Archive of SID

کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی
سال هفتم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۸
تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۱۹ تاریخ تأیید نهایی: ۹۷/۱۲/۱۳
صص: ۲۲۲-۲۰۵

استفاده از پارامترهای فیزیک‌وشیمیایی آب زیرزمینی جهت ارزیابی اثربخشی پروژه‌های تغذیه مصنوعی در مناطق خشک: مطالعه موردی: حوضچه تغذیه آردو، برازجان

محمد فاریابی[1]، استادیار هیدرولوژی دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

چکیده

پروژه‌های تغذیه مصنوعی یکی از مهمترین استراتژی‌ها برای مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی هستند. در سال‌های گذشته پروژه‌های تغذیه مصنوعی متعددی در کشور طراحی و اجرا شده است که ارزیابی عملکرد آن‌ها اهمیت زیادی دارد. در این تحقیق تاثیر پروژه تغذیه مصنوعی آرد و بر منابع آب زیرزمینی محدوده برازجان در استان بوشهر بررسی شده‌است. به این منظور پارامترهای کیفی آب چاه‌های مجاور پروژه آردو در یک دوره زمانی چهار ماهه از اوایل دی‌ماه ۹۳ تا اردیبهشت ۹٤ به صورت مکانی و زمانی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پارمترهایی مانند هدایت الکتریکی، دما، کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در آب اندازه‌گیری و پایش شده‌اند. سپس با استفاده از دیاگرام‌های سری زمانی و نقشه‌های هم ارزش پارامترهای کیفی، تاثیر حوضچه تغذیه مصنوعی آردو بر آبخوان دشت برازجان در زمان‌های مختلف بررسی شده‌است. نتایج این تحقیق نشان دهنده الگوی تغذیه نامتقارن در اطراف حوضچه تغذیه مصنوعی است. به طوری که جبهه آب تغذیه‌ای ناشی از حوضچه تغذیه مصنوعی از سمت حوضچه به طرف شمال غرب آن گسترش یافته‌است. از لحاظ زمانی نیز بیشترین میزان تغذیه در ماه‌های بهمن و اسفند رخ داده‌است. با توجه به نتایج حاصله نقش حوضچه تغذیه آردو در تغذیه آب زیرزمینی در نزدیکی حوضچه و شمال‌غرب آن بیش از ۵۰ درصد است و پروژه تغذیه مصنوعی تاثیر مثبتی بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دارد.

کلمات کلیدی: آب زیرزمینی، تغذیه مصنوعی، پارامترهای فیزیک‌وشیمیایی، پروژه آردو.

[1]- نویسنده مسئول: faryabi753@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی در اغلب مناطق کشور موجب افت شدید سطح ایستایی و کاهش ذخیره آبخوان‌ها شده‌است. برگشت‌تراز آب زیرزمینی به تراز مطلوب با استفاده از راهکارهای تعادل بخشی از اهداف اصلی سیاست‌گذاران آب کشور است (کاردان مقدم و همکاران، ۱۳۹٦). یکی از راهکارهای طرح تعادل بخشی اجرای‌های تغذیه مصنوعی است. در سال‌های گذشته پروژه‌های متعددی جهت تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها در ایران اجرا شده است. بررسی عملکرد این پروژه‌ها جهت رفع مشکلات احتمالی، بهبود عملکرد آن‌ها و طراحی بهینه طرح‌های تغذیه مصنوعی در آینده بسیار مفید است. در زمینه مطالعه و ارزیابی پروژه‌های تغذیه مصنوعی تلاش‌های زیادی انجام شده است. زارع و همکاران (۱۳۷۸) در مطالعه پروژه تغذیه مصنوعی دشت امامزاده جعفر گچساران مشاهده کرد که این پروژه در طی دوره آبگیری خود از راندمان کافی برخوردار نبوده و حتی در مواردی نیز با تخریب تأسیسات مربوطه همراه بوده است. این عدم کارایی به دلیل‌های مختلفی از جمله وجود شیب زیاد در جهت‌های مختلف بوده است به طوری که جریان سیلاب ورودی کانالیزه شده و نیروی زیادی به بدنه خاکریزها وارد نموده است. در پروژه تغذیه مصنوعی سفره آبدار آبرفتی دشت قزوین با انتقال آب رودخانه طالقان و تزریق آن به داخل سفره آبدار دشت قزوین به تدریج اثر آب در منطقه نمودار شده است که در برخی قسمت‌ها سطح ایستابی نسبت به سال قبل در حدود یک متر و در برخی مناطق ۳/۵ تا ٤ متر بالا آمده است (کلانتری و همکاران، ۱۳۸۸). قوردویی میلان و کرمی (۱۳۹۲) تاثیر پروژه تغذیه مصنوعی خوی بر آب زیرزمینی را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که پروژه مذکور در افزایش سطح آب زیرزمینی و تعادل سطح ایستابی آبخوان تاثیر مثبت داشته است. کاردان مقدم و همکاران (۱۳۹٦) با استفاده از مدل مادفلو[1] اثر تغذیه مصنوعی شوراب سیوجان بر وضعیت آبخوان بیرجند را بررسی کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد

[1] MODFLOW

www.SID.ir

Archive of SID

که اجرای طرح تغذیه مصنوعی توانسته بین ۲۱ تا ۲۵ درصد شاخص پایداری سیستم را بهبود دهد.

اصولاً بررسی عملکرد پروژه‌های تغذیه مصنوعی نیازمند اطلاعاتی است که از طریق طراحی یک شبکه پایش کمی و کیفی در طول زمان بدست می‌آیند (Abrahamand Mohan, 2015). اما به دلیل عدم وجود شبکه‌های پایش در محل اکثر پروژه‌های تغذیه مصنوعی در ایران، معمولاً از آمار و اطلاعات چاه‌های پیزومتری و بهره‌برداری موجود استفاده می‌شود. در بسیاری از موارد این چاه‌ها فاصله زیادی تا محل اجرای پروژه‌ها دارند و نمی‌توانند به خوبی تاثیر پروژه‌های تغذیه مصنوعی را نشان دهند. پایش زمانی و مکانی تاثیر پروژه‌های تغذیه مصنوعی از طریق یک شبکه نمونه‌برداری کیفی و با فواصل زمانی کوتاه‌مدت در ایران تاکنون انجام نشده‌است. به همین منظور در این تحقیق میزان اثربخشی پروژه تغذیه مصنوعی آردو بر آبخوان دشت برازجان با استفاده پایش منظم زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب مورد بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: محدوده مطالعاتی برازجان در شمال استان بوشهر بین طول‌های جغرافیایی '۵ °۵۱ تا '۳۰ ۵۱ درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی '۱۰ ۲۹ تا '۲۰ ۲۹ درجه شمالی، در فاصله ۷۲ کیلومتری شهر بوشهر واقع شده است. ارتفاع متوسط دشت برازجان از سطح دریا ۲۰ متر است. متوسط بارندگی و دما در ایستگاه هواشناسی برازجان به ترتیب برابر با ۲۹۶/۵ میلمتر و ۲۶/۱ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه مورد مطالعه در طبقه‌بندی دومارتن خشک و در اقلیم‌نمای آمبرژه به صورت بیابانی گرم شدید است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای بوشهر، ۱۳۹۰). از لحاظ زمین‌شناسی ناحیه‌ای، محدوده برازجان در زون زاگرس چین خورده واقع شده است. واحدهای

www.SID.ir

Archive of SID

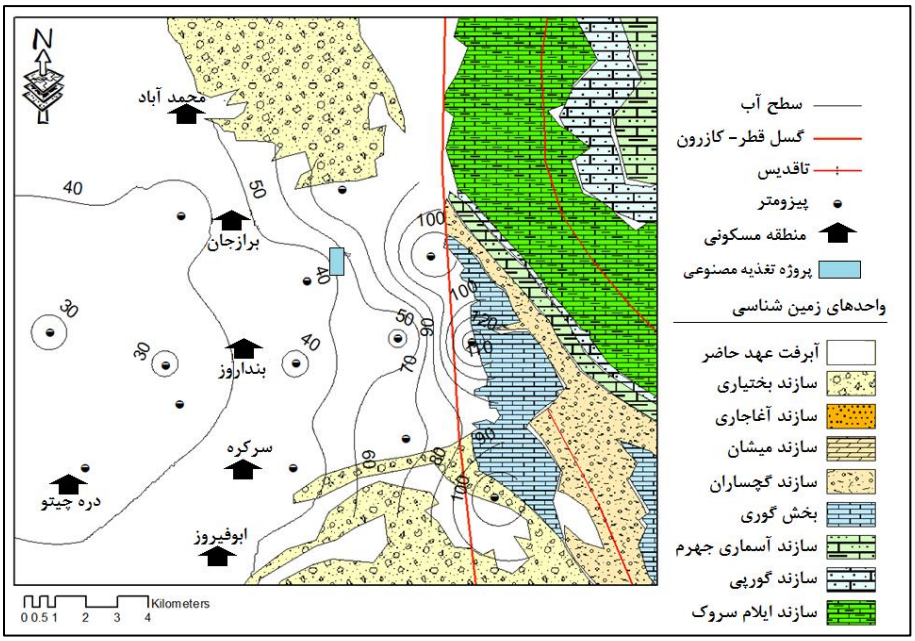
زمین‌شناسی موجود در محدوده مورد مطالعه از قدیم به جدید عبارتند از: سازند ایلام- سروک (آهک رسی، شیل و آهک‌های مارنی)، سازند گورپی (شیل آهکی)، سازند آسماری (آهک کرم تا قهوه‌ای رنگ)، سازند گچساران (گچ، مارن و مارن‌های آهکی)، سازند میشان (مارن‌های خاکستری و آهک)، سازند بختیاری (کنگلومرا با سیمان آهکی) و رسوبات عهد حاضر. آبرفت‌های عهد حاضر پس از پوشش خاکی، شامل قلوه‌سنگ، سیلت و رس، شن و ماسه و قطعاتی از واریزه‌های آهکی، گچی و مارنی هستند.

آبخوان محدوده برازجان یک آبخوان آزاد است و رسوبات آبرفتی آن عمدتاً حاصل فرسایش سازندهای اطراف بخصوص سازند کنگلومرای بختیاری و گچساران می‌باشند. در دشت برازجان بخش غیراشباع آبخوان شامل رسوباتی دانه ریز مانند رس و سیلت همراه با مقداری ماسه است. لایه‌هایی که تشکیل سفره آبدار را می‌دهند، عمدتاً شامل ماسه و سیلت هستند. نقشه زمین‌شناسی و تراز سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت برازجان در شکل ۱ ارائه شده است. حداکثر تراز سطح آب زیرزمینی در نواحی شرقی و حداقل آن در نواحی غربی دشت ملاحظه می‌شود. جهت جریان آب زیرزمینی نیز از شرق دشت به سمت غرب آن است.

پروژه تغذیه مصنوعی آردو در نزدیکی شهر برازجان قرار گرفته‌است. بخش‌های اصلی این پروژه شامل بند انحرافی، آبگیر (سرریز آزاد)، کالورت‌های تخلیه رسوب و حقابه‌ها، کانال انتقال آب و حوضچه تغذیه می‌باشد. بند انحرافی به طول ۸۰ متر با مصالح سنگ و سیمان بوده و ارتفاع آن ٤/۳ متر است. برای تخلیه رسوب چهار عدد کالورت از جنس سنگ و سیمانی در ابعاد ۰/۵۵ در ۱ متر طراحی شده است. آبگیر (سرریز آزاد) سیستم تغذیه نیز از جنس سنگ و سیمانی به طول ۳۹ متر و ظرفیت آبگیری ۱۵۰/۵ متر مکعب است. ابعاد حوضچه تغذیه در این پروژه ۱۲۲۰ متر طول، ۲۲۰ متر عرض و ۳/۸۵ متر ارتفاع است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای بوشهر، ۱۳۹۲).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی و سطح آب زیرزمینی دشت برازجان

بازدید میدانی این پروژه نشان داد که کف کنی و کناره شویی ایجاد شده بعد از سرریز پلکانی و همچنین انباشته شدن رسوبات در حوضچه اصلی باعث بالا رفتن ارتفاع سطح آب و شسته شدن بخشی از خاکریز کناری حوضچه شده‌است. ته نشین شدن رسوبات در حوضچه‌های تغذیه نیز یکی از مشکلات این پروژه است.

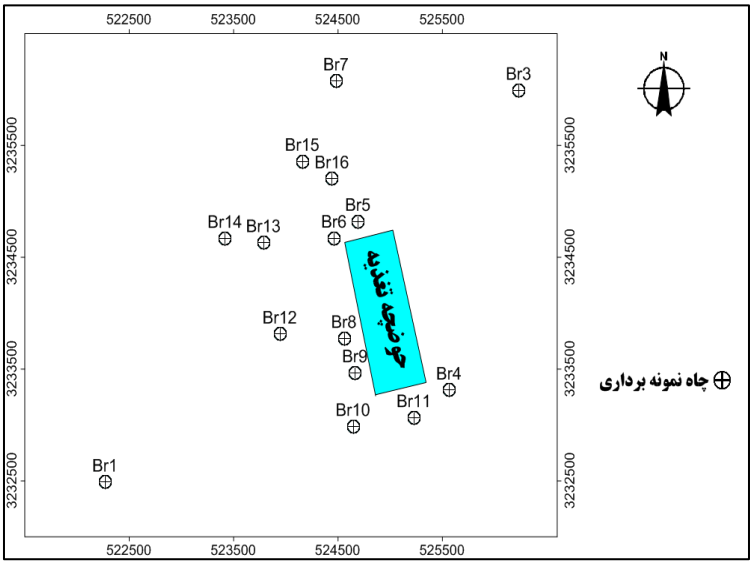
روش تحقیق: برای بررسی تاثیر پروژه تغذیه مصنوعی آردو بر آبخوان دشت برازجان، نمونه‌برداری از چاه‌های مجاور این پروژه در دستور کار قرار گرفت. به این منظور یک شبکه نمونه‌برداری با استفاده از چاه‌های موجود در اطراف حوضچه تغذیه مصنوعی ایجاد شد و از آب موجود در حوضچه تغذیه و چاه‌ها در فاصله زمانی دی‌ماه ۹۳ تا اردیبهشت‌ماه ۹۴ نمونه برداری شد. ایستگاه‌های نمونه‌برداری (حوضچه تغذیه و چاه‌ها) در شکل ۲ نشان داده شده‌است. نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها به دو روش انجام شد:

www.SID.ir

Archive of SID

در روش اول مقادیر هدایت الکتریکی و دمای نمونه‌های آب در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده‌اند. این پارامترها با متوسط فاصله زمانی ده روزه توسط دستگاه EC متر مدل HQ40d اندازه‌گیری شدند. به عبارت بهتر مقادیر دما و هدایت الکتریکی در فاصله دی‌ماه ۹۳ تا فروردین ۹٤، در ایستگاه‌های مختلف، ده بار اندازه‌گیری شد. بیش از ۳۰۰ داده اندازه‌گیری دما و هدایت الکتریکی از این طریق بدست آمد.

در روش دوم نمونه‌های آب با فاصله زمانی یک ماهه، جهت اندازه‌گیری کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیوم، سدیم و پتاسیم) و آنیون‌های اصلی (بی‌کربنات، کلراید و سولفات) به آزمایشگاه شرکت زاگرس آب‌شناس فارس منتقل شدند. بدین ترتیب در هر دوره نمونه برداری ۱۵ نمونه و در کل ٦۰ نمونه آب برای اندازه‌گیری مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی به آزمایشگاه ارسال شد. برای تحلیل نتایج آنالیز پارامترهای فیزیک وشیمیایی نمونه‌های آب از نمودارهای سری زمانی تغییرات پارامترهای کیفی و دیاگرام‌های کیفی مانند دیاگرام درو و نمودارهای ترکیبی استفاده شده‌است. نمودارهای تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی نیز جهت بررسی الگوی زمانی تغذیه آب زیرزمینی توسط حوضچه تغذیه مصنوعی بکار گرفته شده‌اند.



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از چاه‌های مجاور حوضچه تغذیه مصنوعی آردو

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

در بررسی ارتباط هیدرولیکی منابع آب باید از پارامترهای کیفی استفاده کرد که از لحاظ شیمیایی غیرواکنشی[1] باشند. به عبارت دیگر این پارامترها نباید در واکنش‌های شیمیایی شرکت کنند. هدایت الکتریکی، دما و یون کلراید محلول در آب معمولاً به صورت غیرواکنشی عمل می‌کنند (Hounslow, 1995) و به همین دلیل جهت بررسی تاثیر حوضچه تغذیه بر آبخوان انتخاب شدند.

دما: تغییرات زمانی دمای آب زیرزمینی در چاه های انتخابی در شکل ۳ ارائه شده است. کمترین دمای نمونه‌های آب در فاصله زمانی اوایل تا اواخر اسفندماه مشاهده می‌شود. این کاهش دما به دلیل تغذیه بیشتر آبخوان در این بازه زمانی است. بارندگی‌های بهمن و اسفندماه ۱۳۹۳ و تاثیر بیشتر حوضچه تغذیه مصنوعی در این ماه نقش زیادی در کاهش دمای آب زیرزمینی داشته است. بطوری که دمای نمونه‌های آب در اسفندماه نسبت به دی و بهمن‌ماه کاهش قابل ملاحظه‌ای (در حدود ٦ درجه سانتی-گراد) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳، نمونه های آب مربوط به چاه‌های Br6، Br8، Br13 و Br14 الگوی تغییرات زمانی بسیار مشابهی دارند. این چاه‌ها در مجاورت پروژه تغذیه مصنوعی قرار گرفته‌اند و به شدت تحت تاثیر آب نفوذی از حوضچه تغذیه آردو هستند. بنابراین مهمترین عامل موثر بر نوسانات دمای چاه‌های مذکور آب نفوذ یافته از طریق حوضچه‌های تغذیه است. الگوی نوسانات دما در چاه‌های Br5، Br15 و Br16 نیز مشابه است (شکل ۳). این چاه‌ها در مجاورت هم و در حاشیه غربی حوضچه‌های تغذیه مصنوعی قرار گرفته‌اند. تاثیر تغذیه توسط حوضچه آردو باعث شده تا نوسانات دمایی این چاه‌ها نیز مشابه باشد.

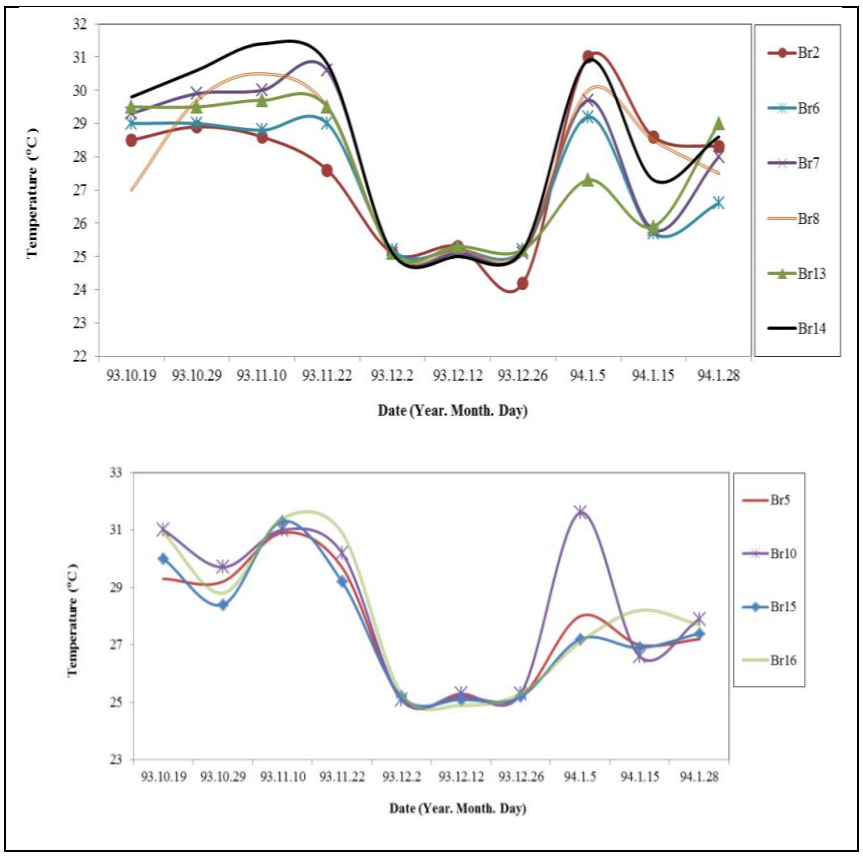
هدایت الکتریکی: تغییرات زمانی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ٤ ارائه شده است. الگوهای مشابه تغییرات زمانی هدایت

[1] Conservative

www.SID.ir

Archive of SID

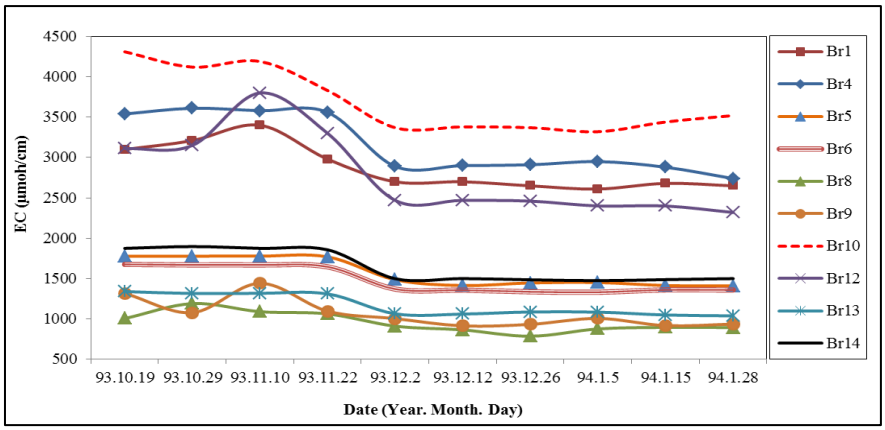
الکتریکی در این شکل از هم مجزا شده‌اند. بیشترین شباهت در روند تغییرات هدایت الکتریکی در دوره زمانی مورد مطالعه در چاه‌های Br5، Br6، Br8، Br9 ، Br13 و Br14 مشاهده شده است. کمترین میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی نیز در همین چاه‌ها مشاهده می‌شود. این چاه‌ها در نزدیکترین فاصله نسبت به حوضچه تغذیه آردو قرار گرفته و تحت تاثیر مستقیم آب نفوذی از حوضچه تغذیه می‌باشند. هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در بسیاری از چاه‌ها از اوایل اسفندماه کاهش قابل ملاحظه ای را نشان می‌دهد (شکل ٤). بارندگی‌های بهمن و اوایل اسفندماه ۹۳ در ایجاد این روند نقش مهمی ایفا کرده‌اند.



شکل ۳- تغییرات زمانی دمای آب زیرزمینی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

www.SID.ir

Archive of SID



شکل٤- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در ایستگاه‌های نمونه برداری

نقشه‌های هم میزان هدایت الکتریکی نمونه‌های آب زیرزمینی در مجاورت حوضچه تغذیه مصنوعی آردو در شکل ۵ نشان داده شده‌اند. کمترین میزان هدایت الکتریکی با مقدار کمتر از ۱٤۰۰ میکروموهس بر سانتی‌متر در مجاورت حوضچه تغذیه مصنوعی (نمونه‌های Br8 و Br9) در دی‌ماه ثبت شده است. در ماه‌های بهمن و اسفند ۱۳۹۳ و فروردین ۱۳۹٤ نیز کمترین میزان هدایت الکتریکی در مجاورت حوضچه تغذیه دیده می‌شود. هدایت الکتریکی آب زیرزمینی معمولاً از محل تغذیه به سمت منطقه تخلیه و در جهت جریان آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. بنابراین روند افزایشی مقدار هدایت الکتریکی از سمت حوضچه به اطراف و به خصوص به سمت شمال غرب حوضچه‌ها موید این موضوع است (شکل ۵).

شکل ٦ تغییرات زمانی هدایت الکتریکی آب موجود در حوضچه تغذیه مصنوعی و متوسط هدایت الکتریکی نمونه‌های آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. کمترین میزان هدایت الکتریکی آب حوضچه تغذیه در دی‌ماه ۱۳۹۳ ثبت شده است. کمترین میزان متوسط هدایت الکتریکی آب زیرزمینی نیز در همین ماه مشاهده شده است. با افزایش هدایت الکتریکی آب حوضچه تغذیه در بهمن‌ماه، هدایت الکتریکی آب زیرزمینی هم

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش یافته است. در اسفندماه ۱۳۹۳ هدایت الکتریکی آب حوضچه افزایش یافته است که ناشی از انحلال زیاد رسوبات گچی در مسیر رودخانه است. اما بدلیل اضافه شدن تغذیه ناشی از بارندگی، هدایت الکتریکی آب زیرزمینی کاهش یافته است. تاثیر این حجم بیشتر آب تغذیه شده در بخش شمال غربی منطقه و در مقدار حداکثر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی مشهود است. به طوری که در اسفندماه ۱۳۹۳ حداکثر هدایت الکتریکی نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به ماه‌های قبل و بعد آن کمتر است. برای مثال در این ماه در بخش شمال غربی حوضچه آردو حداکثر هدایت الکتریکی به میزان ۲٤۰۰ میکروموهس بر سانتی‌متر ثبت شده که نسبت به ماه‌های دی (۲٦۰۰ میکروموهس بر سانتی‌متر)، بهمن(۳۲۰۰ میکروموهس بر سانتی‌متر) و فروردین (۲۷۰۰ میکروموهس بر سانتی‌متر) کمتر است (شکل ۵). در واقع در ماه اسفند تاثیر بارندگی بر کیفت آب زیرزمینی بیش از تاثیر آب نفوذ یافته از حوضچه تغذیه مصنوعی است. این مورد موید مطالعات کلانتری و رحمانی (۱۳۷۸) می‌باشد.

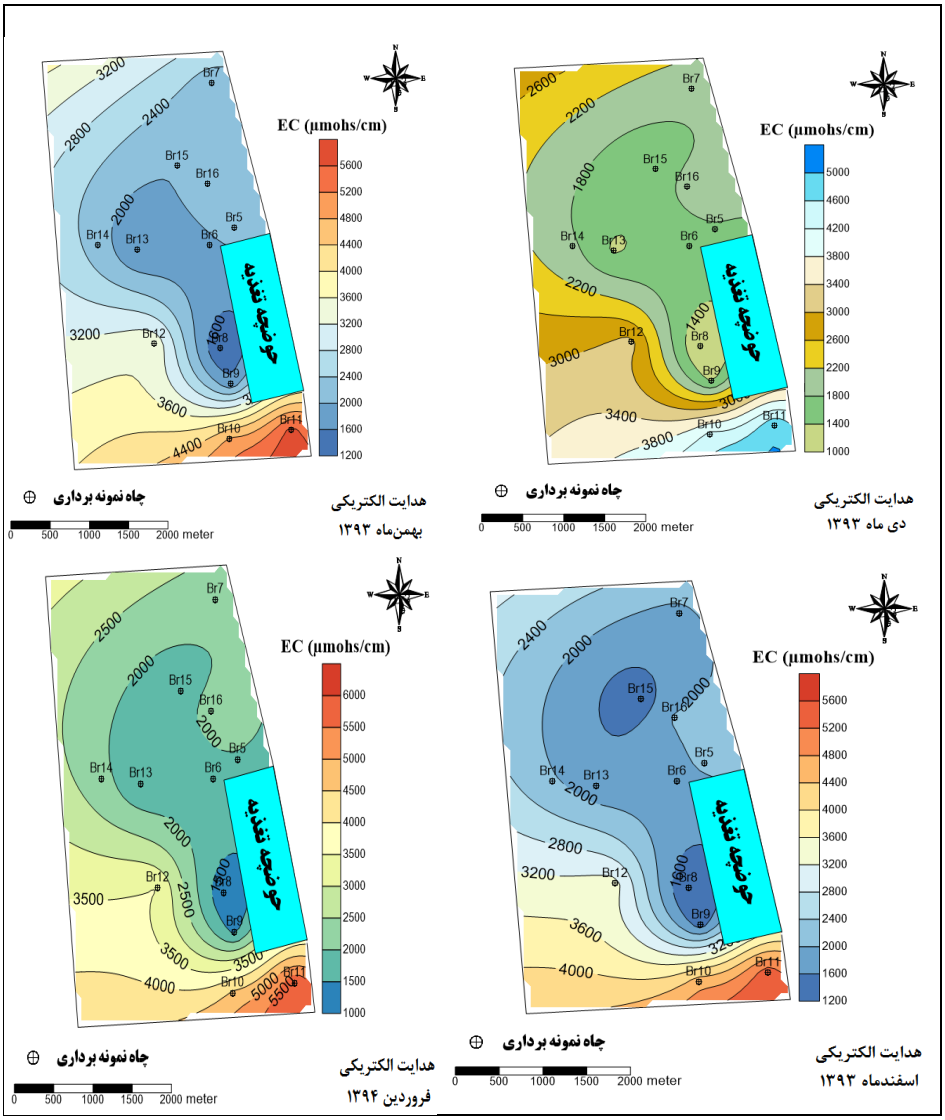
کلراید: تغییرات زمانی غلظت یون کلراید آب موجود در حوضچه تغذیه مصنوعی و نمونه آب چاه‌های Br6 و Br8 در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. کمترین میزان کلراید آب حوضچه تغذیه در بهمن‌ماه ۱۳۹۳ ثبت شده است. کمترین میزان کلراید این چاه‌ها نیز در همین ماه مشاهده شده است. با توجه به روند تغییرات غلظت یون کلراید در شکل ۷ و ۸ می‌توان گفت که رابطه تقریباً مستقیمی بین تغییرات غلظت کلراید در آب حوضچه تغذیه و آب چاه‌های Br6 و Br8 وجود دارد. دلیل این موضوع تاثیر زیاد حوضچه تغذیه بر این چاه‌ها است.

نقشه‌های هم میزان غلظت یون کلراید نمونه‌های آب زیرزمینی در مجاورت حوضچه تغذیه مصنوعی آردو در شکل ۹ نشان داده شده‌اند. کمترین مقدار غلظت یون کلراید در مجاورت حوضچه تغذیه مصنوعی مشاهده می‌شود و با افزایش فاصله از حوضچه تغذیه، غلظت کلراید افزایش می‌یابد. در دی‌ماه ۱۳۹۳ کمترین غلظت کلراید (کمتر از سه میلی اکی‌والان برلیتر) در مجاورت حوضچه تغذیه مصنوعی (نمونه‌های

www.SID.ir

Archive of SID

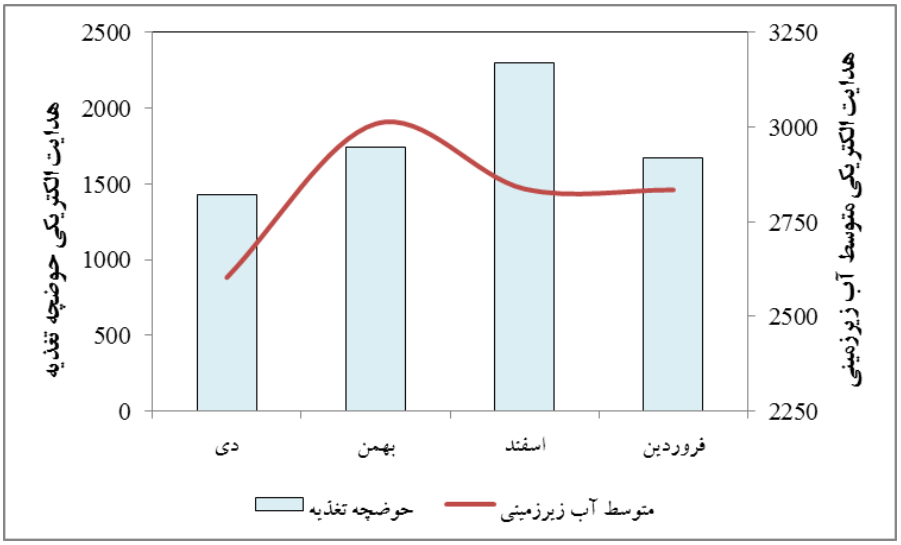
Br8 و Br9) مشاهده می‌شود. در ماه‌های بهمن و اسفند ۱۳۹۳ و فروردین ۱۳۹٤ نیز این روند مشاهده می‌شود. الگوی منحنی‌های هم مقدار غلظت یون کلراید در شکل ۹ نشان‌دهنده تغذیه آبخوان توسط حوضچه تغذیه آردو است.



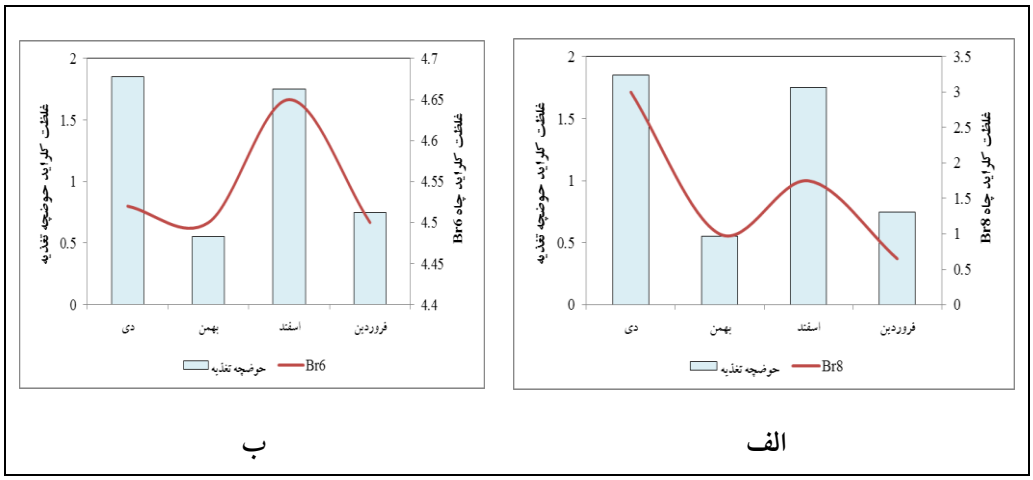
شکل ۵- تغییرات مکانی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در اطراف حوضچه تغذیه آردو

www.SID.ir

Archive of SID



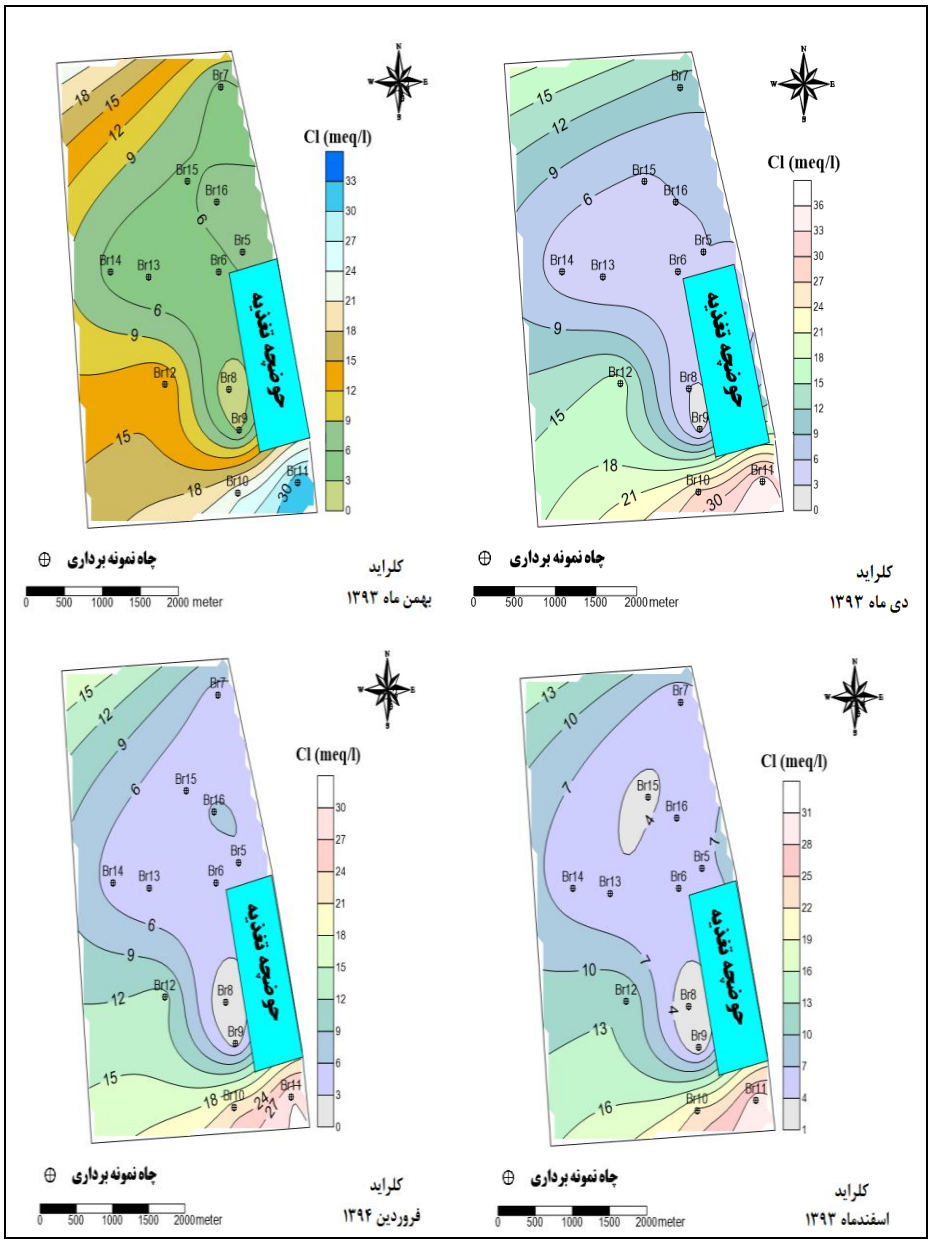
شکل ٦- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی آب حوضچه تغذیه و متوسط هدایت الکتریکی آب زیرزمینی



شکل ۷- تغییرات زمانی غلظت کلراید آب حوضچه تغذیه و چاه Br8 (الف) و چاه Br6 (ب)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹- تغییرات مکانی غلظت یون کلراید آب زیرزمینی در اطراف حوضچه تغذیه آردو

www.SID.ir

Archive of SID

تعیین سهم تغذیه توسط حوضچه آردو

نمودار درو نمونه‌های آب زیرزمینی در دی‌ماه در شکل ۱۰ نشان داده شده‌است. در مثلث مربوط به آنیون‌ها روند اختلاطی بین نمونه‌های مربوط به آب موجود در حوضچه تغذیه مصنوعی و نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه به خوبی مشخص است. قرار گرفتن نمونه‌ها در امتداد یک خط در مثلث آنیون‌ها موید این امر است. این روند اختلاطی تا حدودی در بخش مرکزی نمودار (بخش مربع شکل) نیز دیده می‌شود. در دی‌ماه ۱۳۹۳ که بارندگی وجود نداشته و حوضچه تغذیه مهمترین منبع تغذیه آب زیرزمینی بوده است، این روند اختلاطی در مثلث آنیون‌ها نسبت به سایر دوره‌های نمونه‌برداری واضح‌تر است. روند اختلاطی مشاهده شده بیشتر مرتبط با غلظت یون کلراید است. در دی‌ماه ۱۳۹۳ و قبل از نمونه‌برداری، بارندگی رخ نداده است. به همین دلیل نمونه‌های آب در این ماه جهت تعیین سهم حوضچه آردو در تغذیه آبخوان انتخاب شده‌اند. شکل ۱۱ نمودار ترکیبی غلظت یون کلراید در مقابل هدایت الکتریکی نمونه آب در دی‌ماه ۱۳۹۳ را نشان می‌دهد. روند خطی مشاهده شده در این نمودار نشان‌دهنده اختلاط آب حوضچه تغذیه و آب زیرزمینی است. همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، نمونه آب حوضچه تغذیه در یک سمت خط اختلاط قرار گرفته و نمونه مربوط به چاه Br11 در سمت دیگر خط اختلاطی واقع شده است. از این دو نمونه جهت محاسبه درصد اختلاط سایر نمونه‌ها و سهم حوضچه تغذیه در تزریق آب به آبخوان استفاده شده است. به این منظور از یک مدل اختلاط خطی دوگانه استفاده شده است. با توجه به این مدل، با استفاده از روابط زیر می‌توان میزان نسبی مشارکت حوضچه تغذیه مصنوعی در تغذیه آبخوان را مشخص کرد (مظفری زاده و سجادی، ۱۳۹۲):

$$C_m = X \cdot C_f + (1 - X) \cdot C_s \quad (1)$$

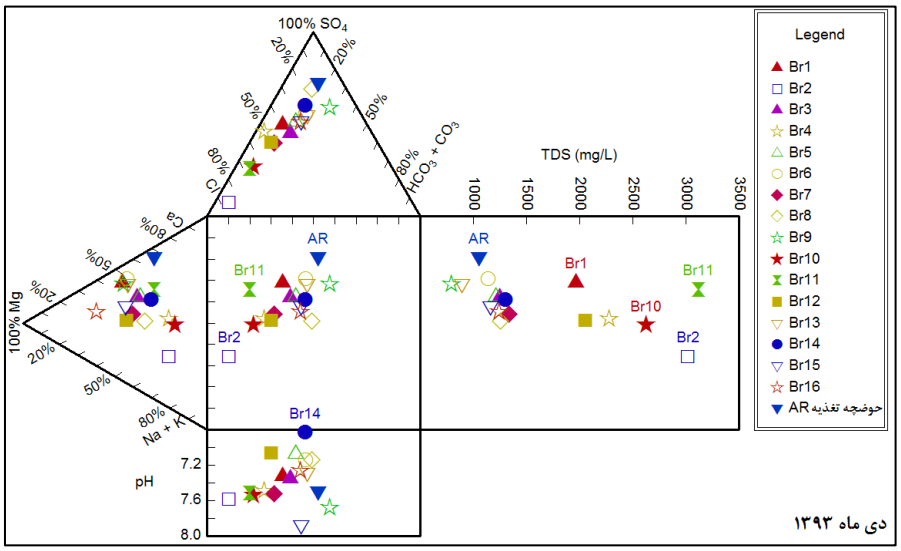
$$X = (C_s - C_m) / (C_s - C_f) \quad (2)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در این روابط C_m غلظت کلراید در آب مخلوط حوضچه تغذیه و آب زیرزمینی، C_f غلظت کلراید در آب حوضچه تغذیه، Cs غلظت کلراید در آب زیرزمینی (نمونه Br11)، X نسبت (درصد) آب حوضچه تغذیه در آب مخلوط و 1- X نسبت (درصد) آب زیرزمینی در آب مخلوط است.

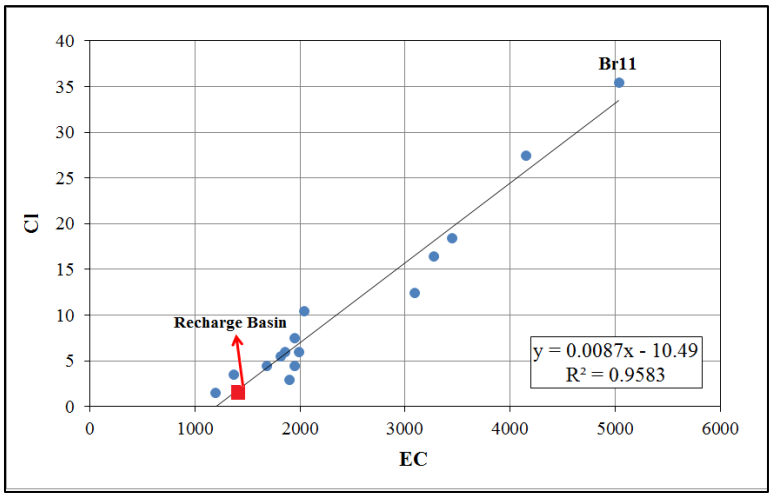
با توجه به روابط ۱ و ۲ سهم حوضچه تغذیه در آب اختلاطی (X) برای هر کدام از نمونه‌ها محاسبه شده است. شکل ۱۲ نیز الگوی تغییرات مکانی سهم حوضچه تغذیه مصنوعی در تغذیه آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، تغذیه از حوضچه آردو در اطراف آن به صورت متقارن انجام نمی‌شود. جبهه آب تغذیه‌ای از سمت حوضچه به سمت شمال غرب آن گسترش یافته است. این موضوع بیانگر جهت جریان آب زیرزمینی در محدوده تحت تاثیر حوضچه تغذیه مصنوعی است.



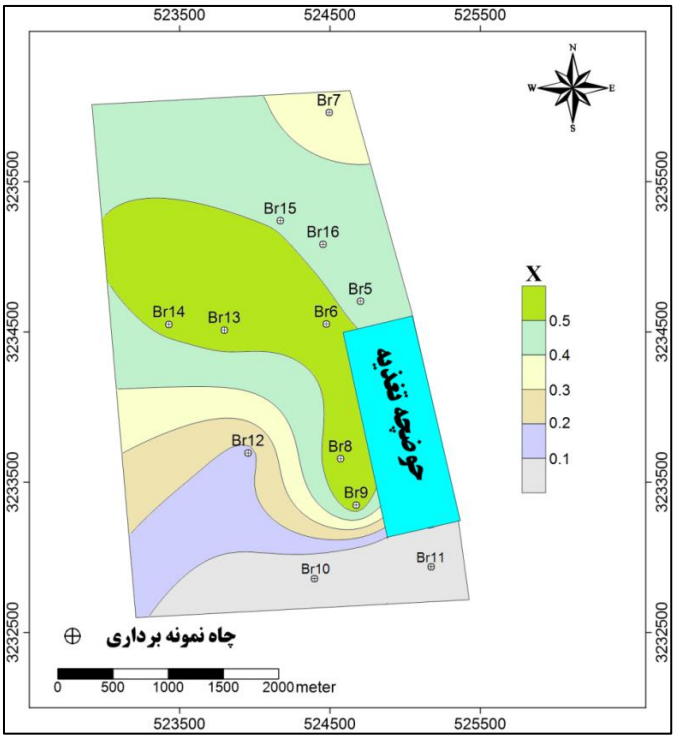
شکل ۱۰- نمودار درو نمونه‌های آب حوضچه تغذیه و آب زیرزمینی در دی‌ماه۱۳۹۳

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۱- نمودار کلراید در مقابل هدایت الکتریکی آب حوضچه تغذیه و نمونه‌های آب زیرزمینی



شکل ۱۲- الگوی تغییرات مکانی سهم حوضچه تغذیه آردو در تغذیه آب زیرزمینی

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از پایش زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی جهت ارزیابی عملکرد پروژه تغذیه مصنوعی آردو در استان بوشهر استفاده شد. پارمترهایی مانند دما، هدایت الکتریکی و یون کلراید به دلیل غیرواکنشی بودن به این منظور انتخاب شدند. بررسی تغیرات دما در چاه‌های مجاور حوضچه تغذیه آردو نشان دهنده گسترش حوضه تاثیر پروژه تغذیه مصنوعی در بخش جنوب و غرب حوضچه تغذیه آردو است. روند مشابه تغییرات دما در چاه‌های قرار گرفته در بخش‌های مذکور موید این موضوع است. روند تغییرات مکانی و زمانی هدایت الکتریکی نیز نشان‌دهنده نفوذ آب از حوضچه تغذیه به آبخوان است. کمترین میزان هدایت الکتریکی در چاه‌های مجاور حوضچه تغذیه مشاهده می‌شود و با افزایش فاصله از حوضچه تغذیه میزان هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. الگوی تغییرات یون کلراید نیز مشابه با هدایت الکتریکی می‌باشد. علاوه بر این رابطه تقریباً مستقیمی بین تغییرات غلظت کلراید آب موجود در حوضچه و غلظت کلراید آب چاه‌های مجاور آن مشاهده شده است.

نتایج این مطالعه نشان دهنده تغذیه نامتقارن در اطراف حوضچه تغذیه آردو است. این الگوی تغذیه نامتقارن سبب گسترش جبهه آب تغذیه‌ای از سمت حوضچه به طرف شمال غرب آن شده است. این تحقیق نشان داد که پروژه تغذیه مصنوعی آردو تاثیر مثبتی بر وضعیت آب زیرزمینی دارد.. نتایج این تحقیق نشان داد که پایش زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب در مجاورت پروژه‌های تغذیه مصنوعی، روش مناسبی جهت بررسی عملکرد این پروژه‌ها است. پیشنهاد می‌شود که شبکه پایش کمی و کیفی نیز در طراحی و اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی در کشور در نظر گرفته شود.

منابع

زارع، محمد، علی زینالی خاصلوئی و عزت اله رئیسی (۱۳۷۸). ارزیابی اثر کمی طرح تغذیه مصنوعی دشت امامزاده جعفر گچساران، سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

شرکت سهامی آب منطقه‌ای بوشهر (۱۳۹۰). گزارش پروژه تغذیه مصنوعی آردو (فاز طراحی). ۲۳٦ ص.

قوردویی میلان، محمد و غلامحسین کرمی(۱۳۹۲). ارزیابی اثرات کمی طرح تغذیه مصنوعی خوی. هشتمین همایش انجمن زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. تهران.

کاردان مقدم، حمید، محمدابراهیم بنی‌حبیب و سامان جوادی (۱۳۹٦). ارزیابی اثر تغذیهٔ مصنوعی بر تعادل‌بخشی آبخوان با استفاده از شاخص پایداری. اکوهیدرولوژی، دوره ٤، شماره ٤، صص ۱۲۵۳-۱۲٤۱.

کلانتری، نصراله، محمد جواد حیدری موسی و محمد حسین رحیمی (۱۳۸۸). مکان‌یابی و پتانسیل‌یابی تغذیهٔ مدیریتی سفرهٔ آب‌دار: بررسی موردی دشت زیدون، استان خوزستان. نشریه زمین شناسی مهندسی، دوره ۳، شماره ۱، صص ٦۱٤-۵۹۱.

کلانتری، نصراله و حسین رحمانی (۱۳۷۸). تاثیر طرح تغذیه مصنوعی جاشک بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دشت آبدان، استان بوشهر. سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران. تهران.

مظفری زاده، جابر و زینب سجادی (۱۳۹۲). بررسی منشاء شوری آب زیرزمینی دشت برازجان، مجله مهندسی منابع آب، دوره ٦، شماره ۱٦، صص ٦۹-۷۸.

Abraham, M. and Mohan, S. (2015). Effectiveness of artificial recharge structures in enhancing groundwater storage: a case study. Indian Journal of Science and Technology, 8(20), 1-10.

Hounslow, A.W. (1995): Water Quality Data Analysis and Interpretation. CRC Press LLC, Lewis Publishers.

International Association of Hydrogeologists (2005): Strategies for Managed Aquifer Recharge (MAR) in semi-arid areas. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).

Mazore, E. (2003).Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology. CRC Press, 352p.

www.SID.ir