

شبیه‌سازی تأثیر احداث سد زیرزمینی روی ذخیره آبخوان و پراکنش نترات در دشت شهرکرد

رضا لاله‌زاری و سید حسن طباطبائی*

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۶/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱/۲۶)

چکیده

آبخوان شهرکرد با بیش از ۸۰۰ چاه عمیق و نیمه‌عمیق تخلیه می‌گردد که عمده چاه‌ها برای کشاورزی و تعدادی جهت تأمین آب شرب استفاده می‌شوند. سطح آب زیرزمینی در بخش‌هایی از جنوب دشت به دلیل برداشت زیاد با افت شدید مواجه شده و ورود فاضلاب خانگی نیز در همین محدوده کیفیت آب را تنزل داده است. احداث سد زیرزمینی و تأثیر آن بر افزایش ارتفاع سطح ایستابی در محل مصرف، کاهش هزینه‌های انتقال و جلوگیری از حرکت آلاینده‌ها اهدافی است که در این مطالعه به آن پرداخته شده است. بدین منظور مدل هیدرولیکی آبخوان شهرکرد با واسنجی ضرایب هیدرودینامیک توسط نرم‌افزار PMWIN 5.3 تهیه شد. بخش خروجی جنوب دشت (پایین دست روستای بهرام آباد) جهت انجام مطالعات احداث سد زیرزمینی انتخاب و لایه‌ای با میانگین آبگذری ۰/۵ متر در روز در مسیر جریان شبیه‌سازی گردید. ارتفاع سطح ایستابی و کیفیت آب قبل و بعد از احداث سد توسط نرم‌افزار ArcGIS 9.2 ترسیم و تحلیل شد. نتایج نشان می‌دهد احداث سد تا فاصله چهار کیلومتر سطح آب زیرزمینی بالادست را تحت تأثیر قرار داده است. در نتیجه حجم آب قابل دسترس به میزان ۱/۵۰۰/۰۰۰ مترمکعب افزایش یافته و استحصال آب را آسان‌تر نموده است. توزیع نترات در منطقه نسبت به حالت اولیه تغییر زیادی نداشت. اما با انباشته شدن آب در محدوده مخزن و به دلیل واقع شدن در نزدیکی تصفیه‌خانه شهرکرد و چاه‌های فاضلاب خانگی امکان بالا رفتن غلظت سایر آلاینده‌های شیمیایی وجود خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: سد زیرزمینی، شهرکرد، مدلسازی، نترات

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Tabatabaie@agr.sku.ac.ir

مقدمه

منابع آب زیرزمینی از جمله منابع پایدار و تجدیدپذیر است که مازاد آن از طریق چشمه‌ها در اختیار بشر بوده است. امروزه در بسیاری از کشورهای دنیا ساخت سدهای زیرزمینی به‌عنوان روشی جدید در بهره‌برداری از منابع آب مورد توجه قرار گرفته است. هدف از طراحی سدهای زیرزمینی تأمین آب مصرفی و مدیریت متمرکز منابع آب و جلوگیری از پیشروی آب شور به آب زیرزمینی است. مزایای سد زیرزمینی نسبت به سد روی زمین هزینه ساخت پایین‌تر، نزدیک بودن به محل مصرف، عدم وجود تبخیر سطحی، بهداشتی بودن منبع آب به‌دلیل تصفیه زمینی و تکنولوژی ساده در ساخت است (۱۹). در آریزونای آمریکا سدهای ذخیره شنی روی سنگ بستر ساخته می‌شد تا با جلوگیری از حرکت آب زیرسطحی، منبع آب را در بستری از سنگریزه پدید آورند (۲۵). بعدها این نوع سد برای کنترل رسوب کاربرد پیدا نمود (۱۴). در سال ۱۹۸۲ در برزیل چهار سد زیرزمینی برای ذخیره آب کشاورزی احداث شد (۱۱). در کشور چین نیز بیش از ۲۰ منبع آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی و صنعتی اجرا گردیده است (۲۳).

در ژاپن اولین سد زیرزمینی در سال ۱۹۷۳ با حجم ذخیره ۲۰۰۰۰ مترمکعب احداث شد و در سال‌های بعد بهره‌گیری از این شیوه برای تأمین آب ادامه یافت (۲۰). در ایران نیز موارد کاربرد سدهای زیرسطحی با تنوع در مصالح مصرفی بتدریج گسترش پیدا کرده است. در منطقه کندر کهنوج استان کرمان سد زیرزمینی بر روی رودخانه گرووان با ارتفاع ۹/۵ متر، عرض ۱۷ و ۷۶ متر به‌ترتیب در کف و عرض بالا احداث شده است (۳). در کوه‌رز دامغان سازه به‌صورت دیوارچینی آجری با رویه قیرگونی شده از کف پی تا ارتفاع ۴ متر و بقیه دیوار تا سطح زمین با رس کوبیده ساخته شده است. سد زیرزمینی تویه دوار تا عمق ۵ متر از سنگ و ملات و ادامه آن از بتن ساخته و در داخل مخزن از مصالح گراولی استفاده شده است. نمونه‌های دیگر این سدها در ماکو (آذربایجان غربی) و خرائق یزد وجود دارد (۱۰).

توجه به نحوه جریان آب و توزیع املاح پس از احداث سد در مقایسه با قبل از جمله موضوعاتی است که باید در مطالعات طراحی سدها به آن پرداخته شود. ارتسن و هوت (۱۲) نشان دادند که بسیاری از مشکلات پس از اجرای این سدها به‌دلیل طراحی و ساخت توسط افراد غیرمتخصص بوده است. در ژاپن عملیات ساخت سد زیرزمینی سوناگاوا با هدف تأمین آب آبیاری از سال ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۳ انجام گرفت. حجم آب ذخیره شده از سال ۲۰۰۱ به مصرف آبیاری رسید. قبل از احداث سد در سال ۱۹۸۸ غلظت نیترات ۱۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است و در سال ۲۰۰۳ دو سال بعد از بهره‌برداری از آب ذخیره شده غلظت نیترات از ۲/۱۴ تا ۸/۳۴ متغیر بود که بیشترین مقدار غلظت در نزدیکی دیواره سد مشاهده شده است. کاهش در غلظت نیترات از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳ در مناطق بدون سد زیرزمینی هم توسط تاشیرو و تاکاهیرا (۲۷) گزارش شده بود، اشیدا و همکاران (۱۵) گزارش نمودند که احداث سد زیرزمینی وضعیت توزیع نیترات را تحت تأثیر قرار داده است. یاشیموتو و همکاران (۳۰) مطالعات مشابهی را در اوکیناوا ژاپن انجام دادند و نشان دادند که مدل‌های عددی قابلیت پیشگویی تغییرات نیترات در اثر ساخت سد زیرزمینی را دارند.

در برخی از کشورهای جهان نیز مطالعه اثرات این‌گونه سدها در جلوگیری از حرکت شوری انجام شده و به‌عنوان یکی از مزایا و کاربردهای آن توصیه شده است (۱۳ و ۲۸). اوندور ویلماز (۲۴) سد فرضی را با ضخامت ۱۰ متر در آبخوانی به ابعاد $۶۸ \times ۲۰۰۰ \times ۵۰۰۰$ متر توسط مدل Modflow شبیه‌سازی کردند. ایشان با پمپاژ دبی‌های مختلف از ۲ چاه در محدوده سد حرکت آب شور دریا را به سمت آبخوان به‌صورت خطوط کنتوری ترسیم نمودند. طباری و شمسایی (۵)، با مطالعه مدل فیزیکی سد زیرزمینی و تهیه مدل عددی آن توسط Modflow جریان در مخزن سد را شبیه‌سازی کردند. ایشان دبی، ارتفاع سد، سطح ایستابی اولیه، هدایت هیدرولیکی، ضخامت سد و شیب کف لایه آبدار را به‌ترتیب مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ارتفاع آب بر روی سد زیرزمینی دانستند.



شکل ۱. موقعیت دشت شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری و ایران

هدف این تحقیق بررسی تأثیر احداث سدهای زیرزمینی در بالابردن کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی در آبخوان شهرکرد توسط نرم‌افزارهای Modflow، MT3D و ArcGIS است.

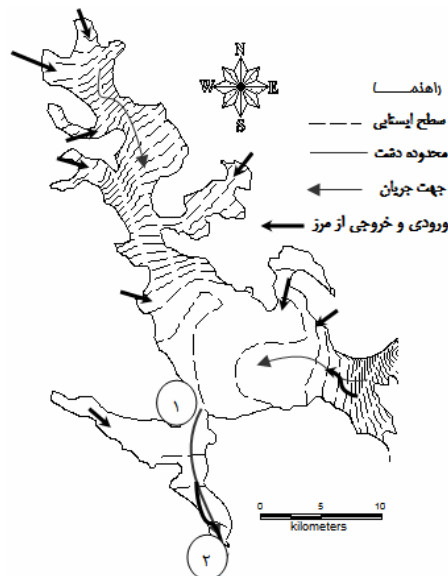
مواد و روش‌ها

آبخوان شهرکرد که در شکل ۱ موقعیت آن واقع در استان چهارمحال و بختیاری با عرض جغرافیایی $32^{\circ} 07'$ تا $32^{\circ} 35'$ و طول جغرافیایی $50^{\circ} 38'$ تا $51^{\circ} 10'$ نشان داده شده است جهت بررسی اثرات سد زیرزمینی شبیه‌سازی گردید. دشت شهرکرد با مساحت ۵۵۱ کیلومترمربع و ارتفاع متوسط ۲۰۶۰ متر از سطح دریا در حوضه آبریز شهرکرد (مساحت: ۱۲۴۴ کیلومترمربع) قرار گرفته است. از نظر زمین‌شناسی در ناحیه زاگرس بلند و به لحاظ ساختاری در پهنه سنندج - سیرجان قرار دارد. دشت مذکور با روند گسترش شمالی - جنوبی پدید آمده و با توجه به شرایط رسوبگذاری، سطح دشت نسبتاً هموار و فاقد عوارض مورفولوژیکی است. واحدهای سنگی ناحیه را به لحاظ تراوایی می‌توان به دو گروه سنگ‌های نفوذناپذیر یا کم نفوذپذیر و سنگ‌های نفوذپذیر تقسیم‌بندی کرد (۴). در این دشت ۶۳۵ حلقه چاه، ۷۹ رشته قنات و ۴۰ دهنه چشمه سالانه ۲۳۰ میلیون

محل احداث سد باید دارای شرایط خاصی باشد که اولویت‌های ذیل از جمله آنهاست:

پتانسیل بالایی جهت ذخیره آب داشته باشد مانند بستر رودخانه (۱۸). حجم مخزن، عمق سنگ بستر نسبت به سطح زمین، نفوذپذیری و کیفیت شیمیایی خاک مخزن نیز از عواملی است که قبل از طراحی باید بررسی شود (۱۳). تأثیر بر منابع آبی، دسترسی به سد، نیاز آبی منطقه نیز از شرایط اقتصادی - اجتماعی محسوب می‌شوند (۱). وجود قنات در محدوده احداث سد موجب احیا و افزایش بهره‌وری بیشتر از قنات‌ها می‌شود (۶).

بررسی‌های فوق نشان می‌دهد که استفاده از سدهای زیرسطحی برای حفظ و کنترل آب زیرزمینی در حال تکامل و گسترش است. لذا به منظور بهره‌گیری از این روش‌ها باید شرایط و ضوابط احداث آنها واسنجی گردد. بنابراین مطالعه طولانی مدت تغییرات کمی و کیفی آبخوان به‌عنوان یکی از اقدامات اولیه قبل از اجرای سد ضروری است. از آنجائی که بررسی این پدیده در عمل بسیار هزینه‌بر و وقت‌گیر می‌باشد، مدل‌های نرم‌افزاری به‌عنوان ابزار شبیه‌سازی رفتار آب زیرزمینی و تغییرات غلظت نیترات در اثر احداث سد زیرزمینی توسعه یافته‌اند.



شکل ۲. محدوده دشت شهرکرد، جهت حرکت آب و دو نقطه اولیه جهت احداث سد زیرزمینی

امکان پذیر است. احداث سد در صورتی مقرون به صرفه خواهد بود که آب ذخیره شده با حداقل هزینه به مصرف برسد. به همین جهت موارد و حجم برداشت از اهمیت خاصی برخوردار است. در بین دو نقطه مشخص شده (شکل ۲) منطقه شماره ۱ حجم برداشت بالاتری را در مصرف کشاورزی و شرب دارد. نزدیکی این نقطه به روستای بهرام آباد و در پایین دست به طاقانک، نوآباد، هفشجان و مزارع اطراف از مزیت های آن محسوب می گردد. بنابراین محدوده نقطه ۱ جهت بررسی احداث سد زیرزمینی تعیین و در شکل ۳ جزئیات آن ترسیم گردیده است.

۳. شرایط هیدرولیکی آبخوان: محیطی از خاک که برای ذخیره آب در نظر گرفته می شود باید دارای تخلخل مؤثر بالا باشد تا حجم زیادی از آب را در خود ذخیره کرده و در فصل برداشت آبدهی مطلوبی داشته باشد. قابلیت انتقال به عنوان معرف این توانایی در فرآیند مکانیابی لحاظ گردید. مطابق نقشه های به دست آمده توسط لاله زاری و همکاران (۲۱) قابلیت انتقال آبخوان در محدوده مورد نظر بیشترین مقدار در کل دشت بوده و عبور آب به آسانی صورت می گیرد. در شکل ۴ نقشه همتراز قابلیت انتقال آمده است.

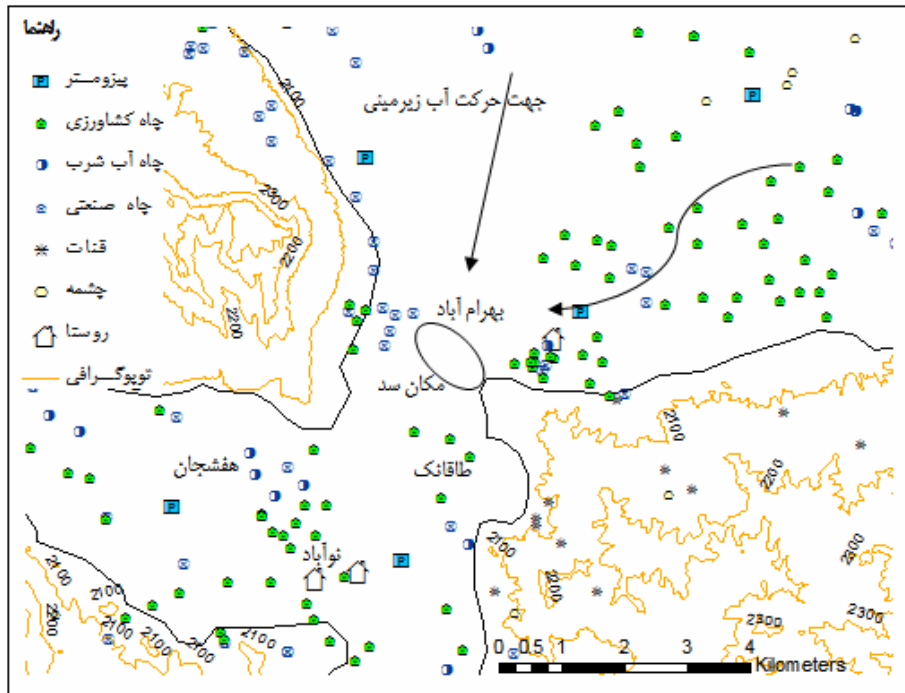
دیگر خصوصیات زمین محل احداث مانند نزدیکی لایه

مترمکعب آب را از آبخوان تخلیه می کنند (۷). اطلاعات ترسیمی رقوم پیزومترها نشان می دهد آب زیرزمینی از شمال دشت به دلیل اختلاف ارتفاع به جنوب دشت حرکت می کند (شکل ۲). مطابق شکل خروجی زیرزمینی دشت در قسمت جنوبی (شهرهای شمس آباد و خراجی) واقع شده است (۸ و ۹).

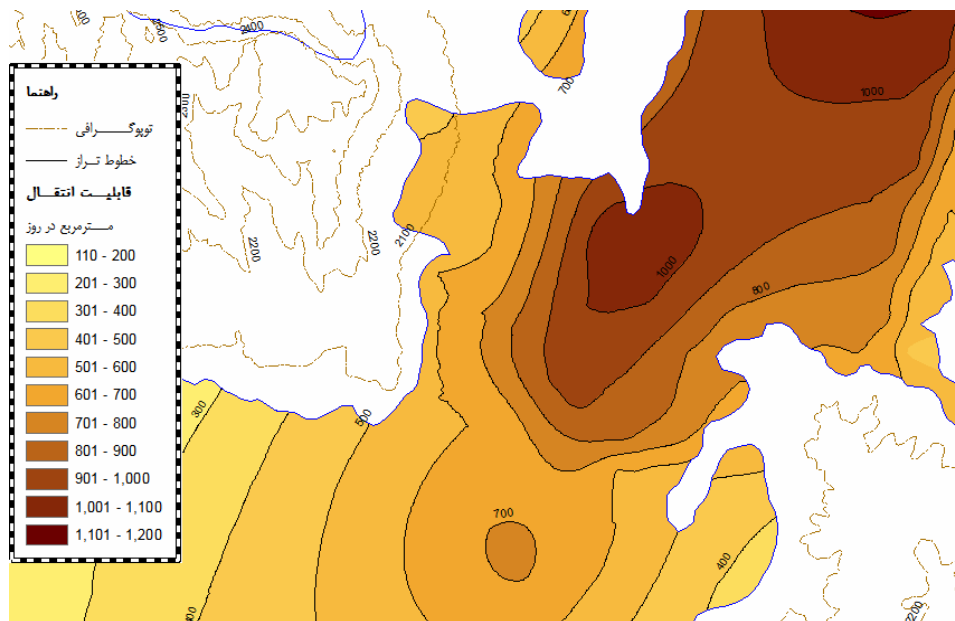
مکان مناسب ساخت سد از مطالعه و برآورد عوامل ذیل به دست آمد.

۱. امکان احداث سد: دهانه های باریک خروجی که امکان سد کردن مسیر جریان وجود دارد اگر دارای مخزن مناسب ذخیره آب باشد یکی از اولویت ها در یافتن بهترین مکان است (۲). این نقاط ضمن جلوگیری از خروج بی رویه آب در دسترس، هزینه های طرح را کاهش خواهد داد. بررسی نقشه دشت (شکل ۲) دو نقطه را از این لحاظ مناسب نشان می دهد. منطقه شماره ۱ پایین دست روستای بهرام آباد در محل خروج آب از منطقه وسیع دشت به بخش جنوبی است. منطقه دوم نقطه خروجی دشت در نزدیکی روستای شمس آباد که در شکل ۲ با شماره ۲ مشخص شده است.

۲. دسترسی آسان در محل مصرف: برداشت آب در این شیوه به صورت ثقلی از طریق کارگذاری لوله در بدنه سد و نیروی ثقل برای مناطق پایین دست و حفر چاه برای مناطق بالادست



شکل ۳. جزئیات منطقه پیشنهادی شماره ۱ جهت احداث سد زیرزمینی



شکل ۴. نقشه قابلیت انتقال در منطقه پیشنهادی جهت احداث سد زیرزمینی شماره یک (۷)

مطالعه شرایط و رفتار اولیه آبخوان قبل از احداث سد فرضی و تغییرات احتمالی پس از آن نیازمند مدلسازی جریان آب زیرزمینی و انتقال آلاینده است. در تحقیق حاضر از نرم‌افزارهای Modflow (۲۲) و MT3D (۳۱) در دوره زمانی یکساله حد

نفوذناپذیر به سطح زمین، ضخامت کافی برای ذخیره آب، عدم آلودگی آب ذخیره شده توسط فاضلاب شهری و کشاورزی، مقدار بارش کافی، شیب زمین و جریان زیرسطحی است که تناسب ناحیه انتخاب شده نسبت به سایر نقاط دشت را تأیید می‌کند.

جدول ۱. مشخصات سد زیرزمینی فرضی

ارتفاع کف سد از سطح دریا	۱۹۸۵ متر
ارتفاع سد از سنگ بستر	۴۰ متر
طول سد زیرزمینی	۷۵۰ متر
هدایت هیدرولیکی آبخوان در محل احداث	۱۶ متر در روز
تخلخل مؤثر آبخوان در محل احداث سد	۲۵ درصد
مصالح مصرفی پیشنهادی	رس کوبیده
هدایت هیدرولیکی بدنه سد	۰/۵ متر در روز
کاربری زمین پیشنهادی در حال حاضر	کشاورزی

آب زیرزمینی و غلظت نیترات محاسبه شده توسط مدل در پایان ماه دوازدهم از مدل استخراج شد. داده‌ها به مختصات جهانی تبدیل و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.2 و روش کریجینگ در نواحی بالادست و پایین‌دست سد میانمایی و ترسیم گردید (شکل‌های ۵ تا ۸). برای مقایسه نتایج ضمن تهیه نقشه‌های ذکر شده ۱۰ نقطه مطابق شکل ۵ در نقاط تأثیرگذار و قابل اندازه‌گیری در نظر گرفته شد و ارتفاع سطح ایستابی و غلظت نیترات در حالات بدون سد زیرزمینی و پس از احداث در این نقاط تحلیل شده است.

نتایج و بحث

این تحقیق به منظور ارزیابی اثر احداث سد زیرزمینی در دشت شهرکرد روی کمیت و غلظت نیترات آبخوان با استفاده از مدل کامپیوتری انجام گردید که نتایج در ذیل آمده است. تحلیل نتایج با استفاده از نقشه‌های همتراز سطح ایستابی و غلظت نیترات در دو بخش به صورت جداگانه تحلیل شده است.

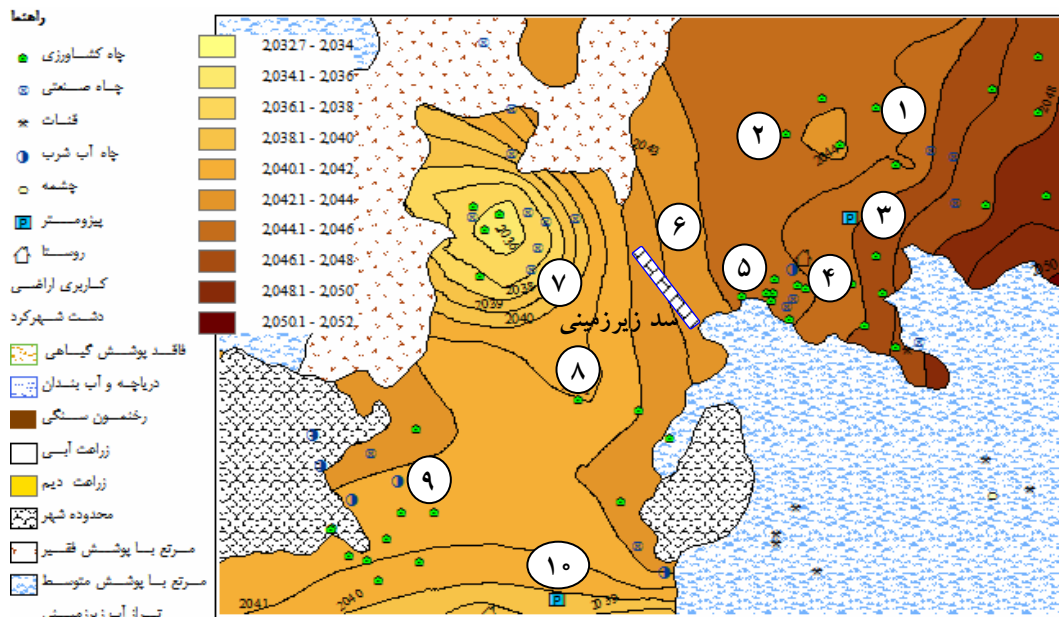
تأثیر سد زیرزمینی بر تغییرات حجم آب

نقشه تراز آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه قبل و بعد از احداث سد در شکل ۵ و ۶ نشان داده شده است. مطابق نقشه سد زیرسطحی تا چهار کیلومتر بالادست خود با مساحتی حدود سیزده کیلومترمربع را تحت تأثیر افزایش سطح ایستابی قرار داده است.

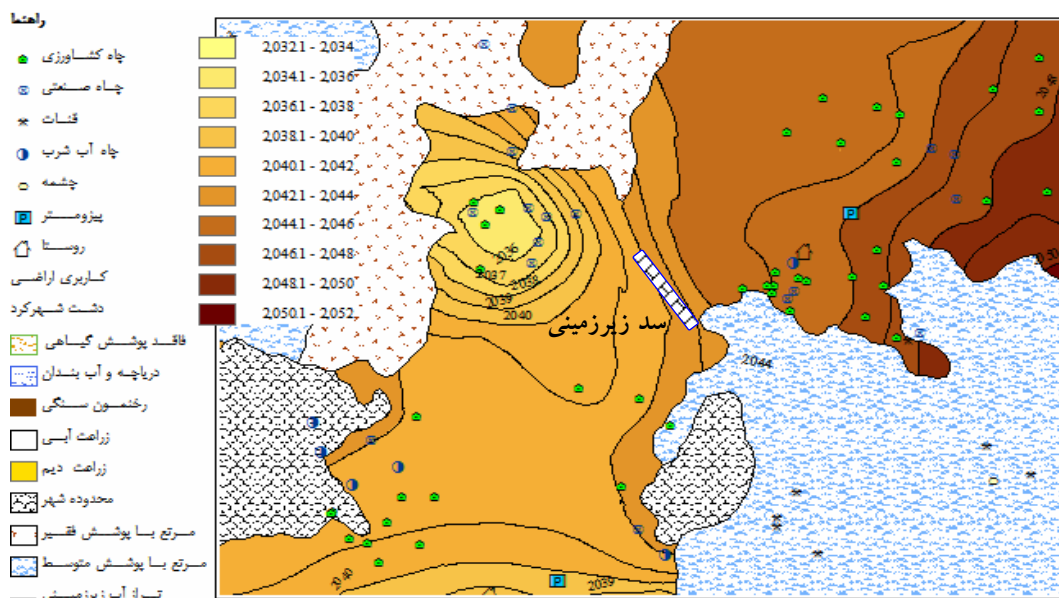
فاصل تیرماه ۱۳۸۶ تا خرداد ۱۳۸۷ با ۱۲ دوره تنش یک ماهه برای مدلسازی‌های فوق استفاده شد.

مدل مفهومی آبخوان با تهیه رقوم پیزومترها، سنگ بستر، توپوگرافی سطح و تعیین ورودی و خروجی آبخوان تشریح گردید. ۱۰ ماه اول سال مورد مطالعه برای واسنجی هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در نظر گرفته شد و در ۲ ماه باقیمانده در مقایسه با داده‌های واقعی صحت‌سنجی شد. جهت تهیه مدل کیفی، نمونه‌برداری ماهانه از ۱۰ نقطه دشت انجام و غلظت نیترات به روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد. طول دوره واسنجی و صحت‌سنجی مدل انتقال نیترات نیز همانند مدل کمی زمان‌بندی و تهیه گردید. گام بعدی قرار دادن مانع زیرسطحی در منطقه پیشنهادی توسط نرم‌افزار Modflow بود. مشخصات فنی ورودی به مدل تهیه شده برای اجرای سد زیرزمینی در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به توضیح است که برای نادیده نگرفتن حقبه پایین‌دست، سد زیرزمینی فرضی تنها حدود ۵۰ درصد از مسیر جریان را قطع خواهد کرد. بنابراین با توجه به شکل ۳ نحوه اجرای سد به گونه‌ایست که چاه‌های صنعتی و کشاورزی واقع در بخش شمالی تنگه‌ای که سد اجرا می‌شود از مزایای بالا آمدن سطح ایستابی بهره برده و آب اراضی زراعی پایین‌دست نیز کاهش زیادی نداشته باشد.

پس از انجام مراحل مذکور، مدل جریان و مدل انتقال نیترات به صورت جداگانه یکبار برای شرایط قبل از قرارگیری سد زیرزمینی و یکبار برای بعد از آن اجرا گردید. رقوم سطح



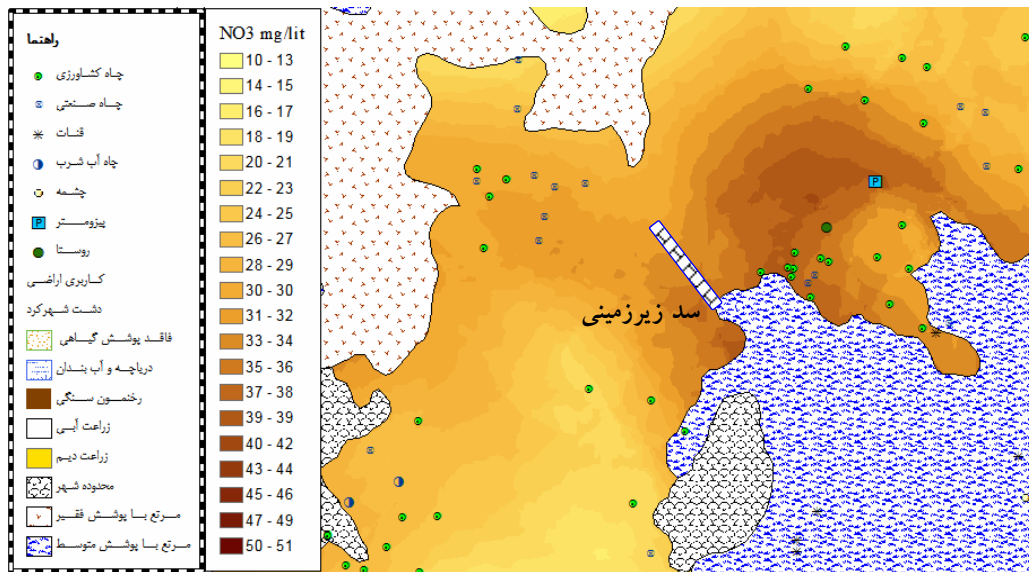
شکل ۵. رقوم سطح ایستابی قبل از احداث سد زیرزمینی و ۱۰ نقطه کنترل تعریف شده



شکل ۶. رقوم سطح ایستابی بعد از احداث سد زیرزمینی

میلیون و دویست هزار مترمکعب، ۶ چاه صنعتی ۸۵۰۰۰۰ مترمکعب و ۴۵۰۰۰۰ مترمکعب از یک چاه شرب است. در مجموع سالانه ۶ میلیون و پانصد هزار مترمکعب از این ناحیه تخلیه می‌شود که حجم آب ذخیره شده می‌تواند ۲۵ درصد برداشت را جبران کند. ضمن این‌که عمده برداشت در فصل تابستان صورت می‌گیرد که معمولاً آبخوان با افت شدید مواجه

مقدار بالارفتگی سطح آب در نزدیکی سد حدود یک متر در سال و به تدریج با دور شدن از سد کاهش می‌یابد. در مساحت ۱۳ کیلومترمربع و با احتساب تخلخل مؤثر ۲۵ درصد (۷)، حجم ذخیره‌سازی مازاد بر حجم آب اولیه قبل از احداث سد حدود یک میلیون و پانصد هزار مترمکعب در یکسال برآورد می‌گردد. حجم برداشت از ۲۴ چاه کشاورزی تأثیرپذیر حدود ۵



شکل ۷. وضعیت توزیع نیترات قبل از احداث سد

توزیع نیترات رخ نداده است. تنها مقداری پس زدگی و کاهش حرکت جریان پراکنش نیترات از مرز جدایی آبخوان فاصله گرفته است. مطالعه اشیدا و همکاران (۱۵) روی سد زیرزمینی سوناگاوا ژاپن نیز این مطلب را تأیید می‌کند. ایشان مشاهده کردند غلظت نیترات قبل از احداث سد زیرزمینی ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بوده و پس از بهره‌برداری از سد در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۵ تنها به میزان ۲ میلی‌گرم در لیتر تغییر داشته است. لازم به ذکر است که کندی حرکت نیترات در گسترش آن در آب زیرزمینی از مواردی است که نیازمند توجه بیشتر است. نتایج تحقیقات گذشته در منطقه نشان می‌دهد که سرعت پراکنندگی برخی از آلاینده‌ها بیش از نیترات است (۲۶). بنابراین اگر شبیه‌سازی سایر آلاینده‌های شیمیایی به طریق مشابه صورت گیرد، این امکان وجود خواهد داشت که آلودگی آب انباشته شده را در مدت زمان کوتاه‌تر تأیید کند.

برای تسهیل در مقایسه شرایط قبل و بعد از احداث سد ۱۰ نقطه کنترل در نقاط مهم در بالادست و پایین دست سد در نظر گرفته شد و سطح آب زیرزمینی در حالت بدون سد و پس از ایجاد سد در آنها اندازه‌گیری شد (جدول ۲ و شکل ۵).

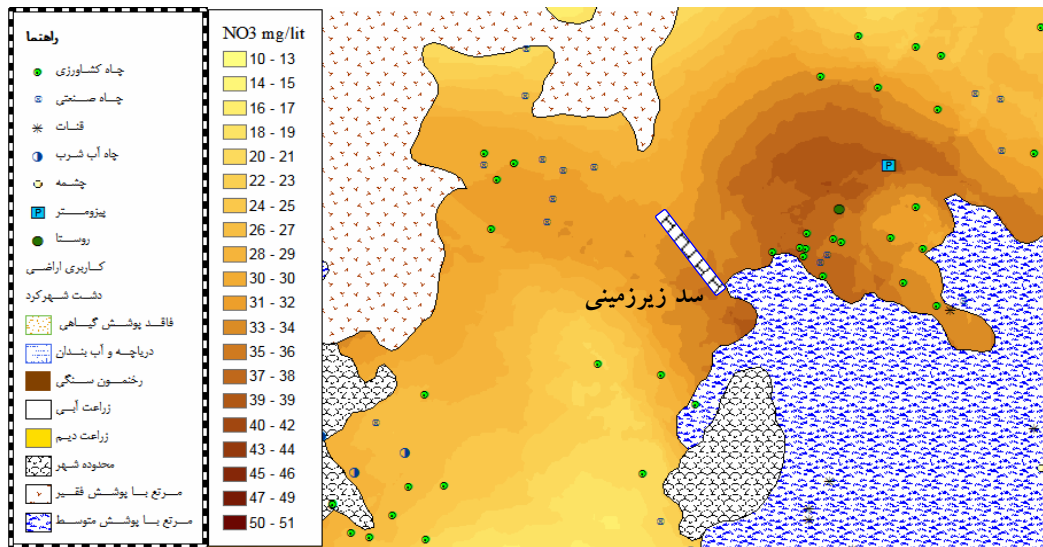
مطابق جدول ۲ سطح ایستابی با نزدیک شدن به محل احداث سد افزایش ارتفاع بیشتری را نسبت به حالت اولیه نشان

داده و نیاز به آب در دسترس که از اولویت‌های احداث سد است (۱) را مرتفع خواهد کرد. در پایین دست سد با قطع جریان زیرزمینی افت بیش از یک متر بلافاصله پس از محل اجرای سد اتفاق افتاده و تا حدود ۵ کیلومتر به سمت خروجی دشت پایین افتادگی جریان مشاهده می‌شود. اما به دلیل این‌که تعداد کمی منبع برداشت در مسیر وجود دارد، مشکل خاصی را ایجاد نخواهد کرد.

تأثیر سد زیرزمینی بر توزیع نیترات:

جهت بررسی توزیع و انتقال نیترات از مدل MT3D استفاده شد. در ابتدا مدل برای شرایط عادی آبخوان (میزان برداشت، تغذیه، شرایط مرزی و هیدرولیکی) اجرا و نقشه پراکنندگی نیترات از طریق ArcGIS ترسیم گردید (شکل ۷).

همان‌گونه که در نقشه آمده است در فاصله کمتر از دو کیلومتر از محل سد غلظت نیترات در آب بیش از مناطق مجاور است اما از حد استاندارد جهانی (۵۰ mg/lit) (۲۹) فراتر نرفته است. لذا در آغاز به نظر می‌رسد جمع‌آوری آب در این محل با خطر آلودگی نیترات روبرو باشد. اما پس از ایجاد لایه غیرقابل نفوذ زیرسطحی در مسیر جریان و شبیه‌سازی غلظت نیترات برای شرایط جدید (شکل ۸) مشاهده می‌شود که تغییر زیادی در



شکل ۸. وضعیت توزیع نیترات بعد از احداث سد

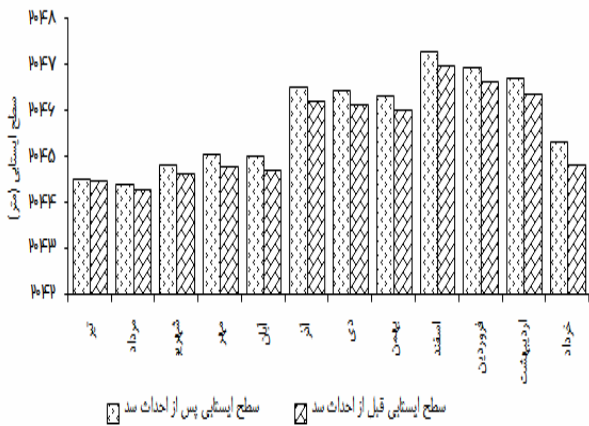
جدول ۲. داده‌های قبل و بعد از احداث سد در نقاط کنترل ۱۰ گانه

ردیف	نوع منبع	موقعیت نسبت به سد	دبی برداشت	سطح ایستابی قبل از احداث (m)	سطح ایستابی بعد از احداث (m)	غلظت نیترات قبل از احداث (mg/lit)	غلظت نیترات بعد از احداث (mg/lit)
۱	چاه کشاورزی	بالادست	۲۵	۲۰۴۴/۶	۲۰۴۴/۹	۲۵/۲	۲۵/۸
۲	چاه کشاورزی	بالادست	۲۰	۲۰۴۴/۴	۲۰۴۴/۷	۳۰/۸	۳۰/۷
۳	پیزومتر	بالادست	-	۲۰۴۵/۹	۲۰۴۵/۹	۳۷/۹	۳۷/۷
۴	چاه آب شرب	بالادست	۱۸	۲۰۴۴/۸	۲۰۴۵/۳	۳۶/۵	۳۶/۱
۵	چاه کشاورزی	بالادست	۸	۲۰۴۴/۲	۲۰۴۴/۷	۳۷/۲	۳۶/۶
۶	نقطه کنار سد	بالادست	-	۲۰۴۳/۴	۲۰۴۴/۳	۳۱/۴	۳۲/۲
۷	چاه صنعتی	پائین دست	۳۰	۲۰۳۷/۹	۲۰۳۶/۸	۳۱/۹	۳۱/۷
۸	چاه کشاورزی	پائین دست	۱۵	۲۰۴۱	۲۰۴۰/۸	۲۱/۲	۲۰/۷
۹	چاه آب شرب	پائین دست	۲۵	۲۰۴۱/۸	۲۰۴۱/۸	۲۶/۱	۲۶/۱
۱۰	پیزومتر	پائین دست	-	۲۰۳۹/۸	۲۰۳۹/۵	۱۵/۶	۱۵/۷

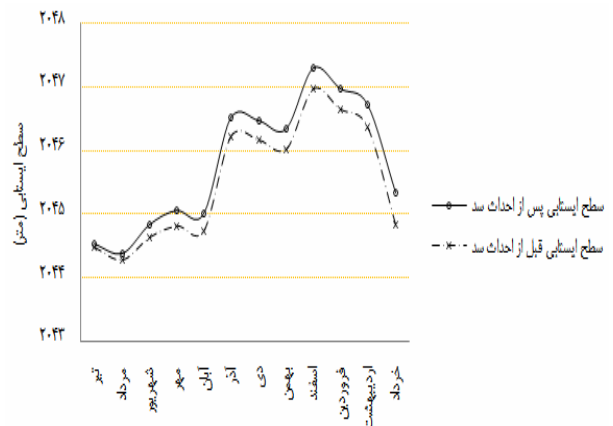
لحاظ سایر آلاینده‌ها نیز به دلیل تخلیه فاضلاب روستایی و قرار گرفتن در انتهای شیب دشت در شرایط مناسبی به سر نمی‌برد (۸)، لذا پیشنهاد می‌گردد فرآیند مدلسازی برای تعداد بیشتری از عناصر شیمیایی و آلودگی‌ها انجام گیرد.

به دلیل اهمیت مقدار و سلامت آب شرب روستای بهرام‌آباد تغییرات سطح ایستابی و غلظت نیترات در طول سال به صورت

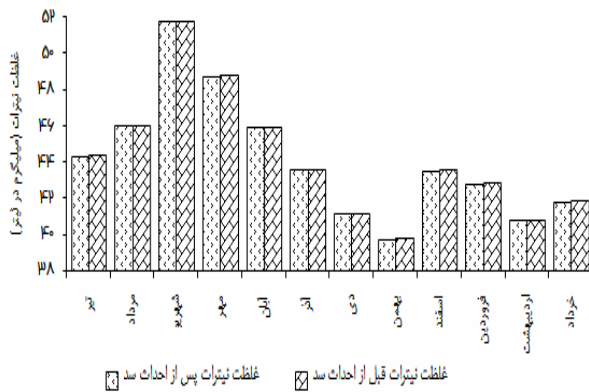
می‌دهد. در ستون‌های ششم و هفتم جدول ۲ غلظت نیترات در نقاط کنترل آبخوان برای مقایسه شرایط قبل و بعد از سد آمده است. طبق اطلاعات جدول نیز تغییر قابل توجهی در غلظت نیترات آب زیرزمینی به وجود نیامده است. تنها چاه آب شرب این ناحیه مربوط به روستای بهرام‌آباد است که در بالادست سد قرار داشته و در معرض آلودگی احتمالی است. این چاه به



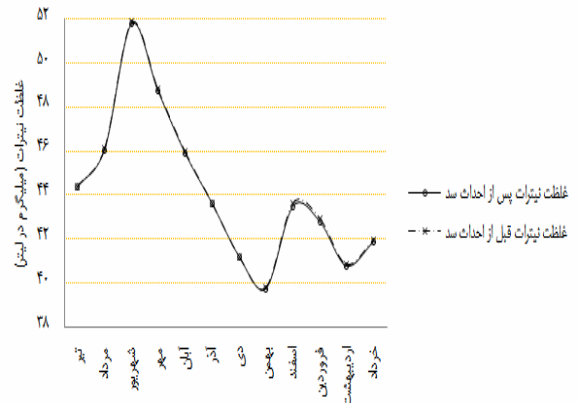
شکل ۱۰. مقایسه ارتفاع سطح ایستابی قبل و بعد از اجرای سد زیرزمینی



شکل ۹. روند تغییرات سطح آب در چاه آب شرب (شماره ۴) در طول سال



شکل ۱۲. مقایسه غلظت نیترات قبل و بعد از اجرای سد

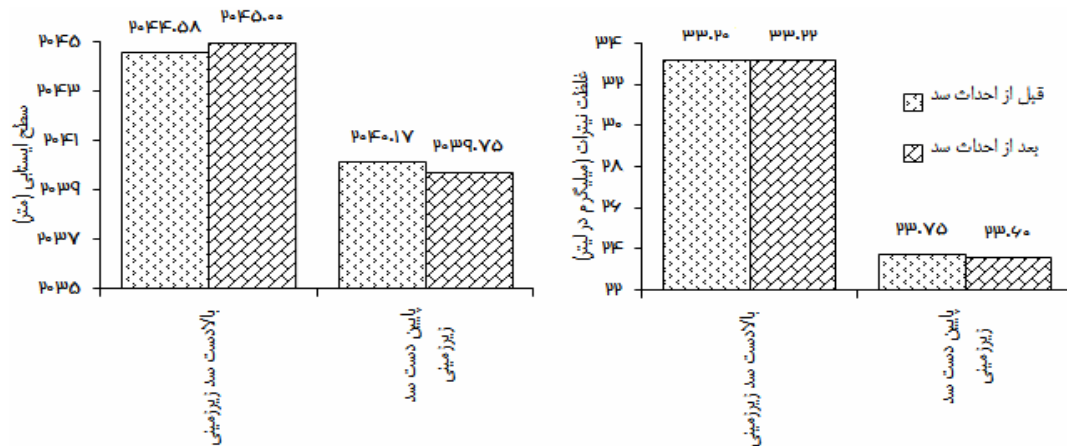


شکل ۱۱. روند تغییرات غلظت نیترات در چاه آب شرب (شماره ۴) در طول سال

جداگانه در شکل های ۹ و ۱۱ و اختلاف بین شرایط قبل و بعد از اجرای سد زیرسطحی در شکل های ۱۰ و ۱۲ ترسیم شده است. مطابق انتظار کمترین ارتفاع آب در ماه های تابستان (شکل ۹) با بیشترین غلظت نیترات (شکل ۱۱) اتفاق می افتد که آب برگشتی از فعالیت های کشاورزی عمده ترین دلیل این موضوع محسوب می شود. پس از ایجاد مانع در مسیر جریان سطح آب زیرزمینی به مرور در طول سال افزایش یافته و بیشترین اختلاف در مقایسه با حالت اولیه در پایان ماه دوازدهم پدید آمده است (شکل ۱۰). بدیهی است در صورت ادامه شبیه سازی برای تعداد سال های بیشتر، سطح آب زیرزمینی روند صعودی خود را طی کرده و اختلاف ستون های شکل ۱۰ افزایش خواهد یافت.

درخصوص اختلاف غلظت نیترات چاه آب شرب (چاه شماره ۴) نیز طبق نمودار ذیل اختلاف زیادی وجود ندارد (شکل ۱۲)، بنابراین احداث سد زیرزمینی با اطمینان از حفظ سلامت آب در دوره یکساله روبرو بوده است اما با افزایش تعداد سال های بهره برداری امکان افزایش غلظت نیترات در نزدیکی سد وجود دارد (۱۶ و ۳۰).

اثرات معکوس سد زیرزمینی بر پایین دست سد نسبت به بخش شمالی از مسایل قابل بررسی است که برای مقایسه این اثرات میانگین ارتفاع سطح ایستابی و غلظت نیترات در ۶ چاه بالادست و ۴ چاه پایین دست محاسبه و در نمودارهای ستونی شکل ۱۳ آورده شده است. بر این اساس اثر سد زیرزمینی فرضی بر متوسط ارتفاع آب زیرزمینی بالادست +۴۲ سانتی متر و بر پایین



شکل ۱۳. مقایسه شرایط بالادست و پایین دست با اعمال تأثیر سد زیرزمینی

- نتایج این بررسی تغییر قابل ملاحظه‌ای را در بالا رفتن غلظت نیترات نشان نمی‌دهد. میانگین غلظت نیترات هم اکنون ۳۳/۲ میلی‌گرم در لیتر در بالادست است و مقدار به‌دست آمده یکسال پس از احداث سد به ۳۳/۲۲ خواهد رسید. تحقیقات گذشته نیز تغییرات اندک در مدت زمان کوتاه را تأیید می‌کند (۱۵ و ۳۰).

- تحقیق حاضر در بازه زمانی کوتاه یکساله انجام گرفته است و منطقه مطالعه شده در معرض خطرپذیری ناشی از وجود فاضلاب روستایی، خروجی تصفیه‌خانه و زمین‌های کشاورزی قرار دارد (۸، ۹ و ۲۶). بنابراین احتمال بروز آلودگی به نیترات و سایر آلایندها در طولانی مدت وجود داشته و به شیوه ارائه شده قابل بررسی است (۱۶، ۱۷ و ۳۰).

سپاسگزاری

از شرکت‌های آب منطقه‌ای، آب و فاضلاب شهری و روستایی استان چهارمحال و بختیاری به خاطر همکاری در انجام آزمایشات و ارائه اطلاعات قدردانی می‌گردد.

دست ۴۲- سانتی‌متر است. هرچند مجموع دو مقدار صفر است اما به معنی خستگی بودن اثر سد قلمداد نمی‌شود زیرا آب ذخیره شده در بالادست دارای کاربری بیشتر و ضروری‌تر می‌باشد. در مورد نیترات بعد از تأثیر سد بر کیفیت آب، میزان تغییرات در بالادست ۰/۲+ میلی‌گرم در لیتر و در پایین دست ۰/۱۵- میلی‌گرم در لیتر بوده است. این اعداد تأثیر هرچند اندک این‌گونه سازه‌های زیرسطحی را بر توزیع نیترات در منطقه نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد:

- ایجاد مانع در مسیر جریان زیرسطحی موجب افزایش ۰/۵ متری سطح آب در طول یکسال شده است که با احتساب سطح تأثیر ایجاد شده، حجم آب در دسترس ۱/۵ میلیون مترمکعب در بالادست سد افزایش داشته است. این منطقه از دشت دارای منابع تخلیه فراوانی است (۷) که کنترل جریان‌های زیرسطحی جهت مصارف فصول کم آب از نتایج مطلوب این شیوه در تحقیق حاضر است.

منابع مورد استفاده

۱. حاجی عزیزی، ش.، م.م. خیرخواه زرکش و ا. شریفی. ۱۳۹۰. انتخاب مکان مناسب احداث سد زیرزمینی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به دو روش مکانی و غیرمکانی (مطالعه موردی: حوزه پیشکوه شهرستان تفت استان یزد). مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی ۲(۲): ۲۷-۳۹.

۲. خیرخواه زرکش، م.م.، ح.ر. ناصری، م.ه. داوودی و ه. سلامی. ۱۳۸۷. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت بندی مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی، مطالعه موردی: دامنه شمالی کوه‌های کرکس-نطنز. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی ۷۹:۹۳-۱۰۱.
۳. سگوند حسن‌آبادی، ل. و ل. مدبر. ۱۳۸۵. ذخیره‌سازی و جمع‌آوری آب‌های زیرسطحی با احداث سدهای زیرزمینی. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود. دانشگاه شهرکرد.
۴. شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس. ۱۳۷۹. مطالعات آب‌های زیرزمینی دشت شهرکرد. شرکت سهامی آب منطقه‌ای اصفهان. ص ۲۸۵.
۵. طیار، ا. و ا. شمسی. ۱۳۸۵. تحلیل عوامل مؤثر بر ارتفاع آب در سدهای زیرزمینی و ارائه روشی برای تخمین آن. مجله دانش نوین کشاورزی ۲(۳):۸۷-۱۰۱.
۶. عشقی‌زاده، م. و ن. نورا. ۱۳۸۹. تعیین محل مناسب احداث سد زیرزمینی بر روی قنات (مطالعه موردی قنات دهن‌چنار حوزه آبخیز کلات شهرستان گناباد). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۱۷(۳):۴۵-۶۴.
۷. لاله‌زاری، ر. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر تغذیه آبخوان شهرکرد با فاضلاب بر انتشار نیترات با استفاده از مدل MT3D. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهرکرد.
۸. لاله‌زاری، ر. و س.ح. طباطبائی. ۱۳۸۹. خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی دشت شهرکرد. مجله محیط‌شناسی دانشگاه تهران ۳۶(۵۳):۵۵-۶۲.
۹. لاله‌زاری، ر.، س.ح. طباطبائی، م. خلقی و ع.ا. صبا. ۱۳۸۹. شبیه‌سازی انتقال آلاینده نیترات در آبخوان شهرکرد با استفاده از مدل MT3D. کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران. شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه.
۱۰. مغربی، م. و پ. برومند. ۱۳۸۳. سدهای زیرزمینی. یازدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور. دانشگاه هرمزگان.
11. Da Silva, MSL. *et al.* 1998. Agricultural exploration on underground dams. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 33(6):975-980.
12. Ertsen, M. and R. Hut. 2009. Two waterfalls do not hear each other. Sand-storage dams, science and sustainable development in Kenya. *Phys. and Chem. of the Earth* 34:14-22.
13. Foster, F. and A. Tuinhof. 2004. Brazil, Kenya: Subsurface dams to augment groundwater storage in basement terrain for human subsistence, *World Bank Sustainable Groundwater Management Lessons from Practice*, 1-8.
14. Haveren, B.P., W.L. Jackson and G.C. Lusby. 1987. Sediment deposition behind Sheep Creek Barrier Dam, Southern Utah, U.S.A. *J. Hydrol.* 26(2):185-196.
15. Ishida, S., M. Kotoku, E. Abe, M.A. Fazal, T. Tsuchihara and M. Imaizumi. 2003. Construction of subsurface dams and their impact on the environment. *Materials and Geoenviron.* 50(1):149-152.
16. Ishida, S., T. Tsuchihara and M. Imaizumi. 2006. Fluctuation of NO₃-N in groundwater of the reservoir of the Sunagawa Subsurface Dam, Miyako Island, Japan. *Peddy Water Environ.* 4:101:110.
17. Ishida, S., T. Tsuchihara, S. Yoshimoto and M. Imaizumi. 2011. Sustainable use of groundwater with underground dams. *Japan Agric. Res. Quartely* 45(1):51-61.
18. Janardhana Raju, N., T.V.K. Reddy and P. Munirathnam. 2006. Subsurface dam to harvest rainwater-a case study of the Swarnamukhi River basin, South. *Ind. Hydrogeol. J.* 14:526-531.
19. Japan Green Resources Agency. 2006. Policy for Creating Plans for Subsurface Dams, PP. 2-13. *In: Hasegawa, T. et al.*(Ed.), *Guide to Water Resource Development Using Subsurface Dams*.
20. Kawasaki, S. *et al.* 1993. Geotechnical development of subsurface dam project in Japan. *IAH Selected Papers on Environ. Hydrogeol.* 4:215-228.
21. Lalehzari, R., S.H. Tabatabaei and M. Kholghi. 2010. Hydrodynamic coefficients estimation and flow treatment prediction in Shahrekord aquifer using PMWIN model. 14th Intl. Water Technol. Conference, Cairo, Egypt.
22. McDonald, M.G. and A.W. Harbaugh, A.W. 1988. MODFLOW, A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model, U. S. Geological Survey, Open-file report 83-875, Chapter A1.
23. Milanovic, Petar T. 2004. *Water Resources Engineering in Karst*. CRC Press., UK.

24. Onder, H. and M. Yilmaz. 2005. Underground dams, A tools of ssustainable development and management of groundwater resources. *Eur. Water* 11(12):35-45.
25. Schuyler, D.J. 1908. *Reservoirs for Irrigation, Water Ppower and Domestic Water Supply*. Wiley & Sons Pub., U.S.A.
26. Tabatabaei, S.H. and R. Lalehzari. 2009. Determination of the contaminant sources by mapping tools in Shahrekord aquifer, Iran. *International Groundwater Symposium*. Thailand.
27. Tashiro, Y. and K. Takahira. 2001. Long term trend of nitrogen emission and nitrogen concentration of groundwater in Miyako Island, Okinawa. *J. JSWE*, 24(11):733-738.
28. Telmer, K. and M. Best. 2004. Underground Dams: a practical solution for the water needs of small communities in semiarid regions, *TERRA*. 1(1):63-65.
29. World Health Organization. 2006. *Guidelines for drinking-water quality WHO Library Cataloguing-in-Publication Data*. Pp: 515.
30. Yoshimoto, S., T. Tsuchihara, S. Ishida and M. Imaizumi. 2011. Development of a numerical model for nitrates in groundwater in the reservoir area of the Komesu subsurface dam, Okinawa, Japan. *Environ. Earth Sci. Online: springer*.1-17. Online: springer. DOI 10.1007/s12665-011-1356-6.
31. Zheng, C. 1990. *MT3D, A modular three-dimensional transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems*, Report to the U.S. Environmental Protection Agency, pp: 170.

Simulating Effect of Subsurface Dam Construction in Shahrekord Aquifer on the Water Storage Capacity and Nitrate Distribution

R. Lalehzari and S. H. Tabatabaei^{1*}

(Received: Sep. 12-2011 ; Accepted: Apr. 14 -2012)

Abstract

Shahrekord aquifer is depleted by almost 800 deep and semi-deep wells, the majority of which are agricultural wells and some have urban usage. In southern parts of the plain, the water table has fallen strongly because of immoderate discharge and decreased the quality of water by urban wastewater. The main objective of this study is investigation of subsurface dam construction and its effects on water table in consumption locations, reduction of deliveries costs and interception of contaminant transport. Therefore, the Shahrekord aquifer model was simulated with hydrodynamic coefficients calibration by PMWIN5.3 Software. The southern outlet of plain (near Bahram-Abad village) was selected to study subsurface dam construction, then a horizontal-flow barrier in this place was set with mean hydraulic conductivity equal to 0.5 m/day. Water table situation and nitrate concentration were analyzed using ArcGIS9.2 software before and after dam construction. The results showed that the subsurface dam rises groundwater level in 4 kilometers distance of upstream areas. Also, the available volume of water increased about 1.5 Mm³. Nitrate concentration didn't show to be considerably different from the initial state. But, it is likely that contamination in the storage resource will rise because it is located near Shahrekord water treatment plant and also due to the discharge of wastewater wells.

Keywords: Subsurface dam, Shahrekord, Modeling, Nitrate.

1. Dept. of Water Eng., College of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.

*: Corresponding Author, Email: tabatabaie@agr.sku.ac.ir