد ۲۱۰ روستا از نظر میزان آرسنیک در آب‌های زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفت که در آن‌ها دامنه غلظت آرسنیک از ۰ تا ۵۰۰ میکروگرم در لیتر بدست آمد. در آب شرب ۴۱ روستا آرسنیک وجود داشت. در ۳ روستای ماخوله، بابونه و حمام، غلظت آرسنیک بالاتر از ۵۰۰ میکروگرم در لیتر قرار داشت که این میزان ۵۰ برابر استاندارد سازمان بهداشت جهانی بود. در ۳۸ روستا نیز غلظت مشاهده شده در دامنه ۷۵-۱۰ میکروگرم در لیتر مشاهده گردیده است. علت بالا بودن آرسنیک در این روستاها به دلیل ساختار و کیفیت زمین‌شناسی منطقه است.

اردکانی و همکاران (۱۳۹۳)، غلظت برخی از عناصر سنگین از جمله آرسنیک را در منابع آب زیرزمینی دشت رزن بررسی و با استفاده از مدل‌های زمین آماری، نقشه پهنه‌بندی عناصر مربوطه را تهیه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه کمتر از استانداردهای تعیین شده توسط WHO می‌باشد.

بابایی و همکاران (۱۳۸۷)، بر روی آلودگی رودخانه چیلو منطقه کاشمر مطالعاتی را انجام دادند. بررسی‌های آن‌ها نشان داد که در تمام ۹ ایستگاه نمونه‌برداری در طول رودخانه، آلودگی به آرسنیک وجود دارد. دامنه غلظت آرسنیک در فصل پاییز ۲۸/۸-۱۰ میکروگرم در لیتر بود و میانگین غلظت آرسنیک در فصل زمستان بیش از فصول دیگر بود. آن‌ها این احتمال را دادند که این نوسانات متأثر از میزان بارش و نفوذ آب از لایه‌های زمین در جذب آرسنیک‌باشد.

دهقانی و همکاران (۱۳۸۹)، مطالعه‌ای را بر روی منابع آب زیرزمینی دشت انار در استان کرمان انجام دادند. از ۲۱ حلقه چاه مورد آزمایش، دامنه غلظت آرسنیک بین صفر تا ۹۶ میکروگرم در لیتر بدست آمد. در این مطالعه بیشترین غلظت آرسنیک مربوط به بخش‌های جنوب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه بود که در این مناطق معادن مس قرار دارند. بر اساس شواهد، آرسنیک از رگه‌های سولفیدی این معادن آزاد گردیده و در جهت شیب آب زیرزمینی به این نقاط راه یافته است. به نظر محقق، استفاده از آفت‌کش‌های حاوی آرسنیک در باغ‌های پسته در آلودگی برخی نمونه‌های موجود در بخش میانی دشت انار نقش داشته است.

قاسم زاده و همکاران (۱۳۸۹)، مطالعه‌ای را بر روی آب زیرزمینی روستاهای حسن آباد و ارغش در منطقه چشمه زرد نیشابور انجام دادند. تحقیقات آن‌ها نشان داد که میزان آرسنیک روستای حسن آباد بین ۲۶۶-۱۲۶ میکروگرم در لیتر می‌باشد که این میزان حدود ۲۲ برابر حد استاندارد WHO می‌باشد. علت آلودگی، فعالیت‌های معدن کاری و رهاسازی دیوهای باطله در حریم آبراهه‌های اصلی اعلام گردیده است.

هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی توزیع مکانی و تغییرات زمانی آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان می‌باشد.

زیرزمینی نواحی شمالی، شرقی و جنوبی سین کیانگ<sup>۱</sup> چین پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که بیش از ۱۲ درصد از منابع آب زیرزمینی، آرسنیک بیش از  $10 \mu\text{g/l}$  دارند و غلظت آرسنیک با افزایش عمق نمونه‌برداری، افزایش می‌یابد (Yinzhu et al., 2017). شرسا و همکاران، تحقیقی با هدف بررسی آلودگی منابع آب زیرزمینی به آرسنیک، در روستای کاتماندو<sup>۲</sup>، واقع در نپال انجام دادند. آنها ۴۱ نمونه آب زیرزمینی، از چاه‌هایی به اعماق ۸۴ تا ۳۰۴ متر، در طی فصول پیش از مانسون و پس از مانسون، برداشت و مورد آنالیز قرار دادند. نتایج نشان داد که دامنه تغییرات غلظت آرسنیک بین ۳ تا ۱۳۷ میلی گرم بر لیتر می‌باشد و غلظت آرسنیک در چاه‌های نمونه‌برداری، در فصول پیش از مانسون و پس از مانسون، به ترتیب، ۱۷ و ۲۶ درصد، پیش از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی ( $10 \mu\text{g/l}$ )، است (Shrestha, et al., 2015).

ایشوار و همکاران، به بررسی تغییرات مکانی و زمانی غلظت آرسنیک در آب‌های زیرزمینی حوضه گانگس<sup>۳</sup> در نپال پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که میانگین غلظت آرسنیک در فصل تابستان، حداکثر ( $310 \mu\text{g/l}$ ) و در فصل زمستان، حداقل ( $36/7 \mu\text{g/l}$ ) است. آن‌ها بیان کردند که تغییرات مکانی غلظت آرسنیک، احتمالاً به علت شرایط جغرافیایی منطقه و عمق چاه‌ها می‌باشد (Ishwar et al., 2014).

شوانگباو و همکاران، تغییرات مکانی آرسنیک در دشت بینچوان چین<sup>۴</sup>، انجام دادند. تحقیقات آن‌ها نشان داد که آرسنیک در آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، تغییرات مکانی قابل توجهی دارد. غلظت آرسنیک در آب‌های زیرزمینی عمیق‌تر (۲۵۰-۴۰ متر) به استثنای ۷ چاه، کمتر از  $10 \mu\text{g/l}$  با میانگین  $7 \mu\text{g/l}$  و در آب‌های زیرزمینی کم‌عمق‌تر (۴۰-۴ متر)، غلظت آرسنیک از  $1 \mu\text{g/l}$  تا  $177 \mu\text{g/l}$  متغیر می‌باشد (Shuangbao et al., 2013).

فرانسیسکا و همکاران در ارزیابی آرسنیک موجود در آب زیرزمینی از روش‌های زمین آمار برای تعیین توزیع مکانی آرسنیک استفاده کردند و نتیجه گرفتند که بیش از ۹۰ درصد منطقه از حد استاندارد آرسنیک تجاوز کرده است (Francisca et al., 2009). جین جینگ و همکاران، نقشه توزیع مکانی آرسنیک را با استفاده از روش کریجینگ در دشت لانیانگ واقع در شمال شرقی تایوان، تهیه و مناطق بحرانی آب زیرزمینی دشت را شناسایی نمود (Jin et al., 2007).

در ایران نیز آلودگی منابع آبی به آرسنیک در سال‌های گذشته بررسی شده است. در مطالعه‌ای که بر روی منابع آب شرب روستاها و

- 1- Xinjiang
- 2- Kathmandu
- 3- Ganges
- 4- Yinchuan

## مواد و روش‌ها

میانگین غلظت آرسنیک در نمونه‌های آب زیرزمینی از  $1 \mu\text{g/l}$  تا  $187 \mu\text{g/l}$  متغیر می‌باشد (شکل ۲- ج). در شکل شماره ۳، نمودار میله‌ای میانگین غلظت آرسنیک نشان می‌دهد که  $68/1$  درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی، آرسنیک بیش از حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) دارند و به عبارتی تنها ۷ عدد از نمونه‌ها آرسنیک کمتر از  $10 \mu\text{g/l}$  دارند.

### توزیع زمانی آرسنیک

اشکال ۴ تا ۷ برای نمونه، روند تغییرات زمانی آرسنیک را نسبت به تراز سطح آب زیرزمینی در چاه‌های نمونه‌برداری واقع در شمال، شمال شرق و مرکز دشت (نمونه‌های ۱۴، ۲، ۳ و ۴) نشان می‌دهند. مشاهده می‌شود که در اشکال فوق، علاوه بر نمونه‌برداری که از زمستان ۹۴ تا بهار ۹۶ بصورت فصلی در دشت سیرجان انجام گرفته، از داده‌های تابستان سال ۹۲ شرکت آبفای روستایی استان برای برخی چاه‌ها، استفاده شده است. همان‌گونه که در اشکال مذکور مشاهده می‌گردد، با افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی و کاهش سطح آب، با گذشت زمان، غلظت آرسنیک افزایش یافته است. شکل شماره ۸، نمودار میله‌ای غلظت آرسنیک آب زیرزمینی دشت سیرجان در نقاطی که غلظت آرسنیک بیش از حد مجاز استاندارد جهانی ( $10 \mu\text{g/l}$ ) است، در طی فصول نمونه‌برداری نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که در تعدادی از نقاط، در بهار ۹۶، غلظت آرسنیک نسبت به دوران قبلی کاهش یافته است (شکل ۷)، که دلیل آن بارش‌های مورخ  $95/10/30$  لغایت  $95/11/3$  و  $95/12/29$  به میزان  $243$  میلی‌متر (شرکت آب منطقه‌ای کرمان، اداره مطالعات پایه منابع آب) که منجر به وقوع سیلاب و تغذیه منابع آب زیرزمینی و در نتیجه، افزایش تراز آب زیرزمینی در آن مناطق می‌باشد. لازم به ذکر است که علی‌رغم وقوع بارندگی شدید، در برخی از نقاط دشت، روند کاهشی سطحی آب زیرزمینی حفظ گردیده و غلظت آرسنیک افزایش یافته است. شکل ۹ نمودار روند تغییرات تراز آب زیرزمینی برای نمونه شماره ۴، از شهریور ماه ۹۰ تا اسفندماه ۹۶ که از اداره مطالعات شرکت آب منطقه‌ای کرمان اخذ گردیده، نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه، جهت بررسی توزیع مکانی و زمانی آرسنیک دشت سیرجان، نمونه‌برداری از ۲۲ منبع آب زیرزمینی با توزیع مناسب در دشت به صورت فصلی (زمستان ۹۴-بهار ۹۶)، صورت گرفت. نتایج حاصله نشان داد که دامنه تغییرات غلظت آرسنیک در نمونه‌های آب زیرزمینی از  $1 \mu\text{g/l}$  تا  $200 \mu\text{g/l}$  متغیر می‌باشد و  $68/1$  درصد از آب‌های موجود دشت برای شرب از نظر استاندارد ( $10 \text{ppb}$ ) مناسب نمی‌باشند.

محدوده مطالعاتی، دشت سیرجان می‌باشد که با وسعتی حدود  $7921$  کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی  $55$  درجه و  $15$  دقیقه تا  $56$  درجه و  $26$  دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $28$  درجه و  $52$  دقیقه تا  $29$  درجه و  $57$  دقیقه شمالی، در غرب استان کرمان واقع شده است. در این دشت منابع آب زیرزمینی، بیشتر آب مورد نیاز برای شرب، کشاورزی و صنعت را تأمین می‌کند. آب و هوای منطقه سیرجان از نوع نیمه بیابانی و خشک است. متوسط بارندگی سالیانه بر اساس گرادیان بارندگی ۱۱ ایستگاه باران سنجی موجود در دشت سیرجان، برابر  $150$  میلی‌متر می‌باشد (مهندسین مشاور آبخوان، ۱۳۹۲).

پس از انجام مطالعات اولیه میدانی و با در نظر گرفتن موقعیت چاه‌های پیژومتری، در نقاطی از سطح دشت که چاه‌های فعال با کاربری شرب و کشاورزی مستقر بودند و اجازه برداشت از آب چاه وجود داشت، ۲۲ حلقه چاه انتخاب و پس از ثبت مختصات جغرافیایی توسط دستگاه GPS، نمونه‌برداری از آب طی ۵ مرحله به صورت فصلی از زمستان ۹۴ تا بهار ۹۶ انجام شد. این نمونه‌ها به روش ICP-MMS مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند.

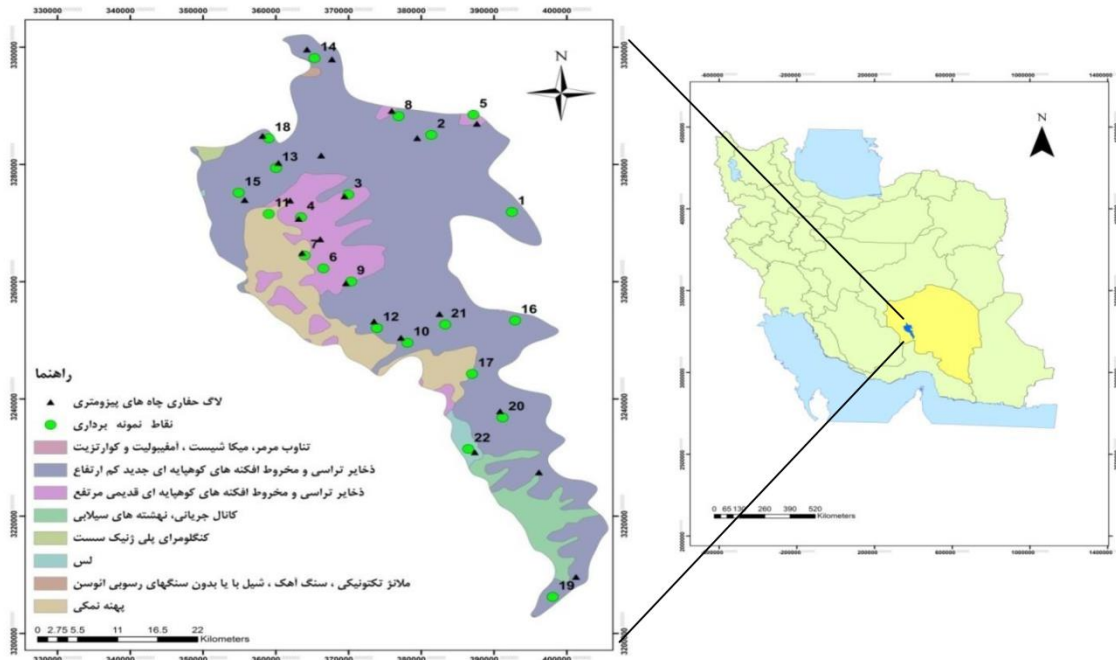
نمونه‌برداری، مطابق با دستورالعمل نمونه‌برداری آب زیرزمینی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA)<sup>۱</sup>، انجام شد. در جدول شماره ۱ نتایج حاصل از نمونه‌برداری‌ها آورده شده است. لازم به ذکر می‌باشد که برای برداشت نمونه آب از چاه، نمونه‌برداری حداقل  $10$  دقیقه پس از شروع کار پمپاژ انجام گرفت تا آب‌های راکد که ممکن است تغییراتی در کیفیت آن ایجاد کنند، از چاه خارج گردند. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی، نقشه زمین‌شناسی و لاگ‌های حفاری چاه‌های پیژومتری به همراه موقعیت مکانی نقاط نمونه‌برداری در سطح دشت را نشان می‌دهد.

## نتایج و بحث

### بررسی توزیع مکانی آرسنیک

جهت بررسی توزیع مکانی آرسنیک، در محیط ArcGIS 10.1، دورن‌یابی به روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)<sup>۲</sup>، صورت گرفت و نقشه پهنه‌بندی آرسنیک برای فصول مختلف نمونه‌برداری تهیه گردید (شکل ۲). همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، بیشترین مقدار غلظت آرسنیک در شمال شرق دشت و قسمت‌هایی از نواحی مرکزی وجود دارد و به سمت شمال و جنوب دشت روندی کاهشی دارد. همچنین،

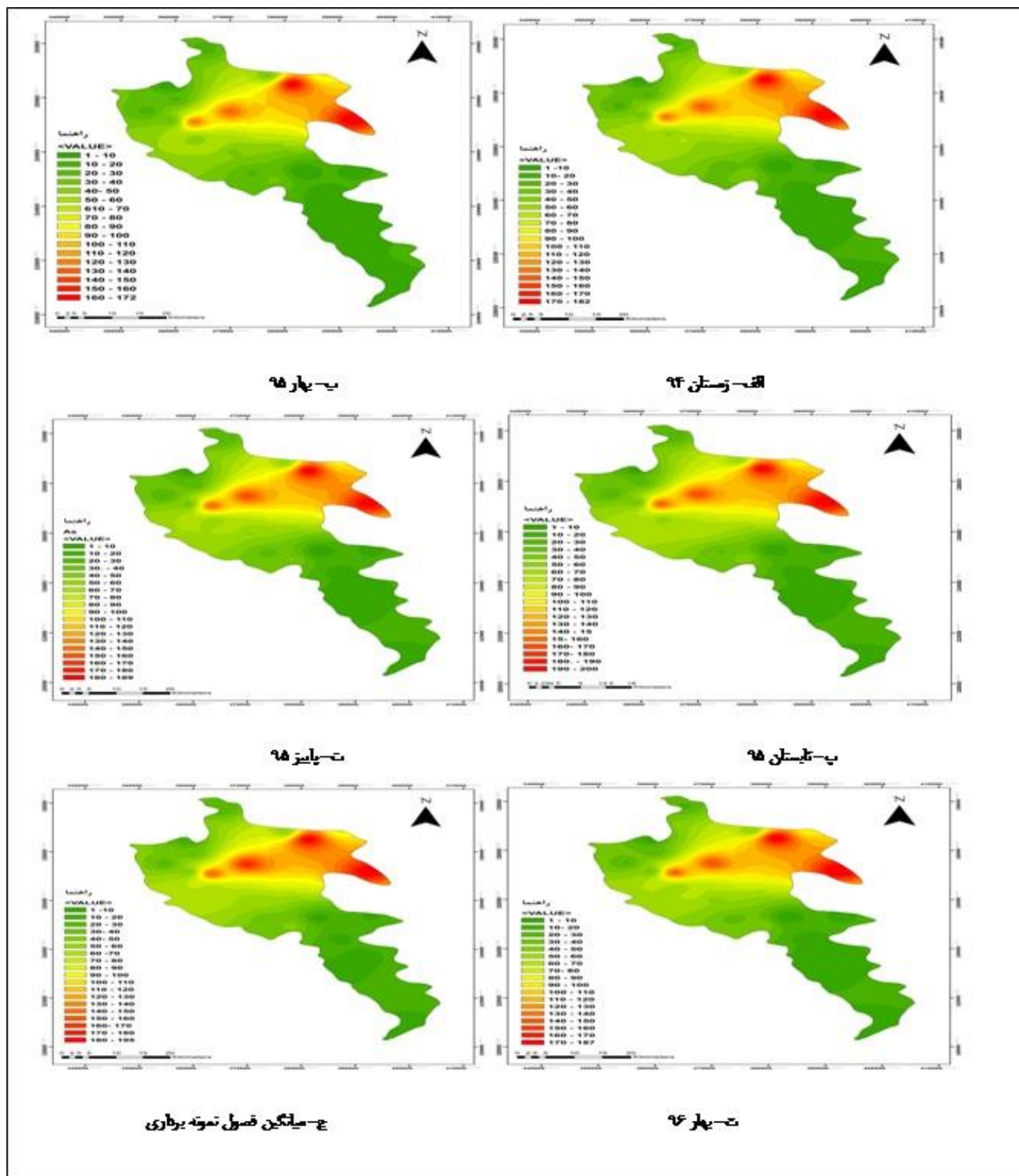
- 1- Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry
- 2- Environmental Protection Agency
- 3- Inverse Distance Weighting



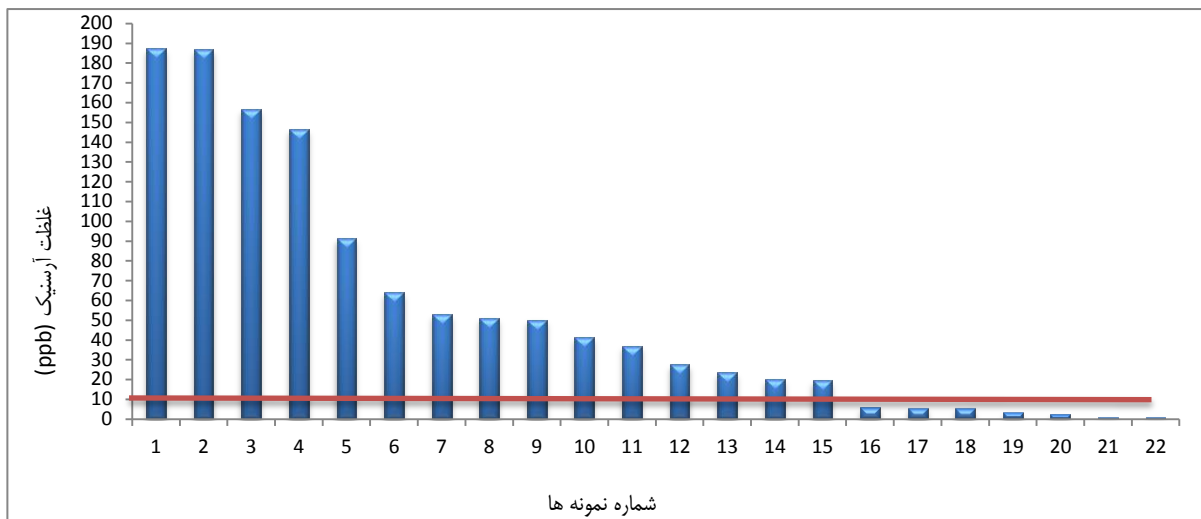
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی، نقشه زمین شناسی، لاگ چاه‌ها پیژومتری و موقعیت مکانی نقاط نمونه برداری دشت سیرجان

جدول ۱- نتایج نمونه برداری آرسنیک منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان بر حسب ppb (زمستان ۹۴-بهار ۹۶)

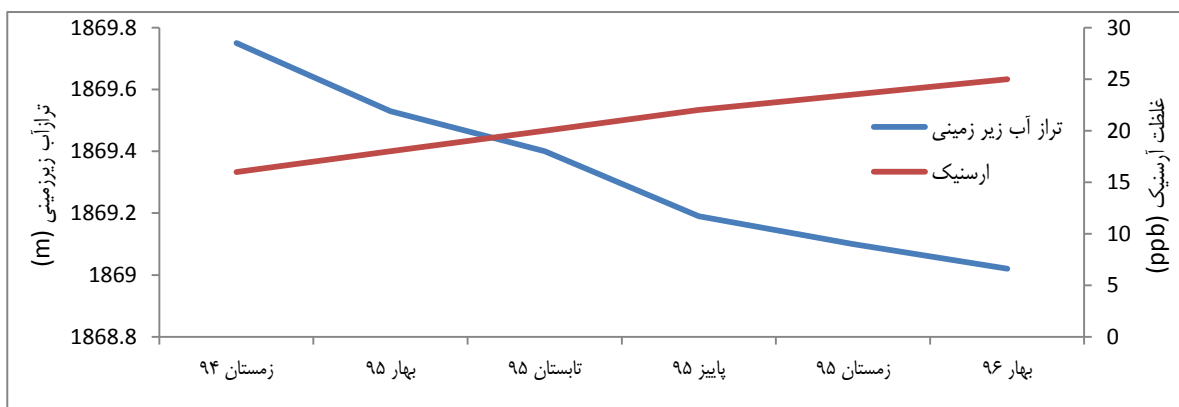
x	y	شماره نمونه	زمستان ۹۴	بهار ۹۵	تابستان ۹۵	پاییز ۹۵	بهار ۹۶
۳۹۲۴۵۹	۳۲۷۱۹۰۳	۱	۱۷۲	۱۸۲	۱۸۶	۲۰۰	۱۹۵
۳۸۱۳۸۹	۳۲۸۵۰۵۰	۲	۱۷۰	۱۸۰	۱۸۹	۱۹۲	۱۹۵
۳۶۹۹۸۲	۳۲۷۴۸۶۳	۳	۱۳۵	۱۴۵	۱۶۰	۱۶۸	۱۷۵
۳۶۳۴۷۳	۳۲۷۱۰۱۸	۴	۱۲۸	۱۳۸	۱۵۰	۱۶۱	۱۵۰
۳۸۷۱۷۲	۳۲۸۱۴۹۴	۵	۸۰	۸۹	۹۸	۱۰۰	۹۰
۳۶۶۴۵۴	۳۲۶۲۲۷۴	۶	۵۹	۶۲	۶۴/۵	۶۶	۶۸
۳۶۳۹۷۶	۳۲۶۴۴۸۶	۷	۴۶	۵۰	۵۳	۵۶	۶۰
۳۷۶۸۹۶	۳۲۸۱۲۵۳	۸	۴۰	۵۰	۵۵	۶۰	۵۰
۳۷۰۳۶۲	۳۲۶۰۰۳۴	۹	۴۰	۴۵	۵۰	۶۵	۵۰
۳۷۸۱۱۴	۳۲۴۹۵۹۵	۱۰	۳۳	۳۸	۴۱	۴۵	۴۳
۳۵۹۰۴۳	۳۲۷۱۵۶۱	۱۱	۳۰	۳۶	۳۷/۵	۳۹	۴۲
۳۷۳۹۱۶	۳۲۵۲۱۰۷	۱۲	۲۰	۲۵	۲۸	۳۰/۲	۳۵
۳۶۰۰۴۴	۳۲۷۹۴۰۰	۱۳	۱۹/۴	۲۰	۲۲	۲۶	۳۰
۳۵۴۹۰۷	۳۲۷۵۱۷۷	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۲۵
۳۶۵۳۳۸	۳۲۹۸۱۶۳	۱۵	۱۷	۲۰	۲۱	۲۱	۱۹
۳۵۹۰۳۷	۳۲۸۴۴۷۳	۱۶	۳	۵	۶	۶	۹
۳۹۲۸۹۹	۳۲۵۳۳۹۹	۱۷	۵	۵	۶	۷	۵
۳۸۶۹۷۹	۳۲۴۴۲۸۲	۱۸	۴	۶	۶	۶	۶
۳۹۱۱۸۴	۳۲۳۶۸۴۸	۱۹	۲	۳	۴	۴	۵
۳۹۸۰۶۸	۳۲۰۶۲۴۲	۲۰	۳	۳	۳	۳	۳
۳۸۳۲۹۴	۳۲۵۲۷۰۴	۲۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳۸۶۴۶۵	۳۲۳۱۴۷۷	۲۲	۱	۱	۱	۱	۱



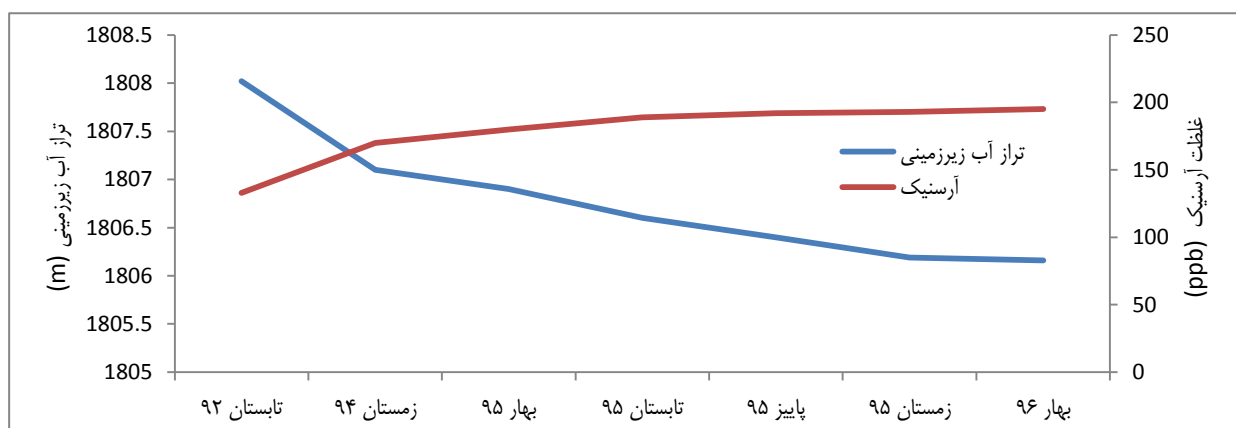
شکل ۲- پهنه‌بندی آرسنیک منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان طی فصول نمونه‌برداری



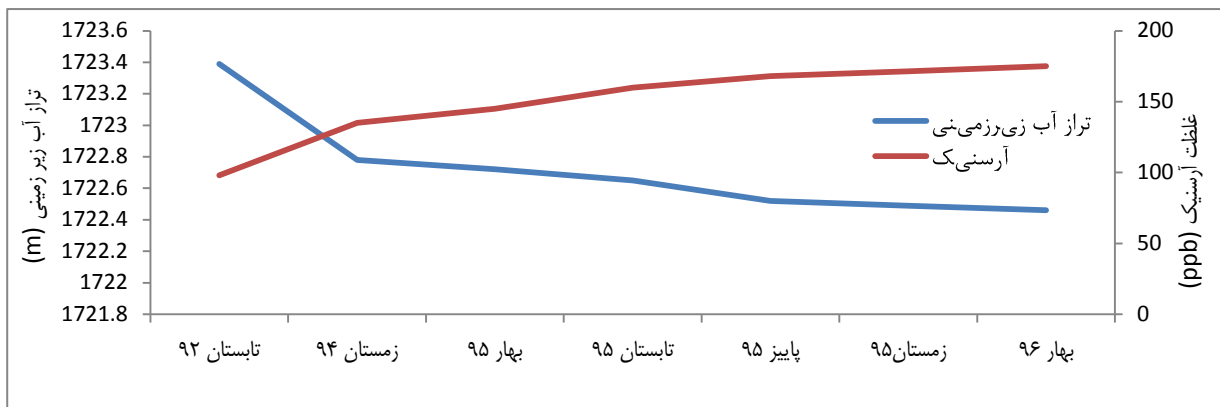
شکل ۳- نمودار میله‌ای میانگین غلظت آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان طی فصول نمونه‌برداری



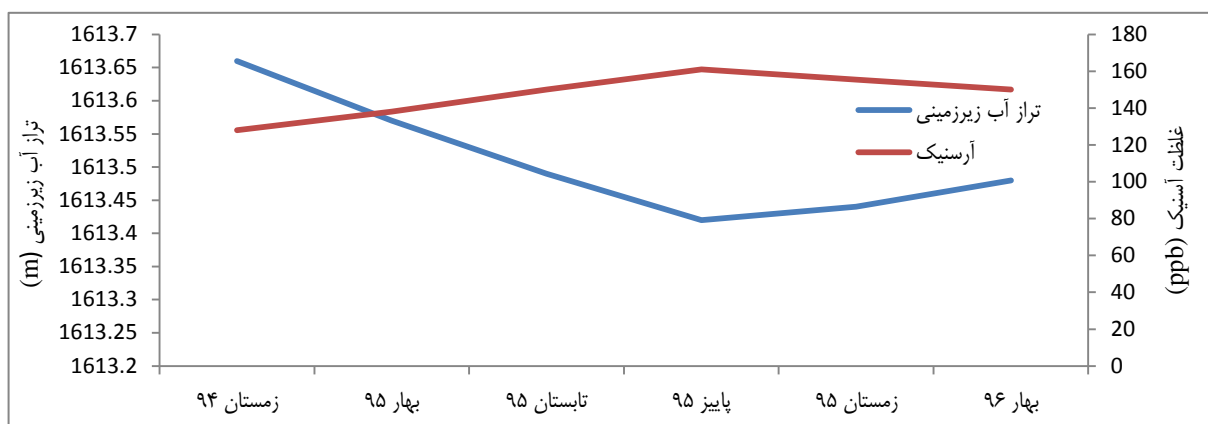
شکل ۴- نمودار تغییرات آرسنیک نسبت به تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی طی دوران نمونه‌برداری (نمونه شماره ۱۴)



شکل ۵- نمودار تغییرات آرسنیک نسبت به تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی طی دوران نمونه‌برداری (نمونه شماره ۲)



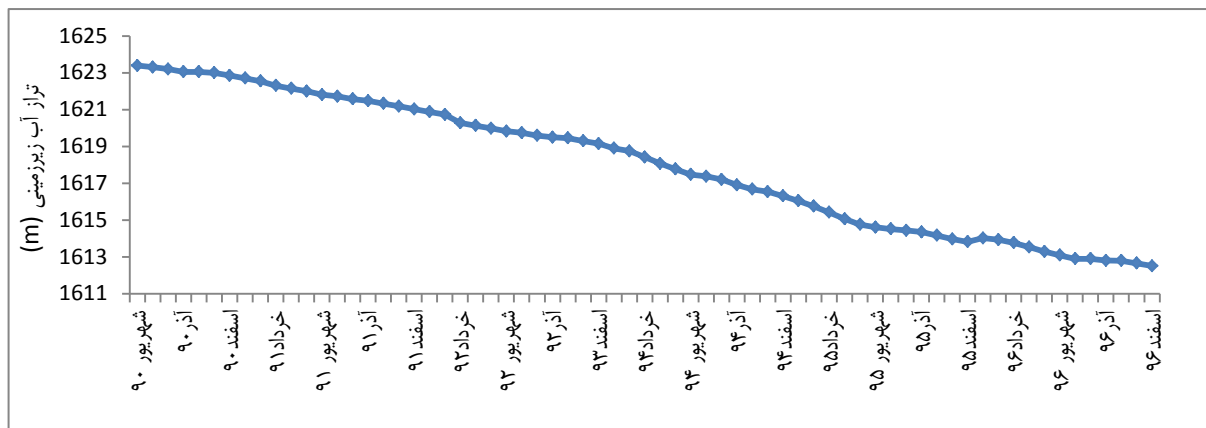
شکل ۶- نمودار تغییرات آرسنیک نسبت به تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی طی دوران نمونه برداری (نمونه شماره ۳)



شکل ۷- نمودار تغییرات آرسنیک نسبت به تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی طی دوران نمونه برداری (نمونه شماره ۴)



شکل ۸- نمودار میله‌ای تغییرات زمانی آرسنیک دشت سیرجان (زمستان ۹۴- بهار ۹۶)



شکل ۹- نمودار روند تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت سیرجان (نمونه شماره ۴)

مسافری، م.، تقی پور، ح.، حسینی، ا.، برقی، م.، کرد آباد، ز.، قدیرزاده، ا. ۱۳۸۷. بررسی میزان آرسنیک در آب شرب: یک مطالعه موردی. مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران. دوره اول، شماره اول، صفحات ۱۹ تا ۲۸.

مطالعات بهنگام سازی بیلان منابع آب حوزه آبریز کویرهای ابرقو سیرجان. مهندسین مشاور آبخوان. ۱۳۹۲. جلد سوم گزارش آب زیرزمینی

FiJohn, C., Pin-An, C., Chen-Wuing, L., Vivian Hsiu-Chuan, L., Chung-Min, L. 2014. Regional estimation of groundwater arsenic concentrations through systematical dynamic-neural modeling. Journal of Hydrology 265-274.

Francisca, F. M., Carro, M. E. 2009. Assessment of natural in groundwater in Cordoba Province, Argentina, Environmental Geochemistry and Health, 31: 673-682

Ishwar, C., Ningombam, L., Devi, S. 2014. Spatial and temporal variation in arsenic in the groundwater of upstream of Ganges River Basin, Nepal, Environ Earth Sci.

Jin-Jing, L., Cheng-Shin, J., Sheng-Wei, W., Chen-Wuing, L. 2007. Evaluation of potential health risk of arsenic-affected ground water using indicator kriging and dose response model. Science of the Total Environment. 384: (151-162).

Jousma, G., Bear, J., Haimes, Y. Y., Walter, F. 1987- Groundwater contamination: Use of models in decision-making, Kluwer Academic Publisher, p. 178.

Kartinen, E. O., Martin, C. J. 1995. An overview of arsenic removal processes. Desalination, 103 (1-2), 78-88.

Ravenscroft, P., Brammer, H., Richards, K. S. 2009. Arsenic pollution a global synthesis. Wiley

مقایسه نقشه پهنه بندی مکانی در طول دوره نمونه برداری نشان داد که میزان غلظت آرسنیک از روند افزایشی برخوردار است و در نواحی شمال شرقی دشت، شدت این افزایش بیشتر می باشد. بیشترین مقادیر غلظت آرسنیک در شمال شرق دشت و قسمت هایی از نواحی مرکزی وجود دارد و به سمت شمال و جنوب دشت روندی کاهشی دارد. بطوریکه می توان چاه های واقع در قسمت های جنوبی دشت را جز منابع ایمن از نظر آلودگی به آرسنیک برشمرد. همچنین نتایج حاصل از نمونه برداری فصلی و بررسی تراز آب چاه های پیژومتری، نشان داد که با افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی و کاهش تراز سطح آب، با گذشت زمان غلظت آرسنیک افزایش یافته است و می توان نتیجه گیری کرد که در صورت ادامه اضافه برداشت از آب های زیرزمینی و کاهش بیشتر سطح آب زیرزمینی، پتانسیل افزایش غلظت آرسنیک وجود دارد.

## منابع

اردکانی، س.، جمالی، م. ۱۳۹۳. توزیع مکانی آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت رزن استان همدان. هفتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست

بابایی، ی.، علوی مقدم، م.، قاسم زاده، ف.، ارباب زوار، م. ۱۳۸۷. بررسی آلودگی آب های سطحی کوهسرخ کاشمر به آرسنیک. علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره دهم، شماره ۳.

دهقانی، م.، عباس نژاد، ا. ۱۳۸۹. آلودگی سفره آب زیرزمینی به نیترات، سرب و کادمیوم، محیط شناسی، سال سی و ششم، شماره ۵۶، صفحه ۸۷-۱۰۰.

قاسم زاده، ف.، سفارودی، م. ۱۳۸۹. اثرات زیست محیطی آرسنیک در منطقه چشمه زرد جنوب غربی نیشاپور استان خراسان رضوی. بلورشناسی و کانی شناسی ایران



- Shrestha, S.M., Rijal, K., Pokhrel, M.R. 2015. Assessment of Arsenic Contamination in Deep Groundwater Resources of the Kathmandu Valley, Nepal. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. Pages 79-89
- Yan-Chu, H. 1994- Arsenic Distribution in Soils. In: *Arsenic in The Environment, Part I, Cycling and Characterization*, Ed. J. O. Nriagu, p. 17- 51
- Yinzhu, Z., Yanyan, Z., Jinlong, Z., Huaming, G., Qiao, L., Rui, J., Yunfei, C., Jiangtao, Z. 2017. Distribution of groundwater arsenic in Xinjiang, P.R. China. *Journal of Applied Geochemistry* Volume 77, Pages 116-125
- Blackwell, U. K
- Ahuja, F. 2008, *Arsenic contamination of groundwater*. John Wiley, 382 page.
- Smedley, P. L., Kinniburgh, D. G. 2002-A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural water. *Appl. Geochem.*, 17(5):517-568.
- Shuangbao, H., Fucun, Z., Hui, Z., Yonghui, A., Yushan, W., Xi, W., Cheng, W. 2013. Spatial and temporal patterns of groundwater arsenic in shallow and deep groundwater of Yinchuan Plain, China. *Journal of Geochemical Exploration* 71-78.

## Spatial Distribution and Temporal Variability of Arsenic in Groundwater Resources of Sirjan Plain

N.Fathi<sup>1</sup>, M.Rahnama<sup>2\*</sup>, M.Zounemat Kermani<sup>3</sup>

Received: Aug.20, 2018

Accepted: Oct.01, 2018

### Abstract

Groundwater contamination is one of the most important threats to natural ecosystems and human health. Therefore, groundwater quality assessment, due to the provision of a large part of agricultural and drinking consumption, is very important and can help improve the management of water resources. One of the causes of groundwater pollution is the existence of heavy metals, especially arsenic, the overload of which causes many problems, such as various diseases. Groundwater pollution with arsenic has been reported in most parts of the world and Iran, specifically Kerman Province. In the present study, spatial distribution and temporal variability of arsenic in groundwater resources of Sirjan Plain, located in Kerman Province, are investigated. For this purpose, sampling was performed from 22 groundwater resources (agricultural wells, drinking water and qanats) with suitable spatial distribution in the plain on the seasonal basis (from winter 2015 to spring 2017) and the amount of arsenic in the water resources was measured. The spatial distribution analysis showed that the concentration of arsenic in groundwater samples varied from  $1\mu\text{g/l}$  to  $200\mu\text{g/l}$ . The highest concentrations of arsenic was in the northeastern part of the plain and in parts of the central area, and a decreasing trend was found towards the north and south of the plain. It was shown that 68% of the available water was not suitable for drinking. Also, results of the seasonal sampling and the assessment of groundwater level showed that, with the increasing discharge of groundwater resources and reducing level of groundwater, arsenic concentration was increased. It can be concluded that, with the excessive discharge of groundwater and further decrease in the level of groundwater, there was a potential for increasing arsenic concentration.

**keywords:** Arsenic, Contamination, Groundwater, Spatial Distribution, Temporal Variability

---

1- Ph.D. Candidate of Water Structures, ShahidBahonar University of Kerman  
2- Department of Water Engineering, ShahidBahonar University, Kerman, Iran  
3- Department of Water Engineering, ShahidBahonar University, Kerman, Iran  
(\*- Corresponding Author Email: : mbr@uk.ac.ir)