Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 13, Oct.-Nov. 2019, p. 881-893

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۳، مهر - آبان ۱۳۹۸، ص. ۸۹۳-۸۸۱

بررسی مکانسیم حاکم بر آزادسازی آرسنیک و پیش‌بینی تغییرات غلظت آن در منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت سیرجان)

نگار فتحی[۱]، محمدباقر رهنما[*۲]، محمد ذونعمت کرمانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۲

چکیده

در میان عناصر سنگین، آرسنیک به عنوان یک عنصر سرطان‌زا شناسایی شده است و غلظت‌های زیاد آن در منابع آب می‌تواند یک نگرانی بزرگ برای سلامتی عمومی و محیط زیست ایجاد نماید. آلودگی منابع آب به آرسنیک در بسیاری از نقاط جهان و ایران، ازجمله در برخی نواحی استان کرمان گزارش شده است. در تحقیق حاضر، به بررسی مکانسیم حاکم بر رهاسازی آرسنیک و پیش‌بینی تغییرات غلظت آن در منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان، واقع در استان کرمان پرداخته شده است. بدین منظور، پس از انجام مطالعات اولیه میدانی و با در نظر گرفتن موقعیت لاگ حفاری چاه‌های پیزومتری، ۲۱ حلقه چاه پیزومتری در سطح دشت انتخاب و به بررسی لایه‌های رس موجود در آن‌ها پرداخته شد. سپس، اقدام به نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی بصورت فصلی از چاه‌های کشاورزی و شرب در نزدیکی چاه‌های پیزومتری، با هدف بررسی رابطه میان میزان ضخامت لایه رس و غلظت آرسنیک در منطقه گردید. نتایج حاصله، نشان داد که غلظت آرسنیک ارتباط مستقیم با بافت رسی لایه‌های زمین دارد. بطوریکه بالا بودن غلظت آرسنیک، مربوط به تخلیه آب زیرزمینی از لایه رسی و اکسید شدن و انحلال آرسنیک در آب زیرزمینی است. بنابراین چرخه اکسیداسیون – احیاء یکی از عوامل مؤثر بر آزاد سازی آرسنیک در منطقه می‌باشد. سپس، با هدف پیش‌بینی تغییرات غلظت آرسنیک طی ۵ سال آتی، اقدام به مدلسازی کمی دشت، با استفاده از نرم افزار GMS گردید و تمرکز بر روی چاه‌های پیزومتری که با توجه به افت سطح آب و وجود لایه رسی، احتمال افزایش ضخامت رس غیر اشباع در آن‌ها وجود داشت، قرار گرفت. بر پایه نتایج حاصل از مدلسازی و بر اساس روابط بدست آمده بین تغییرات غلظت آرسنیک و تغییرات تراز آب زیرزمینی طی دوران نمونه‌برداری، مشخص گردید که با گذشت زمان و افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی، غلظت آرسنیک افزایش می‌یابد. بنابراین با ادامه روند موجود بهره‌برداری از آبخوان، کمیت و کیفیت آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. از این رو در صورت اعمال مدیریت مصرف آب و کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی، غلظت آرسنیک با شدت کمتری افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، آرسنیک، سیرجان، لاگ‌های پیزومتری، GMS

مقدمه

یکی از مهم‌ترین خطراتی که اکوسیستم‌های طبیعی و سلامت انسان‌ها را تهدید می‌کند، آلودگی منابع آب به فلزات سنگین و سمی است که وجود آن‌ها سبب ایجاد تغییرات بنیادی در اکوسیستم‌ها شده و با ورود به چرخه زیستی می‌تواند اثرات مخرب زیست محیطی را به دنبال داشته باشد (Ravenscroft et al, 2009).

دربین عناصرسنگین، آرسنیک به عنوان یک عنصر سرطان‌زا شناسایی شده است و غلظت‌های زیاد آن در منابع آب می‌تواند یک نگرانی بزرگ برای سلامتی عمومی و محیط زیست ایجاد نماید. آرسنیک شبه فلزی است که معمولاً در همه جای پوسته زمین یافت می‌شود. مواجه انسان با آرسنیک، عمدتاً از طریق مصرف آب شربی است که بصورت طبیعی با آرسنیک آلوده شده باشد (Smedly & Kinniburgh.,2002).

این عنصر با ظرفیت‌های مختلف و نیز به صورت معدنی و آلی در طبیعت یافت می‌شود. بیشترین مقدار آرسنیک داخل آب، از آزاد شدن آرسنیک سنگ‌ها و رسوبات است. از نظر مقدار آرسنیک، کانی‌های سولفیدی در رده اول قرار دارند (Ahuja,F., 2008). 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 سمی‌تر از AS^{+5} است، در آب زیرزمینی بیشتر دیده می‌شود (Kelly, et al.,2005). آژانس

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
(*- نویسنده مسئول: Email: mbr@uk.ac.ir)

www.SID.ir

Archive of SID

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).

هیومینگ و همکاران، تغییرات مکانی غلظت آرسنیک و فلوراید را در آب‌های زیرزمینی شهر شاهایی[1] واقع در مغولستان داخلی بررسی کردند. آن‌ها ۲۹ چاه را برای نمونه‌برداری آب زیرزمینی انتخاب کردند. نتایج نشان داد که آرسنیک، تغییرات مکانی گسترده‌ای در محدوده بین ۹۶ تا ۷۲۰ میکروگرم در لیتر، در منطقه دارد و ۷۱ درصد نمونه‌ها بیش از حد مجاز استانداردهای آب آشامیدنی WHO (µg/l ۱۰) می‌باشند. محدوده غلظت فلوراید بین ۰/۳ تا ۲/۵۷ میکروگرم در لیتر است و هیچ ارتباط معنی‌داری بین غلظت‌های آرسنیک و فلوراید وجود ندارد. همچنین مشاهده گردید که با افزایش عمق چاه، غلظت آرسنیک افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که در اعماق کمتر از ۱۰ متر، آب زیرزمینی دارای غلظت بالای فلوراید و غلظت پایین آرسنیک است و ترکیب رسوب، عامل مهمی در تعیین غلظت آرسنیک محلول است. بطوریکه در آکیفرهای تشکیل شده از ماسه‌ی ریز زرد مایل به قهوه‌ای، در عمق حدود ۱۰ متر، به طور کلی آب‌های زیر زمینی حاوی غلظت کم آرسنیک هستند که می‌توان به توانایی بالای اکسی هیدروکسید آهن زرد–قهوه‌ای به جذب آرسنیک نسبت داد (Huaming, et al., 2012).

رحمان و همکاران، جذب و حرکت آرسنیک را در رسوبات هولوسن منطقه ساتخیرا[2] در جنوب غربی بنگلادش، به منظور شناسایی آبخوان سالم مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که قسمت فوقانی آبخوان کم عمق (حدود ۴۰ متر)، حاوی ۲۵µg/gآرسنیک است. این رسوبات باعث می‌شود که غلظت آرسنیک در آب‌های زیرزمینی به بیش از µg/l ۲۴۰ برسد. در مقابل، رسوبات عمیق‌تر (عمق حدود ۱۳۰متر) که متشکل از ماسه‌های متوسط قهوه‌ای رنگ هستند، حاوی آرسنیک کمتر از µg/g ۱ هستند و غلظت آرسنیک در آب زیرزمینی منطقه µg/l ۴ است. با محاسبه میزان رهاسازی آرسنیک از رسوبات جمع‌آوری شده از آبخوان کم عمق و عمیق نتیجه گیری شد که آبشویی آرسنیک در آبخوان‌های بالاتر و جذب آرسنیک در آبخوان‌های عمیق‌تر اتفاق می‌افتد. نویسندگان بر این باور بودند که بخش عمده‌ای از آرسنیک محلول، بسته به موجودیت فازهای جذب مانند اکسیدهای آهن و آلومینیوم، می‌تواند به طور طبیعی در آبخوان عمیق‌تر کاهش یابد (Rahman et al., 2010).

لیآن و همکاران، مطالعه‌ای در مورد نوسانات فصلی و تحرک آرسنیک در منابع آب زیرزمینی انکوریج آلاسکا انجام دادند. ۸ حلقه چاه آب آشامیدنی از می تا اکتبر ۲۰۰۷ برای تعیین گونه‌های غیر آلی آرسنیک (As^{+3}و As^{+5}) و دیگر پارامترهای فیزیکی شیمیایی آب زیرزمینی نمونه گیری شد. همبستگی مثبت غلظت آرسنیک با سطح آب نشان داد که بیشترین غلظت آرسنیک، در طی مدت تغذیه آبخوان رخ می‌دهد. علاوه بر این، رابطه مثبت آرسنیک با آهن محلول و به میزان کمتر با سولفات در آب‌های زیرزمینی منطقه نشان داد که آرسنیک ممکن است از اکسیدهای آهن ثانویه و سولفید آهن و یا سولفیدهای آرسنیک– آهن در آبخوان منتشر شود (LeeAnn, et al., 2011).

چی گوا و همکاران، تحقیقاتی را در مورد ارزیابی توزیع آرسنیک و فرآیندهای ژئوشیمیایی حرکت آرسنیک، در سه منطقه کوهپایه‌ای، مزارع خشک و مزارع شالیکاری در حوضه بینچوان چین[3]، انجام دادند. آنها برای این منظور، ۲۹ نمونه آب زیرزمینی، ۴ نمونه آب سطحی و ۶۶ نمونه رسوب جمع آوری و آنها را مورد تجزیه تحلیل قراردادند. نتایج نشان داد که در مناطق کوهپایه‌ای، مقدار آرسنیک موجود در آب‌های زیرزمینی کم است. در مقابل، آب‌های زیرزمینی مزارع شالیکاری که با شرایط کاهش همراه هستند، حاوی آرسنیک با غلظت زیاد (بیش از µg/l ۱۵۰)، می‌باشند. همبستگی مثبت بین آرسنیک و آهن محلول نشان داد که آرسنیک آب‌های زیرزمینی از کاهش انحلال اکسیدهای آهن حاصل می‌شوند. محققان به این نتیجه رسیدند که انحلال مواد معدنی، عامل اصلی انتشار آرسنیک به آب‌های زیرزمینی مزارع خشک می‌باشد (et al,2014Qi Guo.,).

در ایران نیز آلودگی منابع آبی به آرسنیک در سال‌های گذشته به طور گسترده‌ای بررسی شده است. بابایی و همکاران (۱۳۸۷) بر روی آلودگی رودخانه چپلو 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 متاثر از میزان بارش و نفوذ آب از لایه‌های زمین باشد. منشاء آلودگی، هوازدگی و تغییرات حاصل از کانی‌های حاوی آرسنیک در منطقه می‌باشد. این لایه‌های آرسنیک در قسمت‌های بالای پوسته زمین بوده و آب با عبور از این مناطق، آرسنیک را در خود حل می‌کند. هرچه از منبع آلودگی دورتر می‌شویم، با تغییر شرایط، مقداری از آرسنیک محلول به شکل نامحلول درآمده و رسوب می‌کند.

مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر، حاکی از آلودگی آب‌های زیرزمینی تعدادی از دشت‌های استان کرمان به آرسنیک می‌باشد (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۹،محمدی زاده کرمانی نژاد، ۱۳۹۴). استان

1- Shahai

2-Satkhira

3-Yinchuan Basin

www.SID.ir

Archive of SID

کرمان با وسعتی معادل ۱۸۲۷۲۶ کیلومتر مربع در جنوب شرق ایران، (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان) با متوسط بارندگی سالیانه ۱۲۹ میلیمتر، نسبت به متوسط بارندگی ۲۵۰ میلیمتر سالیانه،در زمره مناطق خشک کشور محسوب می‌شود. میزان استفاده از آب‌های تجدیدپذیر در استان کرمان به ۱۱۵ درصد می‌رسد که گویای شرایط فوق بحرانی در این استان است (نرگس آذری و همکاران، ۱۳۹۴). کاهش نزولات جوی وتداوم خشکسالی، رشد جمعیت، افزایش سطح زیر کشت باغات و احداث صنایع آب‌بر، موجب افت کمی و کیفی منابع آب، نشست زمین و بحرانی شدن بسیاری از دشت‌ها در این استان شده است. بطوریکه از ۴۱ محدوده مطالعاتی، ۳۷ محدوده ممنوعه می‌باشد که ۱۲ محدوده آن درحالت بحرانی قرار دارد (وزارت نیرو، ۱۳۹۷).

بررسی‌های اولیه ۶۸ نمونه اندازه‌گیری شده غلظت آرسنیک از منابع آب زیرزمینی استان کرمان درسال ۹۲ که داده‌های آن از شرکت آبفا اخذ گردید، حاکی از آلودگی منابع آب زیرزمینی تعدادی از دشت‌های استان کرمان به آرسنیک می‌باشد. بطوریکه، دشت‌های بردسیر، سیرجان، رفسنجان، جیرفت و بم، حاوی بیشترین مقادیر غلظت آرسنیک بوده‌اند. درمیان دشت‌های مذکور، دشت سیرجان به دلیل اهمیت منابع آب زیرزمینی آن در تأمین بخش عمده‌ای از مصارف شرب و کشاورزی، به عنوان پایلوت انتخاب و به بررسی مکانسیم حاکم بر آزاد سازی آرسنیک در منابع آب زیرزمینی و پیش‌بینی تغییرات غلظت آن پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی، دشت سیرجان می‌باشد که با وسعتی حدود ۷۹۲۱ کیلومتر مربعبین طول‌های جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۸ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی، در غرب استان کرمان واقع شده است. دراین منطقه، عمده آب موردنیاز، جهت شرب، کشاورزی و صنعت از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. در این تحقیق، با هدف بررسی مکانسیم حاکم بر آزاد سازی آرسنیک، و با توجه به این نکته که خاک‌های رسی، آرسنیک بیشتری نسبت به خاک‌های ماسه‌ای و دیگر خاک‌ها دارند، پس از انجام مطالعات اولیه میدانی و با در نظر گرفتن موقعیت لاگ حفاری چاه‌های پیزومتری، ۲۱ حلقه چاه پیزومتری در سطح دشت انتخاب و به بررسی لایه‌های رس موجود در آن‌ها پرداخته شد. پس از بررسی منطقه مورد مطالعه از نظر میزان ضخامت رس لایه‌های زمین، اقدام به نمونه‌برداری به صورت فصلی (زمستان ۹۴- بهار ۹۶)، از ۲۲ منبع آب زیرزمینی (چاه‌های کشاورزی و شرب در نزدیکی چاه‌های پیزومتری)، با هدف بررسی رابطه میان میزان ضخامت لایه رس و غلظت آرسنیک در منطقه گردید. این نمونه‌ها به روشICP-MMS[1] مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. نمونه‌ها درظروف ۰/۵لیتری، از جنس پلی اتیلن که قبل از نمونه‌برداری اسیدشویی شده و با آب مقطر نیزشسته شدند، نگهداری گردید. در هنگام نمونه‌برداری نیز سه بار با آب موردنظر، شستوشوصورت گرفت. نمونه‌ها، بااستفاده ازاسید نیتریک غلیظ تاpH زیر ۲ اسیدی شد تا از رسوب احتمالی و رشد میکروارگانیسم‌ها جلوگیری شود و همچنین جذب سطحی به وسیله‌ی دیواره‌های ظرف به حداقل برسد (دستورالعمل نمونه‌برداری آب زیرزمینی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا). پس از اسیدی شدن، نمونه‌ها تا ارسال به آزمایشگاه در دمای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بعد از نمونه‌برداری و بررسی نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده آرسنیک، داده‌ها در نرم افزار ARCGIS وارد و نقشه پهنه‌بندی تهیه گردید. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی، نقشه زمین‌شناسی، لاگ حفاری چاه‌های پیزومتری در سطح دشت و نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

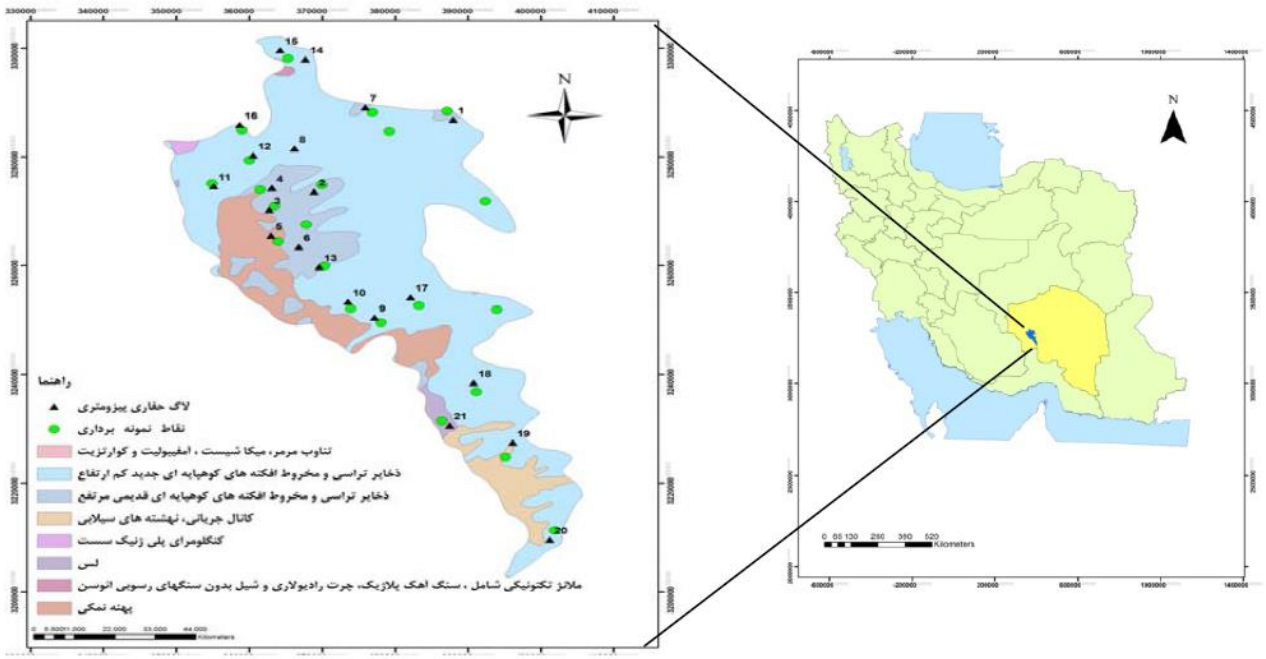
بررسی لاگ حفاری چاه‌های پیزومتری

در تحقیق حاضر، لاگ‌های پیزومتری منطقه از لحاظ ضخامت کل لایه رسی و ضخامت رس غیر اشباع (افت سطح آب در لایه رس) طی دوره آماری مشترک ده ساله (فروردین ماه ۹۴-۸۴)، مورد بررسی قرار گرفت. در اشکال شماره ۲ تا ۹، برای نمونه تعدادی لاگ از چاه‌های واقع در شمال شرق، مرکز، شمال و و جنوب دشت نشان داده شده است. در این اشکال، سطح آب در زمان حفر پیزومتر با (W.T) و درفروردین ماه سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۴ به ترتیب با، (W'.T) و (W''.T) نمایش داده شده است. همانطور که در شکل مذکور مشاهده می‌شود، در لاگ پیزومتری شماره ۳ که تا عمق ۹۴ متر از سطح زمین، حفر گردیده است، جنس لایه تماماً از رس و ضخامت لایه رس غیر اشباع در این منطقه بیشتر نواحی دیگر می‌باشد و در لاگ‌های شماره ۱۵ و ۲۰ واقع در شمال و جنوب دشت، جنس لایه زمین به ترتیب تا اعماق ۹۰ و ۱۲۰ از شن و ماسه تشکیل شده است. در جدول شماره ۱، اطلاعات مربوط به میزان ضخامت رس و ضخامت رس غیر اشباع لاگ‌ها آورده شده است. سپس با توجه به اطلاعات جدول مذکور، نسبت به تهیه نقشه پهنه‌بندی ضخامت رس غیر اشباع چاه‌های پیزومتری به روشوزن‌دهی عکس فاصله (IDW) اقدام گردید که در شکل شماره ۱۰ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که ضخامت رس غیر اشباع در منطقه، از ۰ تا ۵/۱ متر متغیر می‌باشد. بطوریکه، بیشترین ضخامت در نواحی شمال شرق و مرکز دشت و کمترین مقدار در قسمت‌های جنوبی و شمال دشت وجود دارد.

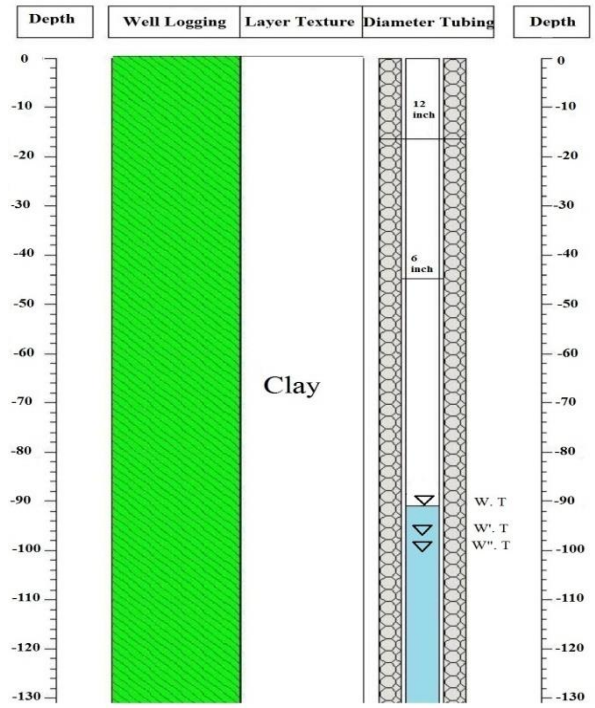
1- Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

www.SID.ir

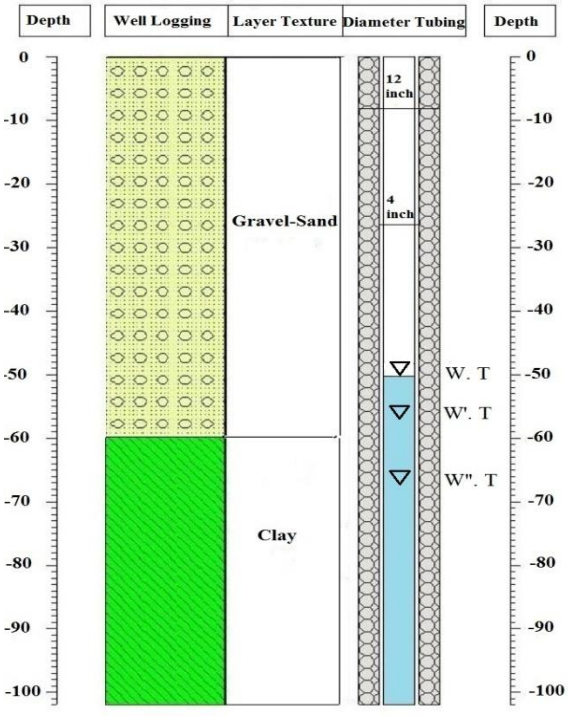
Archive of SID



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی، نقشه زمین شناسی، موقعیت لاگ حفاری چاه‌های پیزومتری و نقاط نمونه‌برداری دشت سیرجان



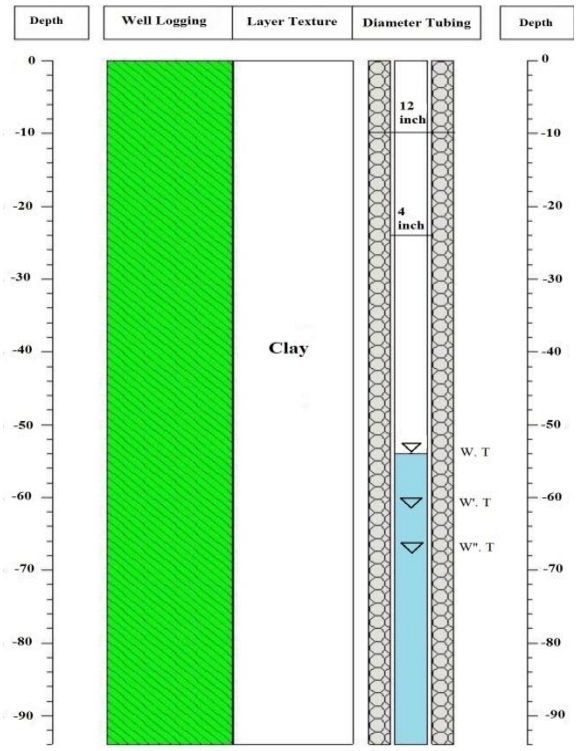
شکل ۲- تغییرات سطح آب زیرزمینی در چاه پیزومتری شماره ۱



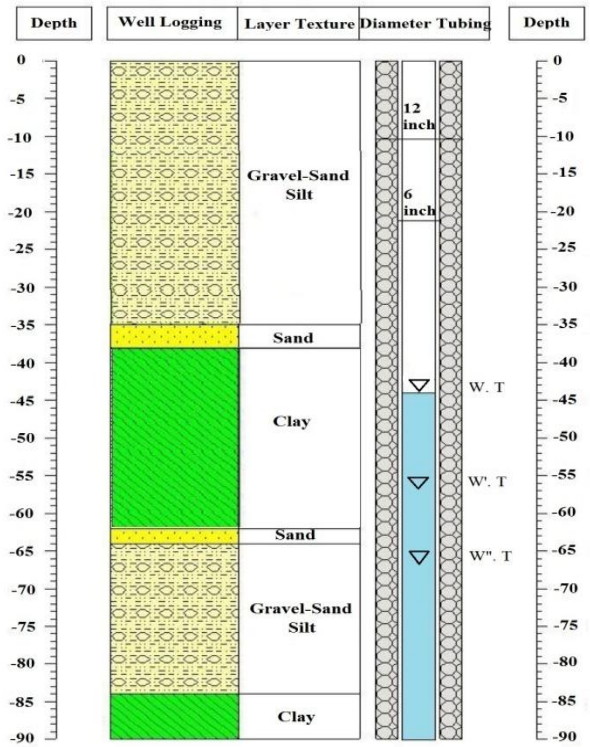
شکل۳- تغییرات سطح آب زیرزمینی در چاه پیزومتری شماره ۲

www.SID.ir

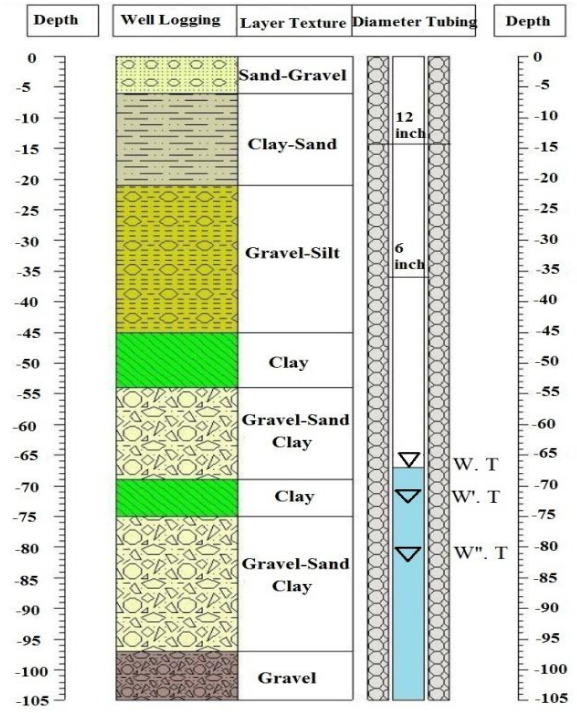
Archive of SID



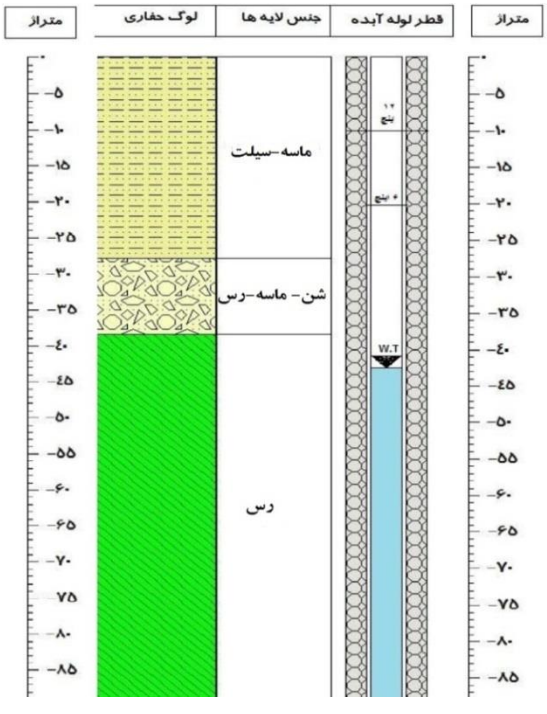
شکل ٤- تغییرات سطح آب زیرزمینی در چاه پیزومتری شماره ۳



شکل۵- تغییرات سطح آب زیرزمینی در چاه پیزومتری شماره ۵



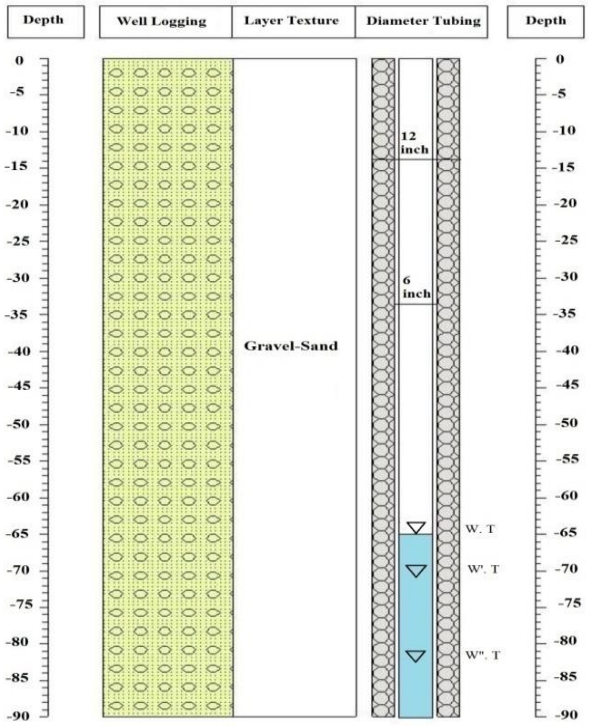
شکل ٦- تغییرات سطح آب زیرزمینی در چاه پیزومتری شماره ۸



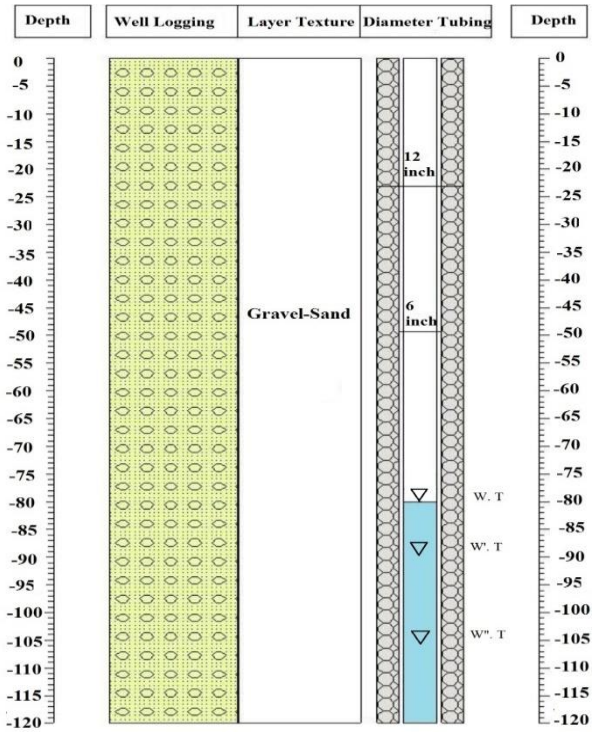
شکل ۷- تغییرات سطح آب زیرزمینی در چاه پیزومتری شماره ۹

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸- تغییرات سطح آب زیرزمینی در چاه پیزومتری شماره ۱۵



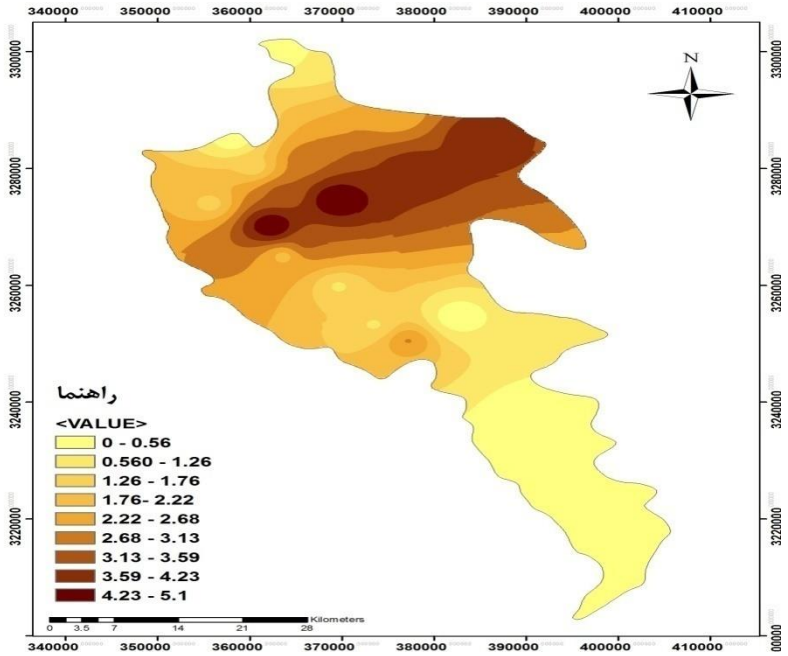
شکل ۹- تغییرات سطح آب زیرزمینی در چاه پیزومتری شماره ۲۰

جدول ۱- اطلاعات لایه رس چاه‌های پیزومتری دشت سیرجان

شماره لاگ پیزومتری	X	Y	ضخامت کل رس (متر)	افت سطح آب(متر) ۱۳۹۴-۱۳۸۴	ضخامت رس غیر اشباع (متر) سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۴
۱	۳۹۱۲۵۶	۳۲۸۴۴۳۴	۱۳۱	۲/۶۸	۲/۶۸
۲	۳۶۶۲۵۰	۳۲۸۱۵۴۰	۴۲	۱۰/۱۸	۵/۱
۳	۳۶۲۱۸۸	۳۲۶۹۶۵۰	۹۴	۴/۸۱	۴/۸۱
۴	۳۶۳۱۴۵	۳۲۷۴۳۵۰	۲۳/۳	۱۲/۴۸	۳
۵	۳۶۳۰۱۴	۳۲۶۵۵۷۹	۳۱	۸/۶۲	۳/۲
۶	۳۶۶۱۲۶	۳۲۶۷۲۵۰	۲۱	۳/۴۷	۲/۰۹
۷	۳۷۵۹۴۵	۳۲۸۹۱۵۰	۲۰	۶/۳۹	۲/۳
۸	۳۶۶۲۵۰	۳۲۸۱۵۴۶	۴۴/۵	۹/۱۷	۳
۹	۳۷۷۹۱۶	۳۲۵۰۴۳۷	۵۵/۳	۲/۷	۲/۷
۱۰	۳۷۴۳۴۲	۳۲۵۴۱۷۶	۴۸/۵	۳/۶۷	۱/۲۲
۱۱	۳۵۶۴۵۰	۳۲۷۱۹۶۴	۳۴/۶	۶/۵۹	۱/۶
۱۲	۳۶۱۶۵۰	۳۲۸۰۷۵۰	۱۹	۱۸/۱۴	۱/۵
۱۳	۳۶۹۶۵۲	۳۲۵۹۷۵۰	۸۰	۴/۳۲	۱/۲
۱۴	۳۶۷۷۲۶	۳۲۹۷۹۴۵	۰	۱۱/۰۶	۰
۱۵	۳۶۴۲۹۸	۳۲۹۹۶۳۲	۰	۱۱/۵۳	۰
۱۶	۳۵۸۷۵۰	۳۲۸۵۹۳۶	۰	۰/۶۸	۰
۱۷	۳۸۱۶۲۰	۳۲۵۳۴۵۰	۰	۱۴/۳۸	۰
۱۸	۳۹۰۵۴۱	۳۲۴۱۲۳۵	۰	۱۲/۰۷	۰
۱۹	۳۹۶۱۷۶	۳۲۲۷۴۸۶	۰	۱۸/۲۸	۰
۲۰	۴۰۱۲۸۴	۳۲۰۹۶۴۸	۰	۱۵/۳۷	۰
۲۱	۳۸۹۰۵۰	۳۲۲۸۹۴۶	۰	۴/۴۶	۰

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰ - پهنه‌بندی ضخامت رس غیر اشباع لاگ‌های پیزومتری دشت سیرجان، طی دوره ده ساله (۱۳۹٤-۱۳۸٤)

نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان

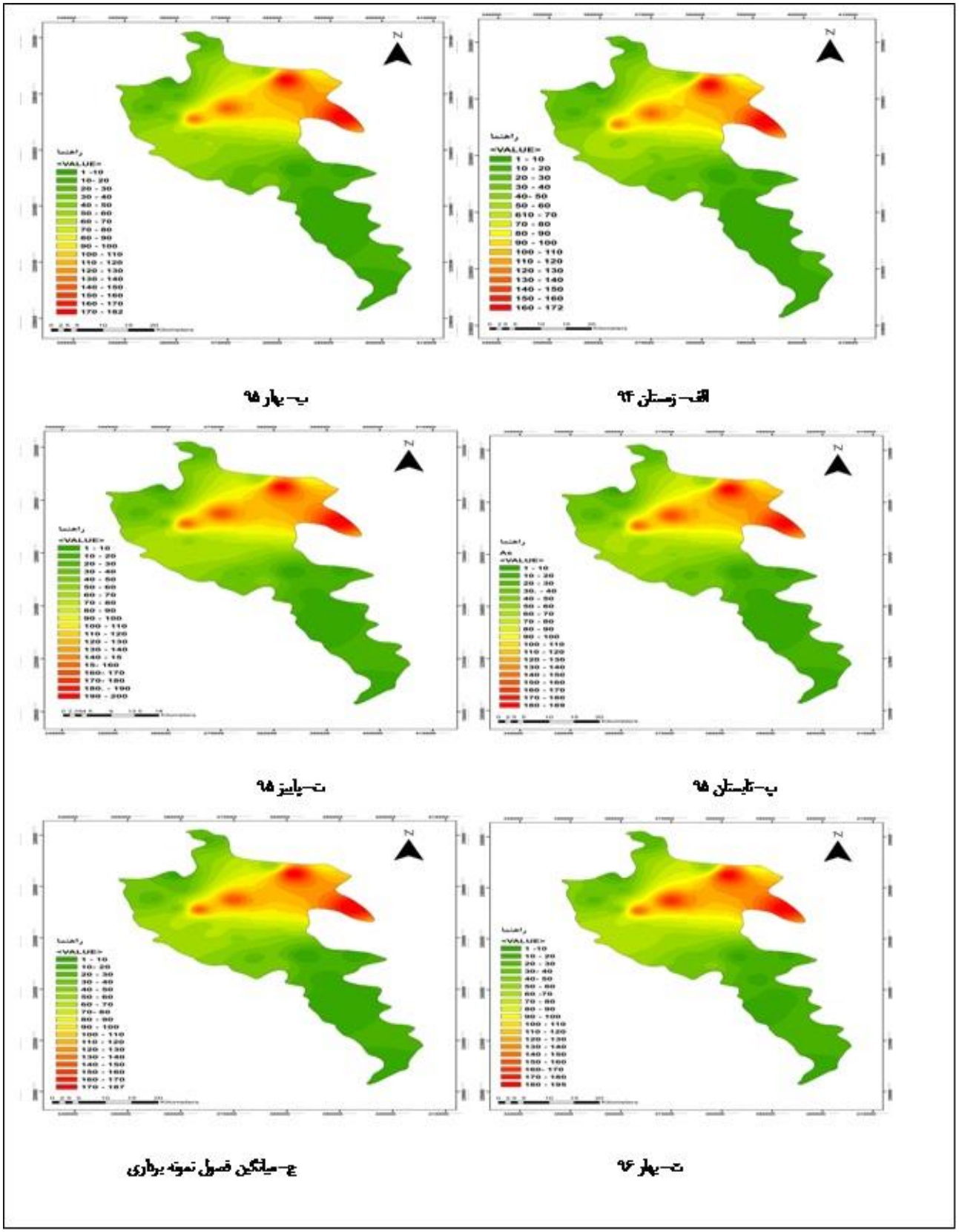
پس از بررسی منطقه مورد مطالعه از نظر میزان ضخامت رس لایه‌های زمین، اقدام به نمونه‌برداری به صورت فصلی (زمستان ۹۴- بهار ۹۶)، از منابع آب زیرزمینی (چاه‌های کشاورزی و شرب در نزدیکی چاه‌های پیزومتری) گردید. در شکل شماره ۱۱، نقشه پهنه‌بندی آرسنیک منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان طی فصول نمونه‌برداری آورده شده است. همچنین در جدول شماره ۲، مقادیر غلظت آرسنیک در محل چاه‌های پیزومتری نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در جدول مذکور، غلظت آرسنیک در محل چاه‌های پیزومتری، از طریق درون‌یابی نقشه پهنه‌بندی آرسنیک (شکل ۱۱) و تبدیل نقشه رستری حاصل به نقطه (پیکسل) در محیط ARCGIS، بدست آمده است. با مقایسه نقشه‌های مذکور با نقشه پهنه‌بندی ضخامت رس غیر اشباع (شکل ۲)، مشاهده می‌گردد که در نواحی که ضخامت رس غیر اشباع بیشتر است، در همان مناطق، غلظت آرسنیک بیشتر و چندین برابر حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی است. علت آن این است در خاک‌های رسی، آرسنیک به صورت قوی جذب هیدروکسیدهای آهن می‌شود. تحت شرایط بی‌هوازی و احیایی، آرسنیک متصل به هیدروکسیدهای آهن متلاشی و وارد آب زیرزمینی می‌شود. بنابراین در شرایط احیایی آرسنیت در محیط وجود دارد. با پایین رفتن سطح آب زیرزمینی، شرایط اکسیدی ایجاد می‌شود و آرسنیت تبدیل به آرسنات می‌شود. از آنجایی که، حلالیت آرسنات بیشتر از آرسنیت است، منجر به افزایش غلظت آرسنیک در آب زیرزمینی می‌شود. به عبارتی، بالا بودن غلظت آرسنیک، مربوط به تخلیه لایه رسی از آب زیرزمینی و اکسید شدن و انحلال آرسنیک در آب زیرزمینی است. بنابراین چرخه اکسیداسیون – احیاء یکی از عوامل مؤثر بر آزاد سازی آرسنیک در منطقه می‌باشد. بنابراین از آنجایی که چاه‌های پیزومتری نواحی شمالی و جنوبی دشت، از جمله پیزومترهای شماره ۱۵ و ۲۰ فاقد لایه رس می‌باشد (اشکال ۸ و ۹)، بنابراین انتظار می‌رود که در این نواحی، علی‌رغم برداشت از منابع آب زیرزمینی و افت سطح آب، باگذشت زمان پتانسیل افزایش غلظت آرسنیک وجود نداشته باشد.

پیش بینی تغییرات غلظت آرسنیک

از آنجا که تغییرات تراز آب زیرزمینی یکی از فاکتورهای تأثیرگذار بر غلظت آرسنیک در دشت می‌باشد، جهت پیش‌بینی تغییرات غلظت آرسنیک طی ۵ سال آتی، اقدام به مدل‌سازی کمی دشت سیرجان با استفاده از نرم افزار GMS، گردید. بدین منظور، اطلاعات مورد نیاز شامل، تراز ارتفاعی سطح زمین، تراز سنگ کف، موقعیت و میزان برداشت از چاه‌های بهره‌برداری، موقعیت و تراز سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای، موقعیت مرز آبخوان، لایه هدایت هیدرولیکی و تغذیه به مدل معرفی گردید و پس از تهیه مدل مفهومی و تعیین شرایط مرزی و اولیه، واسنجی مدل در شرایط پایدار انجام و سپس مدل در شرایط ناپایدار اجرا و صحت سنجی انجام گردید.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۱- پهنه‌بندی آرسنیک منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان طی فصول نمونه‌برداری

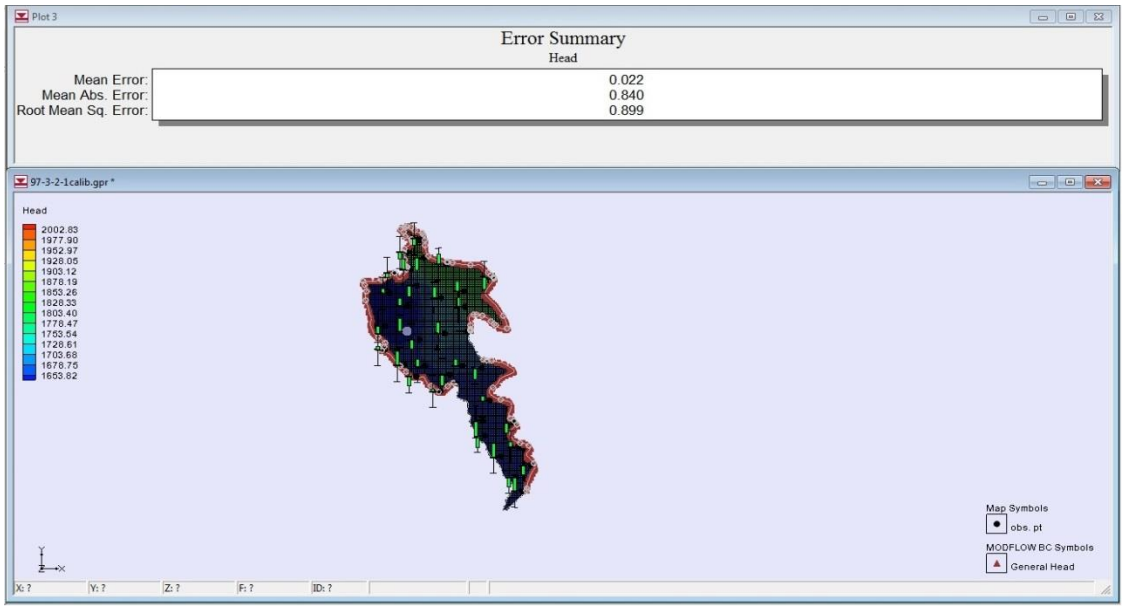
www.SID.ir

Archive of SID

جدول۲- مقادیر غلظت آرسنیک در محل چاه‌های پیزومتری دشت سیرجان طی دوران نمونه‌برداری بر حسب ppb

شماره چاه پیزومتری	X	Y	زمستان۹٤	بهار ۹۵	تابستان۹۵	پاییز ۹۵	بهار ۹٦
۱	۳۹۱۲۵۶	۳۲۸۴۴۳۴	۸۶/۰۹	۸۸	۹۰/۳	۹۲/۶	۹۶/۱
۲	۳۶۶۲۵۰	۳۲۸۱۵۴۰	۱۲۱/۶	۱۳۰	۱۳۸	۱۴۸	۱۵۶/۵
۳	۳۶۲۱۸۸	۳۲۶۹۶۵۰	۱۱۵/۹۶	۱۲۰	۱۲۹	۱۳۲/۳	۱۴۴/۸
۴	۳۶۳۱۴۵	۳۲۷۴۳۵۰	۹۸/۰۹	۱۰۰/۶	۱۰۳	۱۰۵/۶	۱۰۹/۵
۵	۳۶۳۰۱۴	۳۲۶۵۵۷۹	۶۲/۰۹	۶۳	۶۴/۵	۶۵/۸	۶۶/۳
۶	۳۶۶۱۲۶	۳۲۶۷۲۵۰	۶۵/۸۸	۶۷/۷	۶۸	۶۹/۹	۷۰/۶
۷	۳۷۵۹۴۵	۳۲۸۹۱۵۰	۶۵/۹	۶۶/۳	۶۷/۹	۶۸/۲	۶۹
۸	۳۶۶۲۵۰	۳۲۸۱۵۴۶	۷۱/۹۸	۷۳/۲	۷۴/۶	۷۵	۷۶/۸
۹	۳۷۷۹۱۶	۳۲۵۰۴۳۷	۴۱/۹۷	۴۳/۶	۴۵	۴۶/۶	۴۸/۷
۱۰	۳۷۴۳۴۲	۳۲۵۴۱۷۶	۳۲/۶۳	۳۵	۳۸/۲	۴۳/۳	۴۵/۴
۱۱	۳۵۶۴۵۰	۳۲۷۱۹۶۴	۲۳/۴۹	۲۶	۲۷/۵	۲۹	۳۲
۱۲	۳۶۱۶۵۰	۳۲۸۰۷۵۰	۲۸/۳۴	۳۰/۳	۳۲	۳۳/۲	۳۵
۱۳	۳۶۹۶۵۲	۳۲۵۹۷۵۰	۶۴/۸۸	۶۵/۳	۶۸	۶۹/۸	۷۱/۴
۱۴	۳۶۷۷۲۶	۳۲۹۷۹۴۵	۲۷/۸	۳۰/۲	۳۱	۳۲/۳	۳۵
۱۵	۳۶۴۲۹۸	۳۲۹۹۶۳۲	۲۴	۲۰	۲۱	۲۱	۱۹
۱۶	۳۵۸۷۵۰	۳۲۸۵۹۳۶	۸/۵	۸/۹	۹/۳	۱۰/۵	۱۱/۲
۱۷	۳۸۱۶۲۰	۳۲۵۳۴۵۰	۱۰/۵	۵	۶	۵	۵
۱۸	۳۹۰۵۴۱	۳۲۴۱۲۳۵	۵/۲۹	۶	۶	۶	۶
۱۹	۳۹۶۱۷۶	۳۲۲۷۴۸۶	۹/۹۴	۳	۴	۴	۵
۲۰	۴۰۱۲۸۴	۳۲۰۹۶۴۸	۵/۳۵	۳	۳	۳	۳
۲۱	۳۸۹۰۵۰	۳۲۲۸۹۴۶	۱/۷۲	۱	۱	۱	۱

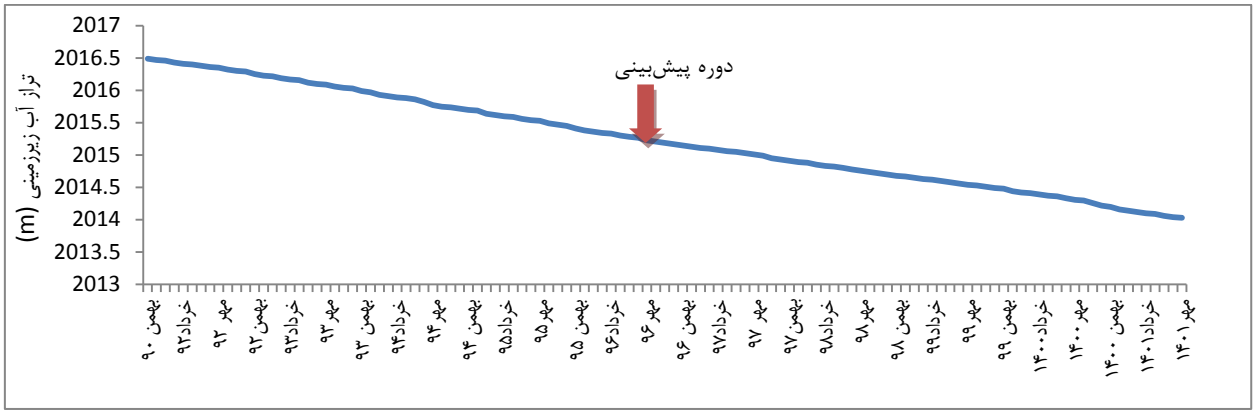
در این پژوهش، پس از بررسی هیدروگراف واحد دشت و با استناد به آمار و اطلاعات موجود، داده‌های سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای در شهریور ماه ۱۳۸۹ به عنوان دوره پایدار در نظر گرفته شد. واسنجی با استفاده از کد PEST و با روش دستی انجام گرفت. پس از انجام واسنجی مقدار بار هیدرولیکی تمام پیزومترها در محدوده خطای قابل قبول قرار گرفتند (شکل ۱۲). سپس، به منظور اجرای مدل در شرایط ناپایدار، آمار سطح آب چاه‌های پیزومتری، از تاریخ مهرماه ۱۳۸۹ تا شهریور ماه ۱۳۹۵، به صورت ۷۲ دوره یک ماهه به عنوان دوره ناپایدار استفاده گردید.



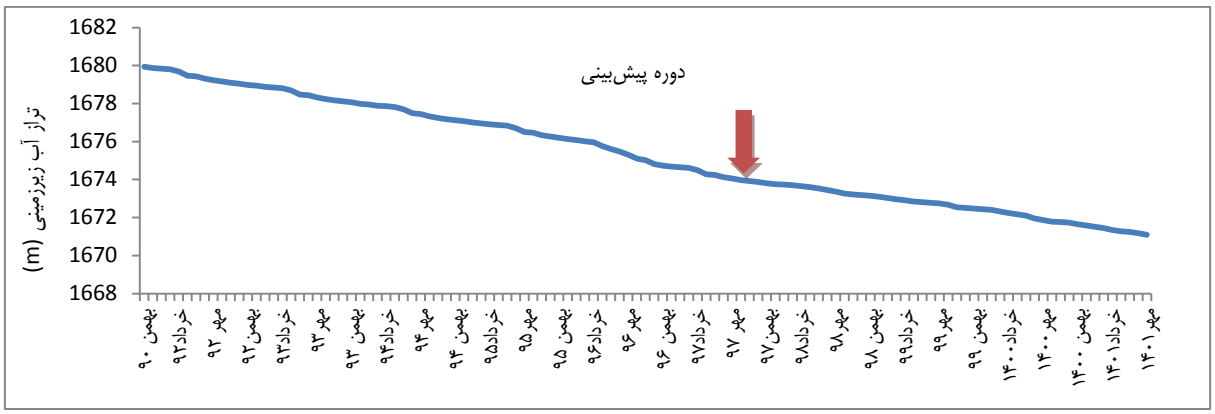
شکل ۱۲- واسنجی مدل آب زیرزمینی دشت سیرجان در دوره پایدار

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۳- نمودار افت طی دوره پیش‌بینی در پیزومتر شماره ۱ دشت سیرجان



شکل ۱٤- نمودار افت طی دوره پیش‌بینی در پیزومتر شماره ۲ دشت سیرجان

صحت سنجی مدل نیز طی یک دوره ۱۲ ماهه از مهر۹۵ تا شهریور ۹۶ اجرا گردید. از آنجا که هدف از مدل‌سازی تحقیق حاضر، پیش‌بینی سطح ایستابی می‌باشد، با اطمینان یافتن از صحت مدل تهیه شده، می‌توان وضعیت آینده آبخوان را شبیه‌سازی نمود. در این تحقیق، دورهٔ زمانی که جهت پیش‌بینی به مدل معرفی شده است، شروع مهر ۱۳۹۶ تا پایان مهر ماه ۱۴۰۱ می‌باشد. اشکال ۱۳ و ۱۴ برای نمونه، نمودار افت در دوره پنج ساله پیش‌بینی را در پیزومترهای شماره ۱ و ۲ واقع در شمال شرق و مرکز دشت نشان می‌دهد.

در ادامه، جهت پیش‌بینی تغییرات غلظت آرسنیک طی سال‌های آتی، تمرکز بر روی لاگ‌های پیزومتری که با توجه به افت سطح آب و وجود لایه رسی، احتمال افزایش ضخامت رس غیر اشباع در آن‌ها وجود داشت، قرار گرفت (اشکال۴-۲). بدین منظور، با فرض ثابت بودن سایر پارامترهای مؤثر بر غلظت آرسنیک، پیزومترهای شماره ۱، ۲ و ۳ واقع در شمال شرق، مرکز و خروجی دشت، انتخاب و رابطه‌ای بین تغییرات تراز سطح ایستابی و تغییرات غلظت آرسنیک، طی دوران نمونه‌برداری با استفاده از اطلاعات جدول شماره ۳ بدست آمد. در جدول شماره ۴، رابطه بدست آمده به همراه تغییرات غلظت آرسنیک طی ۵ سال آتی در پیزومترهای مذکور را نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که در پیزومترهای شماره ۱، ۲ و ۳ به ازای هر متر افت سطح آب غلظت آرسنیک به ترتیب ۲۴/۳۸، ۱۸/۸ و ۲۶/۵۴ میکروگرم در لیتر افزایش می‌یابد. همچنین تا پایان دوره پیش‌بینی، در پیزومتر شماره ۱، افت سطح آب ۱/۲ متر و غلظت آرسنیک حدود ۲۹ میکروگرم بر لیتر، در پیزومتر شماره ۲، افت سطح آب ۴/۲ متر، و غلظت آرسنیک ۷۹/۷ میکروگرم بر لیتر، در پیزومتر شماره ۳، افت سطح آب ۲/۴ متر و غلظت آرسنیک ۵۸/۶ میکروگرم بر لیتر افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، به بررسی مکانسیم حاکم بر رهاسازی آرسنیک و پیش‌بینی تغییرات غلظت آن در منابع آب زیرزمینی دشت سیرجان، واقع در استان کرمان پرداخته شد. بدین منظور، پس از انجام مطالعات اولیه میدانی و با در نظر گرفتن موقعیت لاگ حفاری چاه‌های پیزومتری، ۲۱ حلقه چاه پیزومتری در سطح دشت انتخاب و به بررسی لایه‌های رس موجود در آن‌ها پرداخته شد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- اطلاعات تراز سطح آب و غلظت آرسنیک در تعدادی پیزومتر دشت سیرجان طی دوران نمونه‌برداری

شماره پیزومتر	زمان نمونه‌برداری									
	زمستان۹٤		بهار ۹۵		تابستان ۹۵		پاییز ۹۵		بهار ۹٦	
	تراز سطح آب (m)	آرسنیک (ppb)	تراز سطح آب (m)	آرسنیک (ppb)	تراز سطح آب (m)	آرسنیک (ppb)	تراز سطح آب (m)	آرسنیک (ppb)	تراز سطح آب (m)	آرسنیک (ppb)
۱	۱۲۱۵/۵۴	۸۶/۰۹	۱۲۱۵/۵	۸۸	۱۲۱۵/۳	۹۰/۳	۱۲۱۵/۲	۹۲/۶	۱۲۱۵/۰۸	۹۶/۱
۲	۱۶۷۷/۹۹	۱۲۱/۶	۱۶۷۷/۷	۱۳۰	۱۶۷۷/۲	۱۳۸	۱۶۷۶/۸	۱۴۸	۱۶۷۶/۰۲	۱۵۶/۵
۳	۱۶۴۶/۴	۱۱۵/۹۶	۱۶۴۶/۳۳	۱۲۰	۱۶۴۶/۲	۱۲۹	۱۶۴۶/۰۳	۱۳۲/۳	۱۶۴۵/۹۱	۱۴۴/۸

جدول ٤- رابطه بین تغییرات سطح ایستابی و غلظت آرسنیک در منابع آب زیر زمینی دشت سیرجان

شماره پیزومتر	رابطه	R^2	افزایش غلظت آرسنیک به ازای یک متر افت سطح آب(ppb)	تغییرات سطح ایستابی درپایان دوره شبیه‌سازی(m)	تغییرات غلظت آرسنیک در پایان دوره شبیه‌سازی(ppb)
۱	y= −۲۴/۴x−۰/۰۱۱	۰/۸۸	۲۴/۳۸	۱/۲	۲۹/۲
۲	y= −۱۹/۰۶x−۰/۲۵۴	۰/۹۳	۱۸/۸	۴/۲	۷۹/۷
۳	y= −۲۲/۹۵x+۳/۵۹۹	۰/۹۰	۲۶/۵	۲/۴	۵۸/۶

در جدول فوق X، تغییرات تراز آب زیر زمینی (m)و Yتغییرات غلظت آرسنیک (ppb)می‌باشد.

سپس، اقدام به نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی بصورت فصلی، با هدف بررسی رابطه میان میزان ضخامت لایه رس و غلظت آرسنیک در منطقه گردید. نتایج حاصله، نشان داد که در نواحی شمال شرقی به سمت مرکز دشت که ضخامت رس غیر اشباع بیشتر است، در همان مناطق، غلظت آرسنیک بیشتر و چندین برابر حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی است. بطوریکه بالا بودن غلظت آرسنیک، مربوط به تخلیه آب زیرزمینی از لایه رسی و اکسید شدن و انحلال آرسنیک در آب زیرزمینی است. بنابراین چرخه اکسیداسیون – احیاء یکی از عوامل مؤثر بر آزاد سازی آرسنیک در منطقه می‌باشد. بنابراین از آنجایی که چاه‌های پیزومتری واقع در نواحی شمالی و جنوبی دشت، ازجمله پیزومترهای شماره ۱۵ و ۲۰، فاقد لایه رس می‌باشد، انتظار می‌رود که در این نواحی، علی‌رغم برداشت از منابع آب زیرزمینی و افت سطح آب، باگذشت زمان پتانسیل افزایش غلظت آرسنیک وجود نداشته باشد.در ادامه، جهت پیش-بینی تغییرات غلظت آرسنیک طی سال‌های آتی، تمرکز بر روی لاگ‌های پیزومتری که با توجه به افت سطح آب و وجود لایه رسی، احتمال افزایش ضخامت رس غیر اشباع در آن‌ها وجود داشت، قرار گرفت. بدین منظور، با فرض ثابت بودن سایر پارامترهای مؤثر بر غلظت آرسنیک، پیزومترهای شماره ۱، ۲ و ۳ واقع در شمال شرق، مرکز و خروجی دشت، انتخاب و رابطه‌ای بین تغییرات تراز سطح ایستابی و تغییرات غلظت آرسنیک، طی دوران نمونه‌برداری بدست آمد. روابط مذکور، نشان داد که در پیزومترهای شماره ۱، ۲ و ۳ ، به ازای هر متر افت سطح آب غلظت آرسنیک به ترتیب ۲۴/۳۸، ۱۸/۸ و ۲۶/۵۴ میکروگرم در لیتر افزایش می‌یابد. سپس، با هدف پیش‌بینی تغییرات غلظت آرسنیک طی ۵ سال آتی، اقدام به مدلسازی کمی دشت، با استفاده از نرم افزار GMS گردید. بر پایه نتایج حاصل از مدلسازی و بر اساس روابط بدست آمده، مشخص گردید که طی ۵ سال آتی، در پیزومتر شماره ۱ واقع در شمال شرق دشت، افت سطح آب ۱/۲ متر و غلظت آرسنیک حدود ۲۹ میکرو گرم بر لیتر، در پیزومتر شماره ۲ واقع در مرکز دشت، افت سطح آب تا پایان دوره پیش‌بینی، ۴/۲ متر و غلظت آرسنیک، ۷۹/۷ میکرو گرم بر لیتر و در پیزومتر شماره ۳، افت سطح آب ۲/۴ متر و غلظت آرسنیک ۵۸/۶ میکرو گرم بر لیتر، افزایش می‌یابد. بنابراین با ادامه روند موجود بهره برداری از آبخوان، کمیت و کیفیت آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. از این رو در صورت اعمال مدیریت مصرف آب و کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی، غلظت آرسنیک با شدت کمتری افزایش می‌یابد.

منابع

آذری،ن.، تقی زادگان،م.، خوشدلی،ف.، دباغی،ح.، رفسنجانی نژاد،س.، قنواتی،ن. ۱۳۹۴. بررسی چالشهای توسعه در استان کرمان، مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری

بابایی، ی.، علوی مقدم، م.، قاسم زاده، ف.، ارباب زوار،م. ۱۳۸۷.

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی آلودگی آب‌های سطحی کوهسرخ کاشمر به ارسنیک، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره دهم، شماره ۳.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان. ۱۳۹۵. سالنامه آماری

دهقانی، م.، عباس نژاد، ا.۱۳۸۹. آلودگی سفره آب زیرزمینی به نیترات، سرب آرسنیک و کادمیوم، محیط شناسی، سال سی و ششم، شمارۀ۵۶، صفحه ۱۰۰-۸۷

دستورالعمل نمونه‌برداری آب، معاونت امور فنی دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی جمهوری اسلامی ایران. ۱۳۸۳. نشریه شماره ۲۷۴

محمدی زاده کرمانی نژاد، پ. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی میزان آرسنیک در منابع آب شرب شهرستان جیرفت و ارائه راهکار بهینه جهت حذف آن، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس

وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب، معاونت حفاظت و بهره‌برداری. ۱۳۹۷. گزارش دشتهای ممنوعه کشور

Ahuja, F. 2008.Arsenic contamination of groundwater. John Wiley.

Huaming, G., Yang, Z., Lina, X., Yongfeng, J. 2012. Spatial variation in arsenic and fluoride concentrations of shallow groundwater from the town of Shahai in the Hetao basin, Inner Mongolia.Applied Geochemistry, 2187–2196.

Kelly, B., Payne, T.M., and Abdel, F. 2005. Adsorption of Arsenate and Arsenite by Iron-treated activated carbon and Zeolites: effects of pH, temperature, and ionic strength. Journal.of Environmental Science and Health., 40 (4), 723-49.

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

LeeAnn, M., Birgit, H., Derek, S. 2011. Seasonal fluctuations and mobility of arsenic in groundwater resources, Anchorage, Alaska.Applied Geochemistry 1811–1817.

Qi Guo, Huaming, G., Yuance, Y., Shuangbao, H., Fucun, Z. 2014. Hydrogeochemical contrasts between lowand high arsenic groundwater and its implications for arsenic mobilization in shallow aquifers of the northernYinchuan Basin, P.R. China. Journal of Hydrology 464–476

Rahman, M.T., Mano, A., Udo, K., Ishibashi, Y. 2010. Exploring safety and sustainability of aquifers in arsenic affected Holocene sedimentary deposits based on predictive modeling of sorption-mobilization characteristics. Appl. Geochem. 26, 636–647.

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

Smedley, P., Kinniburgh, D. 2002.A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters.Applied geochemistry, 17(5):517-68.

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 13, Oct.-Nov. 2019, p. 881-893

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۳، مهر - آبان ۱۳۹۸، ص. ۸۹۳-۸۸۱

Investigation of ArsenicRelease Mechanismand Prediction of its Concentration VariationsIn Groundwater Resources (Case Study: Sirjan Plain)

N.Fathi[1], M.Rahnama[2]*, M.Zounemat Kermani[3]
Recived: Dec.15, 2018 Accepted: Feb.01, 2019

Abstract

Among heavymetals, arsenic has been identified as a carcinogenic element. High concentrations of arsenic in waterresources can be a major concern for public health and the environment.Arsenic pollution in the groundwater resources has been reported in many parts of the world and Iran, especially in some parts of Kerman province.In the present study, Arsenic release mechanismand prediction of its concentrationvariations ingroundwater resources were investigated in Sirjan Plain, in Kerman Province. For this purpose,after conducting primary field studies and taking into account the position of the piezometric wells, 21 piezometric wells were selected across the plain surface and the layers of clay in them were examined. Then, sampling of groundwater resources was conducted seasonally from agricultural and drinking wells near piezometric wells. The results showed that the concentration of arsenic was directly related to the clay textureof the earth's layers. The high concentration of arsenic was related to the discharge of groundwater from the clay layer and the oxidation and dissolution of arsenic in groundwater.Therefore, the Oxidation-Reduction cycle is one of the effectivefactors on releasing of arsenic in the region.In order to the prediction of arsenicconcentration variations in the next 5 years,Quantitative Modeling was done using GMS software with a focus on the piezometer wells that had a potential for the increase in the unsaturated clay thickness due to the reducing level of groundwater and the presence of clay layers in them. Based on the results of modeling and relationships between arsenic concentration variationsand groundwater level variations during the sampling period, it was determined that arsenic concentrations increase with groundwater resources discharge.Therefore, the quantity and quality of groundwater will decreased with the continued of exploitation of aquifers. According to these results, water management and reduced harvesting of groundwater resources can be effective on the reduction of arsenic concentration increasing rate.

keywords: Arsenic,Groundwater, GMS, Piezometric logs, Sirjan

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

www.SID.ir