

## بررسی سناریوهای تغذیه مصنوعی با فاضلاب تصفیه شده بر کمیت و کیفیت آبخوان شهر کرد

رضا لاله‌زاری<sup>۱</sup>، سیدحسین طباطبایی\*<sup>۲</sup>، مجید خیاط‌خلقی<sup>۳</sup>، نبی‌اله یارعلی<sup>۴</sup>، علی‌اکبر صبا<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهر کرد Lalehzari@hotmail.com
۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهر کرد
۳. دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران kholghi@ut.ac.ir
۴. استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهر کرد n\_yarali@yahoo.com
۵. کارشناس ارشد زمین‌شناسی، معاونت حفاظت منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری aliakbarsaba@aol.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۲/۲۸

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۰/۸/۴

### چکیده

وابستگی آب مصرفی زمین‌های کشاورزی، صنایع و شرب به آب زیرزمینی و خشکسالی پدیدآمده در سال‌های اخیر، افت شدید این منابع را در پی داشته است. احیای آب‌های زیرزمینی تجدیدپذیر با مدیریت بهینه برداشت و تغذیه مصنوعی از طریق جریان‌های سطحی و فاضلاب امکان‌پذیر خواهد بود. در تحقیق حاضر، مشخصات محیط متخلخل آبخوان شهر کرد نظیر ضخامت عبور جریان و ضرایب هیدرودینامیک در نقاط مختلف دشت محاسبه و امکان‌سنجی برای اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی با فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه شهر کرد بررسی شده است. مدل جریان و انتقال آلاینده دشت شهر کرد از طریق نرم‌افزارهای Modflow و MT3D واسنجی و صحت‌سنجی شد. از مدل تهیه‌شده برای شبیه‌سازی رفتار آبخوان قبل و بعد از اعمال سناریوهای فرضی تغذیه فاضلاب بهره گرفته شد. بر این اساس، ۱۰ سناریوی فرضی تغذیه مصنوعی با انتقال فاضلاب به موقعیت‌های مختلف دشت تعریف و تأثیر حجم و غلظت نترات در فاضلاب در کمیت و کیفیت آب زیرزمینی محدوده مطالعه شده است. نتایج نشان می‌دهند که بخش‌های میانی و جنوبی دشت با دارا بودن محیط متخلخل با بافت درشت‌تر و نزدیک بودن به محل تصفیه‌خانه از وضعیت بهتری برای اجرای سناریوها برخوردارند. تزریق آب در این منطقه تا بیش از ۶ کیلومتر در افزایش سطح ایستابی تأثیر داشته است. این مقدار تغذیه در حالی است که غلظت نترات حدود ۱۵ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافته است. همچنین، در صورت ادامه تغذیه آبخوان با فاضلاب می‌توان انتظار داشت که آلودگی را در شعاع حداکثر یک کیلومتر از محل تغذیه کنترل و در مقابل از مزیت‌های حجم آب افزوده‌شده به آبخوان استفاده کرد.

### کلیدواژه

آب زیرزمینی، تغذیه مصنوعی، نترات و تصفیه‌خانه.

### ۱. سرآغاز

سال‌های اخیر از سوی دیگر موجب شده است که منابع آب شیرین در اکثر کشورهای واقع در کمربند خشک جهان، به اوج بهره‌برداری خود برسند. این وضعیت بحرانی در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون بخش وسیعی از

رشد روزافزون جمعیت جهان همگام با گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در جهت افزایش تأمین مواد غذایی از یک سو و خشکسالی‌های پی در پی در

ایران که آب زیرزمینی منبع اصلی تأمین‌کننده آب محسوب می‌شود، بیشتر نمایان است. تغذیه مصنوعی به منزله گزینه‌ای قابل بررسی می‌تواند خطرهای ناشی از بهره‌برداری بیش از حد و آلودگی سفره‌های آبدار را به طور مؤثری کاهش دهد و علاوه بر تقویت منابع آب زیرزمینی، زیان‌های وارده به سفره آبدار را جبران کند. تغذیه مصنوعی عبارت است از مجموعه عملیات و اقداماتی که برای افزایش نفوذ و هدایت آب‌های سطحی به سازندهای آبدار زیرزمینی و به منظور استفاده مجدد از آن‌ها صورت می‌پذیرد (سگوند حسن‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۵). بهترین محل برای اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی، خاک‌های درشت‌بافت، ابتدای آبرفت‌های ماسه‌ای، خاک‌های سنگلاخی، مناطق کارستی، مسیل‌های با بستر شنی و مخروط افکنه رودخانه‌های فصلی است. مکان‌یابی سیستم‌های تغذیه مصنوعی و به خصوص پخش سیلاب، از اصول اساسی ایجاد این سیستم‌هاست. انتخاب محل بر مبنای واقعیت‌های علمی و طبیعی دارای بزرگ‌ترین نقش در جهت استحکام و کاربری این سیستم‌ها در راستای تحقق اهداف مربوطه است (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۳).

به پروژه‌های تغذیه مصنوعی از سال ۱۳۵۱ به منظور حفظ تعادل آب‌های زیرزمینی توجه شده است (شایان‌نژاد و عابدی، ۱۳۸۵). در عصر نوین، اولین طرح تغذیه مصنوعی در دشت ورامین و در سال ۱۳۵۲ مطالعه و اجرا و اولین بار طی سال‌های ۵۰-۵۶ در شبکه آبیاری ورامین، گرمسار و قزوین با روش حوضچه و پس از آن در دشت ناز ساری با تزریق از طریق چاه احداث شده است (سگوند حسن‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۵). برداشت سالانه حدود ۲۵۰ میلیون مترمکعب از منابع آبی دشت شهرکرد موجب افت شدید سطح ایستابی شده است. به گونه‌ای که در حد فاصل بین سال‌های ۷۲ تا ۸۳ سطح ایستابی بیش از ۱۳ متر نزول داشته و در زمرة آبخوان‌های ممنوعه قرار

گرفته است. پس از این سال با جلوگیری از برداشت بی‌رویه و کنترل بیلان آبخوان بخشی از پایین‌افتادگی سطح آب جبران شد، اما با کمبود بارندگی و وقوع خشکسالی‌های اخیر هنوز در شرایط بحرانی است. بنابراین، مطالعات امکان‌سنجی اجرای طرح‌های تغذیه در نقاط مختلف دشت انجام شده است (لاله‌زاری و همکاران، ۱۳۸۷).

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 ۱ متر و در برخی مناطق ۳/۵ تا ۴ متر بالا آمده است (ثابت‌آزاد، ۱۳۷۲). کتیبه و حافظی (۱۳۸۳) با به کارگیری مدل‌سازی جریان‌های آب زیرزمینی با نرم‌افزار Modflow وضعیت آینده آبخوان باریک بم را پیش‌بینی و عملکرد طرح تغذیه مصنوعی این دشت را ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که تغذیه مصنوعی آبخوان به کمک روش پخش سیلاب موجب افزوده شدن سالیانه ۱۲/۶ میلیون مترمکعب به ذخیره آبخوان شده است.

مطالعات آن‌ها نشان داد که پخش سیلاب به منظور تغذیه مصنوعی از نرخ افت سطح ایستابی کاسته، اما قادر به توقف روند افت سطح ایستابی نبوده است. Kalantari و Goli در سال ۲۰۰۵ در منطقه باغ‌ملک در شمال شرق استان خوزستان با تلفیق مطالعات پایه‌ای منابع آب شامل بررسی‌های فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، رسوب‌شناسی، هیدروژئولوژی، هیدروشیمی و هیدرولوژی پنج مکان مناسب را برای تغذیه مصنوعی پیشنهاد کرده‌اند. آلودگی آب زیرزمینی اغلب به علت فاضلاب سمی صنایع یا از منابع ذخیره فاضلاب اتفاق می‌افتد (singh and Datta, 2004). لذا بررسی‌های کارشناسانه در مطالعات ابتدایی تغذیه مصنوعی ضروری است.

Bocanegra و همکاران (۲۰۰۱) برنامه‌ای ارائه کردند که

و از نواحی جنوب به ارتفاعات جهان‌بین و تفه و از شرق به ارتفاعات کوه‌سینه و برات و از غرب به ارتفاعات کوه قلنگان و ارتفاعات مشرف به جاده فارسان منتهی می‌شود. (شرکت مهندسی مشاور مه‌اب قدس، ۱۳۷۹).

از نظر زمین‌شناسی دشت شهرکرد در ناحیه زاگرس بلند و عموماً روی سازندهای آهکی کرتاسه واقع شده است. این دشت، نتیجه تخریب ارتفاعات و حمل و انباشت آن از طریق جریان‌های سطحی و سیلابی ناحیه است. این تغییرات با روند گسترش شمالی - جنوبی پدید آمده و با توجه به شرایط رسوب‌گذاری، سطح دشت نسبتاً هموار و فاقد عوارض مورفولوژیکی است (لاله‌زاری و همکاران، ۱۳۸۷). به منظور مطالعه آثار تغذیه مصنوعی در افزایش ارتفاع سطح ایستابی و پراکنش نیترات، مدل هیدرولیکی دشت شهرکرد با استفاده از Modflow و MT3D تهیه شد.

شبیه‌سازی در ۱۲ دوره تنش ۱ ماهه (یک سال) حد فاصل تیر ۱۳۸۶ تا خرداد ۱۳۸۷ انجام شد. داده‌های ۱۰ ماه اول برای واسنجی و ۲ ماه آخر برای صحت‌سنجی مدل استفاده شدند. مدل جریان آب زیرزمینی با واسنجی ضرایب هیدرودینامیکی (هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه) بر مبنای داده‌های اندازه‌گیری شده ماهانه از ۳۱ پیزومتر در دشت به دست آمد.

جهت جریان آب زیرزمینی از شمال به جنوب است که شیب هیدرولیکی در بخش شمالی بیشتر از بخش جنوبی است. شکل ۱ خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی و جهت حرکت آن را نشان داده است. شبیه‌سازی کیفی آبخوان نیز با نمونه‌برداری ماهانه آب زیرزمینی از ۱۰ نقطه آبخوان با پراکنش مناسب و اندازه‌گیری غلظت نیترات آن‌ها در ۱۲ ماه انجام شد (شکل ۲).

به منظور بررسی آثار تغذیه فاضلاب، ۱۰ سناریو در نظر گرفته شد. در شکل ۲ موقعیت سناریوها نیز آورده شده است. کل حجم آب برگشتی تصفیه‌خانه با توجه به متوسط دبی خروجی طی سال حدود ۱۰ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود.

قابلیت مدیریت ریسک در آلودگی آب زیرزمینی منتج شده از نفوذ شیرابه در لندفیل ماردل پلاتای آرژانتین را داشت.

برنامه شامل پیشگویی، پیشگیری و کاهش آلودگی قبل، در حین و بعد از بروز حادثه است. این روال به شناسایی ضعف و ناتوانی‌های برنامه در تصمیم‌گیری‌های سازنده کمک می‌کند. همچنین، این اجازه را می‌دهد تا بتوان از منابع مالی و فنی بر اساس طرح کار و به حداقل رساندن نکات غیرمرتبط در تصمیمات بهتر استفاده کرد. نتایج پیشگویی با مشاهدات هماهنگی داشت و پیشروی آلودگی را تا ۱۰۰ متر از لندفیل نشان می‌داد که می‌توان با استفاده از آن، تصمیمات مدیریتی جدید را اتخاذ کرد.

با توجه به اینکه بیش از ۲۰ هزار لندفیل بهداشتی غیرکنترل‌شده در برزیل وجود دارد، Zuquette و همکاران (۲۰۰۵) سعی کردند گزارش جامعی برای گسترش تشخیص محیطی نواحی لندفیل بهداشتی کنترل‌نشده در برزیل ارائه و برخی راه‌حل‌های مفید را نیز ارزیابی کنند.

به این منظور از مدل جریان آب زیرزمینی تفاضل محدود سه‌بعدی Modflow و مدل حمل املاح MT3D برای شبیه‌سازی جریان و حرکت املاح استفاده شده است. نتایج نشان دادند که چاه‌های دفع فاضلاب از بهترین چاره‌ها در کاهش سطوح و گسترش آلودگی طی ۵ سال است.

هدف این تحقیق مدل‌سازی آب زیرزمینی دشت شهرکرد با استفاده از Modflow و MT3D و تحلیل سناریوهای تغذیه مصنوعی با فاضلاب است.

## ۲. مواد و روش‌ها

دشت شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده و ۵۵۱ کیلومتر مربع وسعت دارد و دارای آبخوان تک‌لایه و آبرفتی است. این دشت با امتداد شمال‌غرب - جنوب‌شرق، در فاصله بین ۳۲ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این دشت از شمال و شمال‌غربی به ارتفاعات کلاه‌قازی، قراول‌خانه، چهل دختران

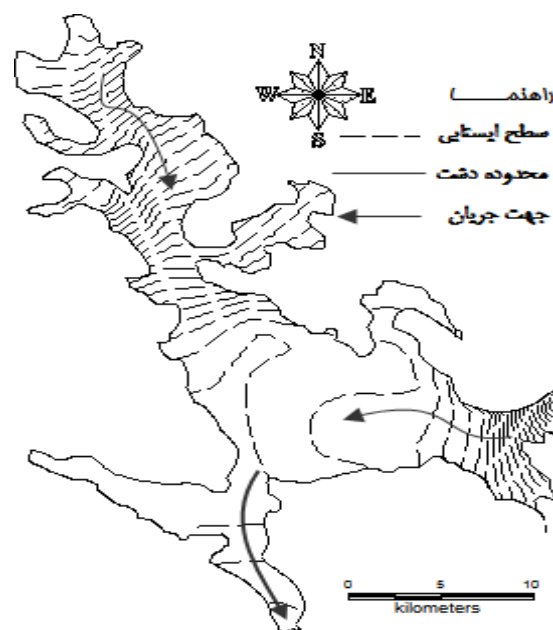
برای بررسی آثار تغذیه آب تصفیه‌خانه در مناطق مختلف دشت، این حجم آب در ۴ چاه واقع در چهار سلول ۲۵۰\*۲۵۰ متر (۲۵ هکتار) با واحد مدل تعریف شده در شبیه‌سازی کمی اعمال و برای ۱۲ دوره تنش اجرا شد.

همچنین، برای بررسی گسترش املاح، ۵۰ میلی‌گرم در لیتر غلظت نیترات در آب به مدل کیفی اضافه شد. فاکتورهای مورد نظر در گزینش نهایی سناریوها عبارت بودند از: فاصله مناسب از زمین‌های شهری و چاه‌های آب شرب، نزدیکی به مرزها، لحاظ کردن مطالعات گذشته، داشتن شیب هیدرولیکی برای حرکت آب، حتی‌المقدور نزدیکی به زمین‌های کشاورزی برای استفاده آن‌ها در این بخش و امکان اجرای طرح. در هر منطقه با فرض انتقال فاضلاب به محل و تغذیه از طریق چاه به آب زیرزمینی، تأثیر حجم آب تزریقی و آلاینده نیترات مطالعه شد.

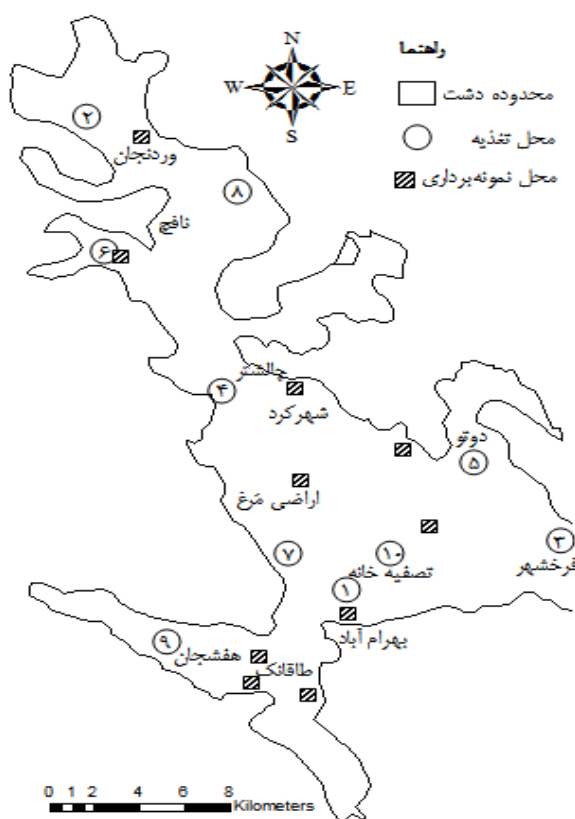
### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. سناریوی اول: تزریق آب برگشتی در محل تصفیه‌خانه

اولین سناریوی مورد بررسی، نزدیک‌ترین و محتمل‌ترین گزینه در استفاده از پساب خروجی تصفیه‌خانه شهرکرد است که زمین‌های محدود را دربر می‌گیرد. شکل ۳ موقعیت و مشخصات نقطه تغذیه، پهنه‌بندی غلظت نیترات پس از اجرای مدل و استخراج نتایج در خرداد ۱۳۸۷ را نشان می‌دهد. مدل MT3D برای رسیدن مقادیر نیترات محاسبه شده به غلظت اندازه‌گیری شده با واسنجی پارامترهای ضریب پخشیدگی مولکولی مؤثر، انتشارپذیری طولی و ضریب توزیع اجرا شد. در مدل جریان نیز هدایت هیدرولیکی در حالت جریان ماندگار و آبدهی ویژه در حالت غیرماندگار واسنجی شد. نتایج واسنجی مدل در جدول ۱ آمده است.



شکل ۱. خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی و جهت حرکت جریان



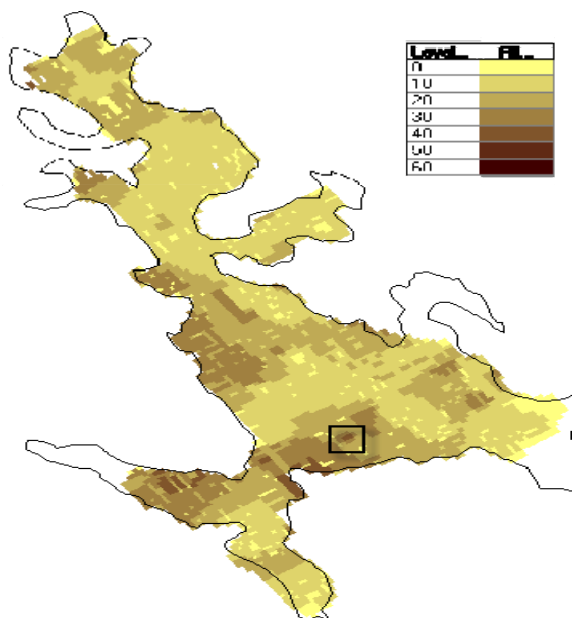
شکل ۲. موقعیت نقاط انتخابی برای تغذیه مصنوعی و مکان‌های نمونه‌برداری شده

حرکت نیترات به پایین دست به شمار می رود. بررسی نشان می دهد با این سطح از تغذیه فاضلاب، تنها در شعاع ۵۰۰ متری می توان انتظار افزایش غلظت نیترات منابع آب را در زیر حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۵۰ میلی گرم در لیتر) داشت؛ این در حالی است که با توسعه بازه زمانی و بالارفتن غلظت نیترات، شعاع گسترش نیز افزایش خواهد داشت. کاربری کشاورزی زمین های اطراف و دوربودن از نقاط شهری موقعیت مطلوبی برای تغذیه مصنوعی محسوب می شود. از طرف دیگر، با قراردادن تصفیه خانه در بالادست روستای بهرام آباد در درازمدت آلودگی را در این روستا افزایش خواهد داد. این در حالی است که فاضلاب خانگی در روستای یادشده به چاه های دفع فاضلاب می ریزد و آب شرب مردم نیز از چاهی که در وسط روستا حفر شده است تأمین می شود.

جدول ۱. پارامترهای واسنجی شده مدل

مقدار	پارامتر واسنجی شده
۲ تا ۱۶ متر در روز	هدایت هیدرولیکی
۰/۰۳ تا ۰/۰۸	آبدهی ویژه
.	ضریب پخشیدگی
.	مولکولی مؤثر
۵	انتشارپذیری طولی
۰/۰۰۰۱	ضریب توزیع

پس از آن سناریوهای مذکور اجرا، بررسی و در زیر تحلیل شده اند. حداکثر غلظت نیترات در محل تغذیه، ۴۴ میلی گرم در لیتر محاسبه شد؛ ضمن اینکه انتقال نیترات در جنوب تا ۲۵۰ متر و به سمت خروجی تا ۵۰۰ متر گسترش یافت. جهت جریان آب زیرزمینی مهم ترین عامل



مختصات جغرافیایی: ۳۵۶۹۲۱۰ و ۴۸۷۴۸۰

ارتفاع سطح ایستابی: ۲۰۴۶/۸۸ متر

ضخامت آبخوان: ۶۳/۹۵ متر

هدایت هیدرولیکی: ۱۱ متر در روز

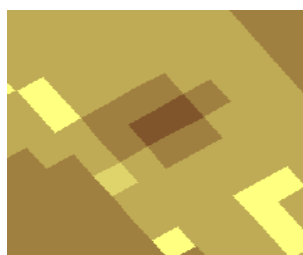
آبدهی ویژه: ۰/۰۶۲

تخلخل مؤثر: ۰/۲۷

غلظت نیترات قبل از تغذیه فاضلاب: ۳۹ میلی گرم در لیتر

غلظت نیترات پس از تغذیه فاضلاب: ۴۴ میلی گرم در لیتر

بزرگنمایی محل تغذیه



شکل ۳. گسترش نیترات در حالت تزریق فاضلاب در محدوده تصفیه خانه (میلی گرم در لیتر)

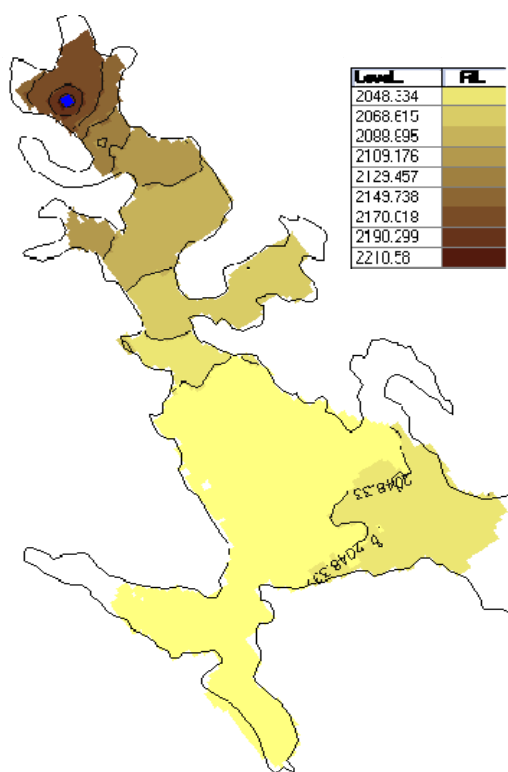
محسوب می‌شود که مطالعات گذشته نیز به آن اشاره دارند (کلانتری و همکاران، ۱۳۸۵).

همچنین، به علت فاصله زیاد و ارتفاع بالا نسبت به تصفیه‌خانه از نظر اقتصادی مناسب و مقرون به صرفه نیست. تزریق فاضلاب در چاه‌های تغذیه نشان می‌دهد گسترش نیترات تا فاصله ۲۵۰ متر در غرب و ۵۰۰ متر در جنوب به علت حرکت آب موجب افزایش غلظت این ماده شده است. در محل تغذیه نیز غلظت نیترات تا ۱۳ میلی‌گرم در لیتر افزایش داشته است. گسترش آلودگی در شمال دشت شهرهای نافچ و وردنجان را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

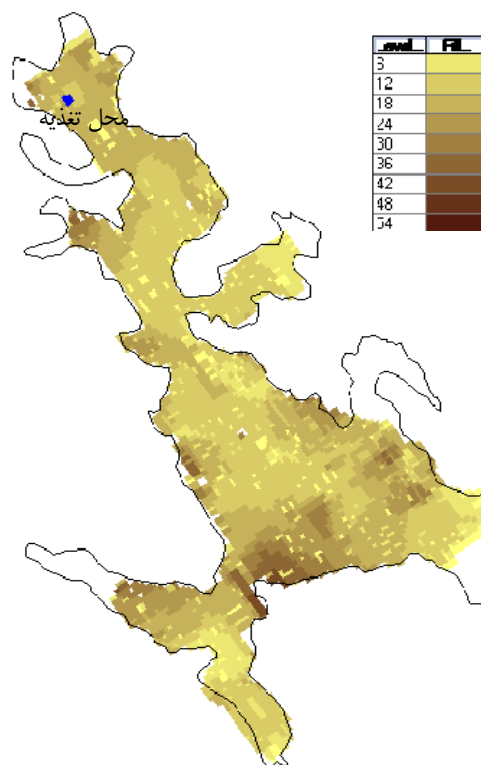
### ۲.۳. سناریوی دوم: تزریق آب برگشتی تصفیه‌خانه به ورودی شمال دشت

منطقه تزریق دارای خاک سنگین با هدایت هیدرولیکی حدود ۲ متر در روز و ضخامت لایه اشباع ۳۹ است (شکل ۴). به علت پایین بودن هدایت هیدرولیکی و کم بودن ضخامت لایه اشباع، قابلیت انتقال آب پایین است و حجم بالایی از آب تزریقی سبب صعود سطح ایستابی می‌شود (۶۷ متر).

افزایش سطح ایستابی در بالادست دشت موجب حرکت آب به پایین دست و تأثیر مثبت بر بیلان آن‌ها می‌شود، اما تغذیه مصنوعی در این منطقه موجب آب‌گرفتگی و زهدارشدن اراضی اطراف نیز خواهد شد. نبود جریان زیرسطحی از موانع اجرای تغذیه مصنوعی



تأثیر تغذیه مصنوعی ر سطح ایستابی



پراکندگی نیترات از منبع تغذیه

مختصات جغرافیایی: ۳۵۹۴۸۵۸ و ۴۷۴۰۵۷



۲۲۳۰ m	بعد از تغذیه	۲۱۶۳ m	سطح ایستابی قبل از تغذیه
۳۲ mg/lit	بعد از تغذیه	۱۹ mg/lit	غلظت نیترات قبل از تغذیه
۲۱۲۴ m	ارتفاع سنگ کف	۰/۲۳	تخلخل مؤثر
۲/۳ m/d	هدایت هیدرولیکی	۰/۰۳۶	آبدهی ویژه

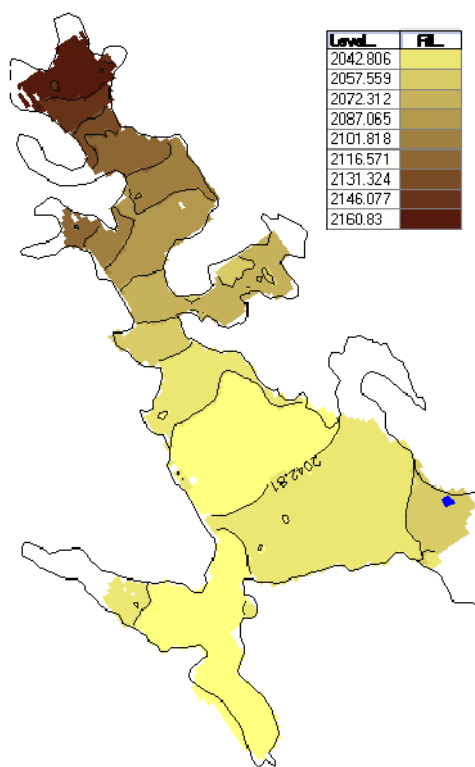
شکل ۴. بزرگنمایی و مشخصات منطقه مورد تغذیه - سناریوی دوم

علت افزایش هدایت هیدرولیکی و ضخامت لایه آبدار و در نتیجه بالارفتن قابلیت انتقال و حرکت آب، محدوده متأثر از تغذیه بیشتر به دست آمده است. غلظت نترات نیز از ۹ به ۳۳ میلی گرم در لیتر افزایش یافته و گسترش آن در جهت حرکت آب به سمت شرق در حدود ۱ کیلومتر است. تزریق فاضلاب در این نقطه موجب گسترش نترات در منطقه وسیع تر از شمال دشت می شود، اما به علت نبود منازل مسکونی و برداشت آب شرب خطر چندانی را ایجاد نخواهد کرد.

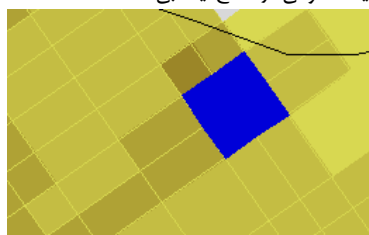
### ۳.۳. سناریوی سوم: تزریق آب برگشتی تصفیه خانه به ورودی شرق دشت

ناحیه تغذیه (شکل ۵) با هدایت هیدرولیکی ۶/۵ متر در روز و آبدهی ویژه ۰/۰۶۹ دارای خاک با بافت متوسط محسوب می شود. متوسط ضخامت لایه اشباع در محوطه ۶۹ متر برآورد شده است. حجم آب تزریقی سبب افزایش ارتفاع سطح ایستابی تا حدود ۳۶ متر شد.

بافت خاک منطقه سبک تر از سناریوی دوم بوده و به همین علت صعود سطح ایستابی کمتر است. افزایش ارتفاع سطح آب زیرزمینی تا چندین کیلومتر اراضی اطراف خود را تحت تأثیر قرار داده است. در مقایسه با شمال دشت به

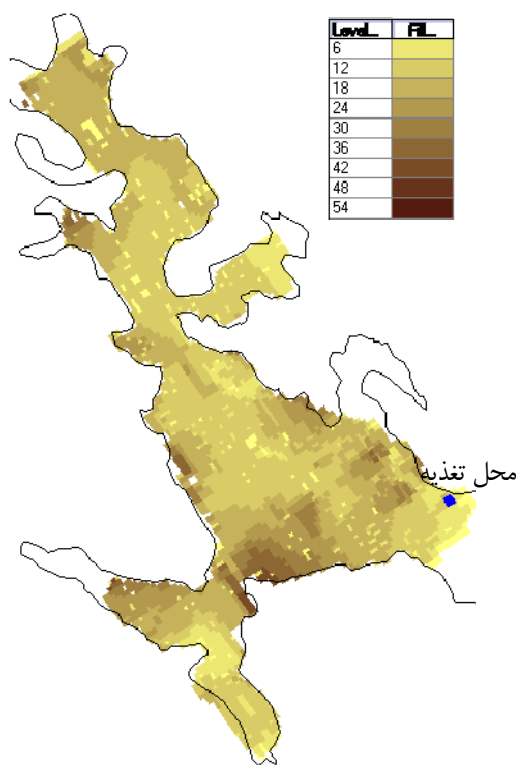


تأثیر تغذیه مصنوعی در سطح ایستابی



۲۰۹۹ m  
۳۳ mg/lit  
۱۹۹۴ m  
۶/۵ m/d

بعد از تغذیه  
بعد از تغذیه  
ارتفاع سنگ کف  
هدایت هیدرولیکی



پراکندگی نترات از منبع تغذیه

مختصات جغرافیایی: ۳۵۷۱۵۵۰ و ۴۹۶۴۸۵

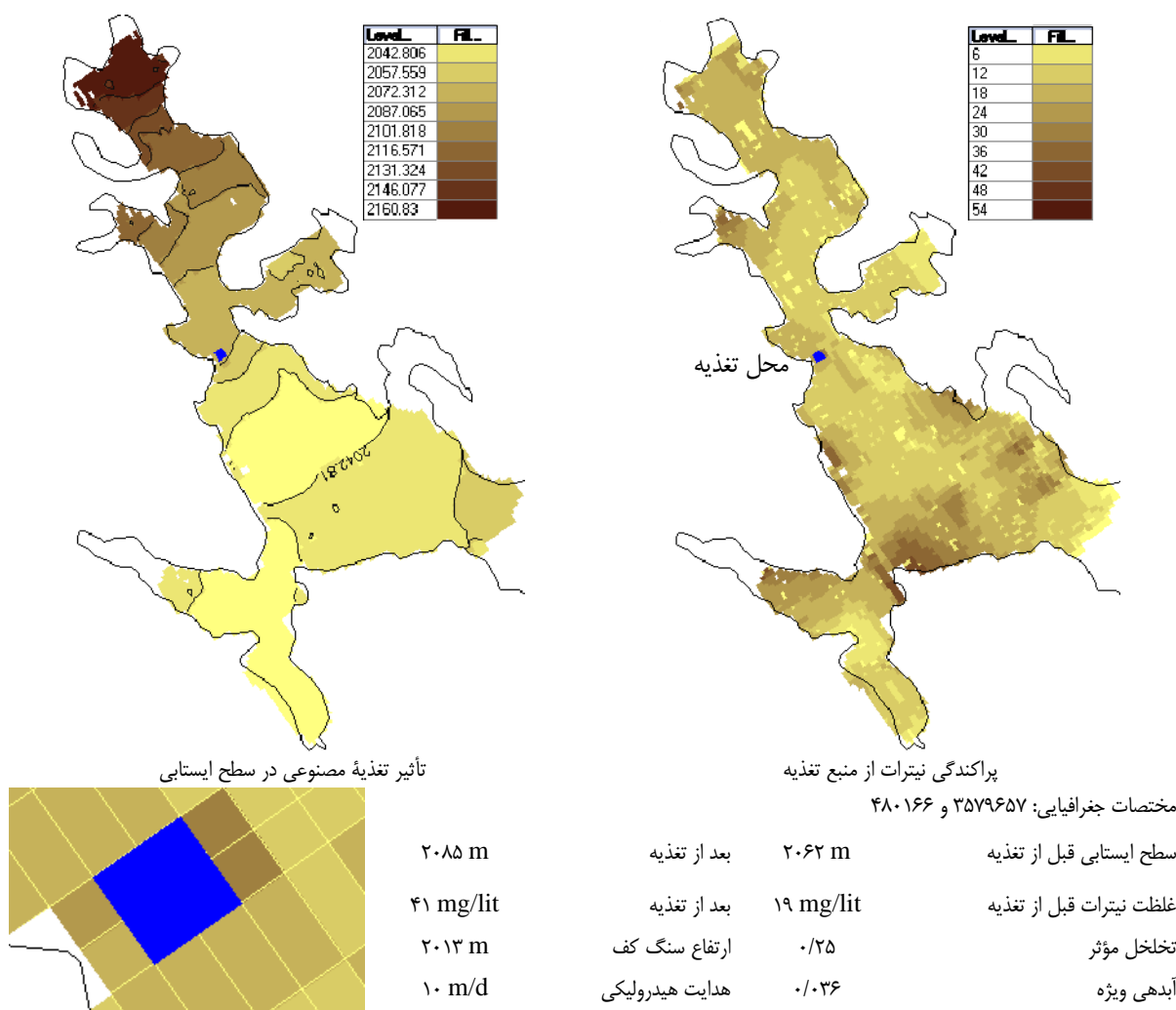
سطح ایستابی قبل از تغذیه  
غلظت نترات قبل از تغذیه  
تخلخل مؤثر  
آبدهی ویژه

شکل ۵. بزرگنمایی و مشخصات منطقه مورد تغذیه - سناریوی سوم

جنوب دشت صورت می‌گیرد. غلظت نیترات در ۱۰۰ هکتار محل تغذیه، ۲۱ میلی‌گرم در لیتر افزایش داشته است. افزایش غلظت نیترات به ۲ برابر مقدار اولیه و نزدیک شدن به حد استاندارد جهانی در این منطقه خطرپذیری زیادی دارد. این امر شاید به علت کاهش ضخامت آبخوان در منطقه باشد. به علت احتمال انتقال این آلودگی به چاه‌های آب شرب شهرکرد سناریوی مذکور توصیه نمی‌شود، اما در صورت استفاده از آب بدون آلاینده، تغذیه مصنوعی در این منطقه بسیار سودمند و قابل بهره‌برداری خواهد بود.

### ۴.۳. سناریوی چهارم: تزریق آب برگشتی تصفیه خانه به چالشر

زمین‌های اطراف روستای چالشر برای تزریق فاضلاب انتقالی از تصفیه‌خانه شهرکرد در نظر گرفته شدند (شکل ۶). این زمین‌ها با کاربری کشاورزی در بالادست شهرکرد واقع شده‌اند و آلودگی آب زیرزمینی در آن ممکن است به چاه‌های آب شرب منتقل شود. ضخامت لایه اشباع ۴۹ متر و هدایت هیدرولیکی حدود ۱۰ متر در روز با آبدهی ویژه ۰/۰۳۶ تخمین زده شد که خاکی با بافت متوسط را نشان می‌دهد. تزریق آب موجب صعود ۲۳ متری سطح ایستابی شده که به علت هدایت هیدرولیکی بالاتر نسبت به موارد قبل به دست آمده است. جهت حرکت جریان عمدتاً به



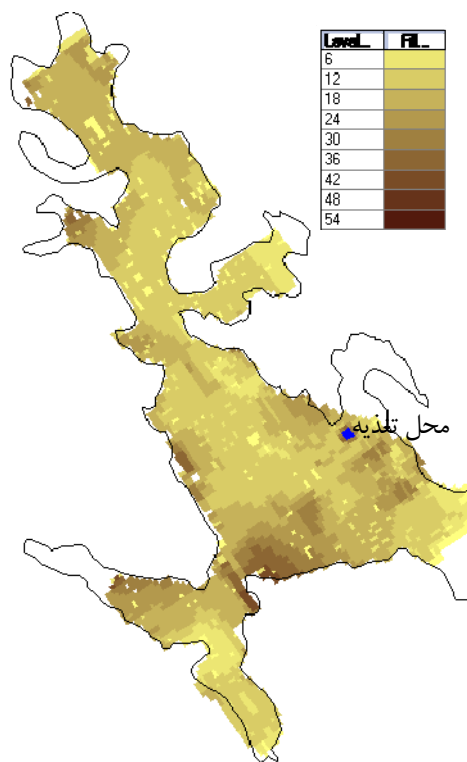
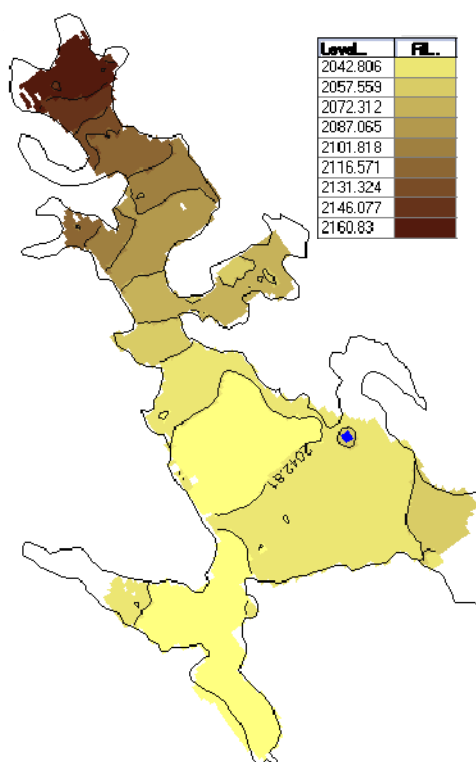
شکل ۶. بزرگنمایی و مشخصات منطقه مورد تغذیه - سناریوی چهارم



نشان می دهند منطقه دوتو پتانسیل بالایی برای انتقال آب و املاح دارد که در صورت بروز آلودگی، سرعت انتشار و محدوده دربرگرفته شده، شایان توجه خواهد بود. بخش اعظم آب برداشتی برای شرب در شهرکرد و شهرک کیان از همین محدوده برداشت می شود که سلامت آن را حائز اهمیت می کند، بنابراین تزریق فاضلاب با ریسک بالا صورت می گیرد، اما برای حرکت جریان و مشخصات هیدرولیکی مناسب خاک که موجب تسهیل در حرکت آب به بخش پرمصرف دشت می شود این سناریوها را جزء موارد دارای اولویت معرفی می کند.

### ۵.۳. سناریوی پنجم: تزریق آب برگشتی تصفیه خانه به دوتو

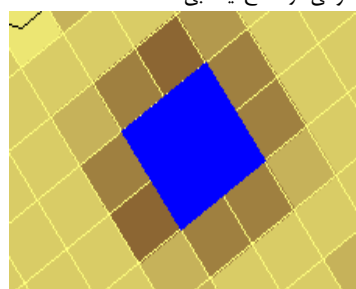
در این بخش زمین های جنوب شرق شهرکرد با کاربری کشاورزی و منابع طبیعی برای بررسی آثار تغذیه مصنوعی انتخاب شدند. موقعیت منطقه در شکل ۷ نشان داده شده است. محدوده مورد مطالعه با دارابودن خاک درشت بافت ۴۸ متر ضخامت لایه اشباع، قابلیت انتقال بالایی را برای این منطقه رقم می زند. بنابراین، پس از تغذیه مخروط سطح ایستابی شعاع بیشتری را دربر گرفته است. غلظت تزریقی ۵۰ میلی گرم نترات در محل تغذیه به علت تصفیه زمینی تا ۴۰ میلی گرم در لیتر کاهش یافته و غلظت آب زیرزمینی را ۲۱ میلی گرم در لیتر افزایش داده است. نتایج



تأثیر تغذیه مصنوعی در سطح ایستابی

پراکندگی نترات از منبع تغذیه

مختصات جغرافیایی: ۳۵۷۵۲۸۱ و ۴۹۰۵۲۶



۲۰۶۵ m	بعد از تغذیه	۲۰۴۵ m	سطح ایستابی قبل از تغذیه
۴۰ mg/lit	بعد از تغذیه	۱۸ mg/lit	غلظت نترات قبل از تغذیه
۱۹۹۷ m	ارتفاع سنگ کف	۰/۲۴	تخلخل مؤثر
۱۱ m/d	هدایت هیدرولیکی	۰/۰۵۳	آبدهی ویژه

شکل ۷. بزرگنمایی و مشخصات منطقه مورد تغذیه - سناریوی پنجم

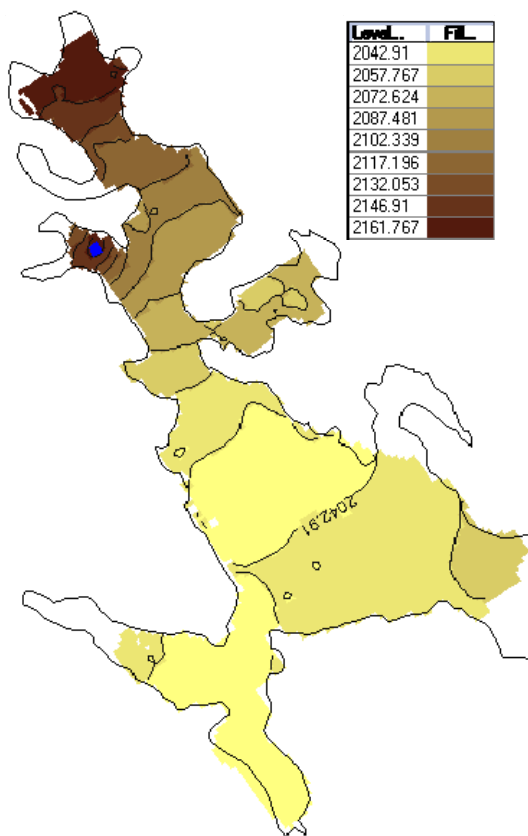
آب، پس از پایان دوره یک‌ساله شبیه‌سازی فقط در شعاع ۲۵۰ متری از محل تغذیه آثار افزایش غلظت نیترات مشاهده می‌شود.

تغذیه مصنوعی با فاضلاب در این بخش به علت هزینه بالای انتقال از تصفیه‌خانه و زمین‌های کشاورزی که افزایش غلظت نیترات را به دنبال خواهد داشت توصیه نمی‌شود. این منطقه به علت دارا بودن شرایط مطلوب هیدرولوژیکی، می‌تواند از طریق رواناب اضافی تغذیه شود.

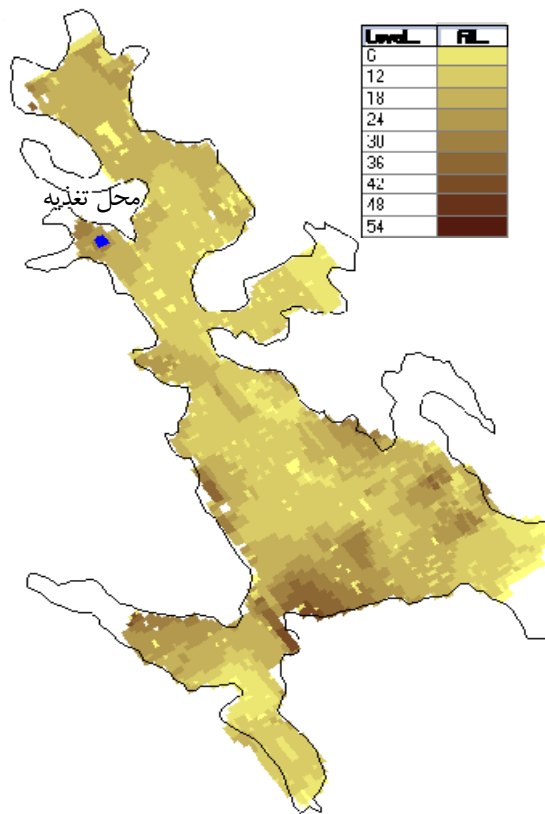
### ۶.۳. سناریوی ششم: تزریق آب برگشتی تصفیه‌خانه به اطراف پیربلوط

یکی از قسمت‌های دشت که در معرض جبهه‌های ورودی آب زیرزمینی و رواناب سطحی قرار دارد و زمین‌های زیادی برای اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی در آن وجود دارد محدوده روستای پیربلوط است (شکل ۸).

به علت پایین بودن هدایت هیدرولیکی، آب تزریقی به کندی حرکت می‌کند و بیشتر انباشته می‌شود. نیترات در آب فقط ۹ میلی‌گرم در لیتر غلظت آب زیرزمینی در نقطه تغذیه را افزایش داده است. با توجه به شکل به علت کندی حرکت

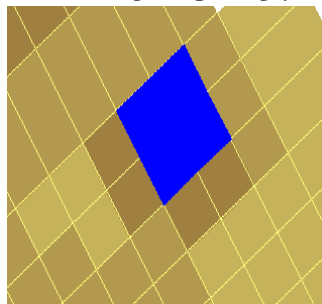


تأثیر تغذیه مصنوعی در سطح ایستابی



پراکنندگی نیترات از منبع تغذیه

مختصات جغرافیایی: ۳۵۸۷۲۷۷ و ۴۷۵۴۰۰



۲۱۷۵ m

۳۸ mg/lit

۲۰۹۱ m

۴/۳ m/d

بعد از تغذیه

بعد از تغذیه

ارتفاع سنگ کف

هدایت هیدرولیکی

۲۱۲۸ m

۲۹ mg/lit

۰/۲۷

۰/۰۴۷

سطح ایستابی قبل از تغذیه

غلظت نیترات قبل از تغذیه

تخلخل مؤثر

آبدهی ویژه

شکل ۸. بزرگنمایی و مشخصات منطقه مورد تغذیه - سناریوی ششم

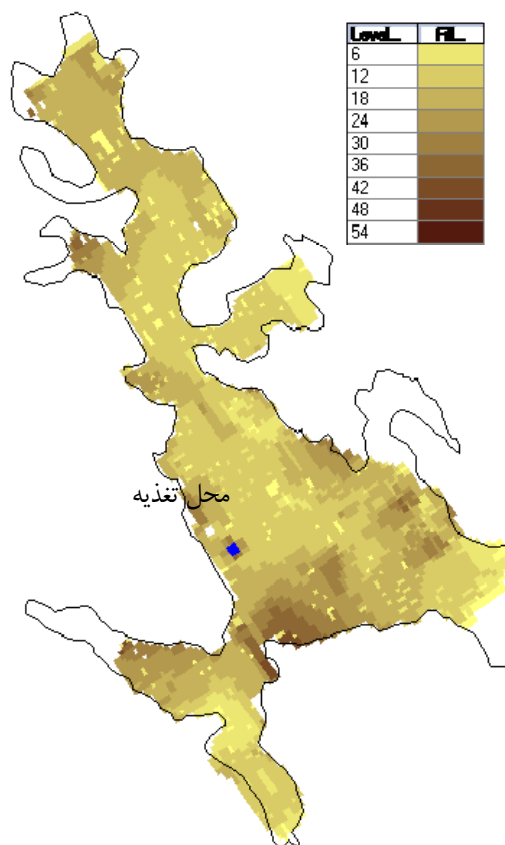
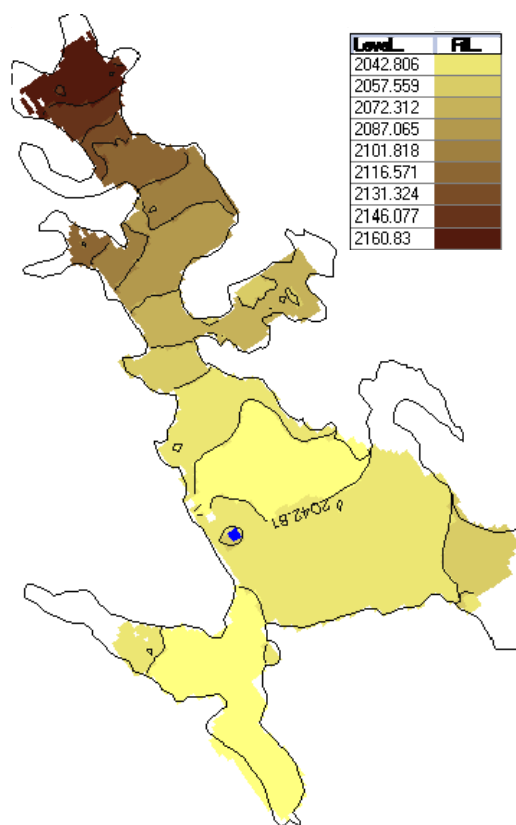
ناحیه حرکت جریان با سرعت بیشتر به نواحی مرکزی و جنوبی انجام شده است و تا چندین کیلومتر پایین دست نقطه تغذیه آثار افزایش ارتفاع مشاهده می شود. مطابق شکل بیشترین گسترش و حرکت نیترات نیز به سمت بخش های میانی دشت صورت می گیرد.

تغذیه مصنوعی فاضلاب خروجی تصفیه خانه در این نقطه از دشت به علت فاصله کم، به منظور جریان به سمت زمین های کشاورزی و تغذیه نقاط با افت زیاد دشت مناسب به نظر می رسد.

### ۷.۳. سناریوی هفتم: تزریق آب برگشتی تصفیه خانه به زمین های مرغ

زمین های مرغ واقع در خروجی شهرکرد به سمت هفشجان، که به لحاظ اجتماعی موقعیت مناسبی دارد، به منظور بررسی تغذیه مصنوعی انتخاب شدند (شکل ۹).

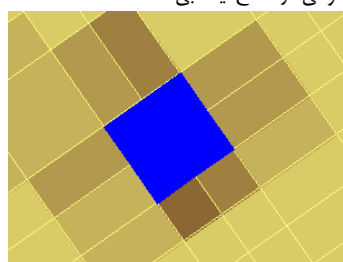
این منطقه با فاصله داشتن از مناطق شهری و افت شدید سطح ایستابی متأثر از برداشت های زیاد در مطالعات اولیه مناسب به نظر می رسد. خاک منطقه سبک و به علت نزدیکی به مرز آبخوان، ضخامت لایه اشباع کم و فقط حدود ۲۱ متر محاسبه شده است. به واسطه هدایت هیدرولیکی بالا در این



تأثیر تغذیه مصنوعی در سطح ایستابی

پراکندگی نیترات از منبع تغذیه

مختصات جغرافیایی: ۳۵۷۱۷۸۷ و ۴۸۲۹۰۱



۲۰۶۵ m	بعد از تغذیه	۲۰۴۲ m	سطح ایستابی قبل از تغذیه
۴۲ mg/lit	بعد از تغذیه	۱۵ mg/lit	غلظت نیترات قبل از تغذیه
۲۰۲۱ m	ارتفاع سنگ کف	۰/۲۴	تخلخل مؤثر
۱۶ m/d	هدایت هیدرولیکی	۰/۰۴۰	آبدهی ویژه

شکل ۹. بزرگنمایی و مشخصات منطقه مورد تغذیه - سناریوی هفتم

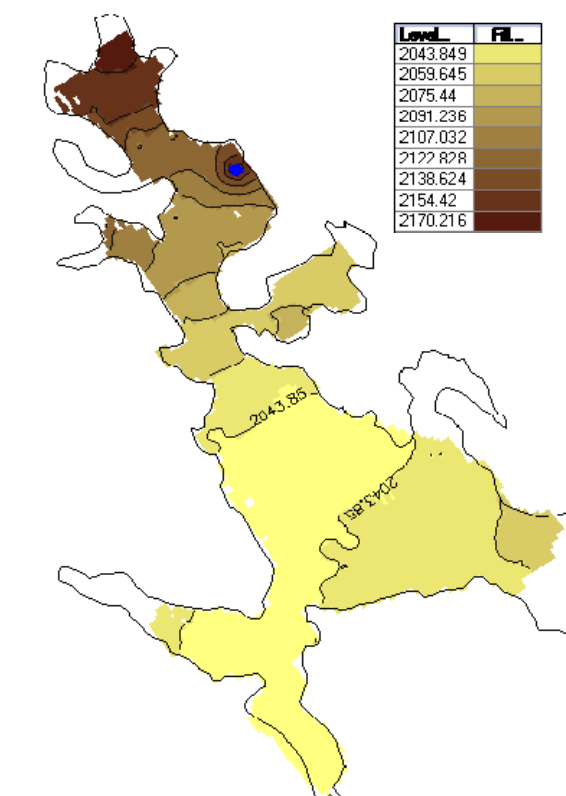
محل تغذیه می‌شود و فقط در بخش شرقی و جنوبی نقاط تغذیه غلظت نیترات تا حدود ۳۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش داشته است. کاهش خلل و فرج محیط متخلخل خاک می‌تواند نقش عمده‌ای در کاهش و جذب آلودگی در شمال دشت باشد.

با توجه به تأثیرپذیری منابع آب شرب شهر نافع از این منطقه، نفوذپذیر نبودن و ضریب ذخیره مناسب خاک، تغذیه مصنوعی گزینه مناسبی در این محل به شمار نمی‌آید.

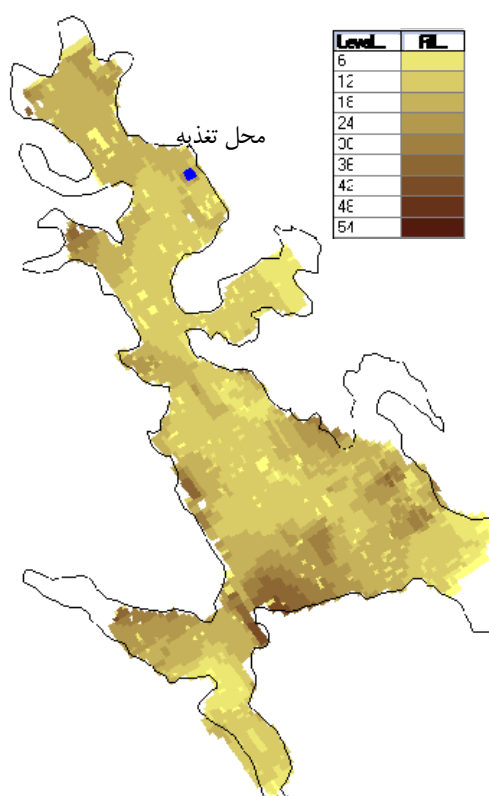
### ۸.۳ سناریوی هشتم: تزریق آب برگشتی تصفیه‌خانه به زمین‌های شمال نافع

استفاده از زمین‌های شمال شرقی شهر نافع به منظور انجام تغذیه مصنوعی در این بخش بررسی شد (شکل ۱۰). ضخامت لایه اشباع در این نقطه ۵۲ متر و هدایت هیدرولیکی ۲/۱ متر در روز اندازه‌گیری شد.

سنگین بودن بافت خاک موجب کندی حرکت آب شده است و مطابق شکل آب تزریقی در محل تغذیه انباشته و موجب ارتفاع گرفتن سطح ایستابی می‌شود. بی‌حرکت بودن سریع جریان موجب افزایش آلودگی در محدوده اطراف

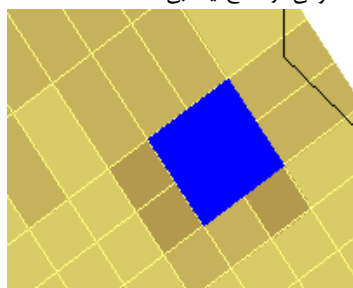


تأثیر تغذیه مصنوعی در سطح ایستابی



پراکندگی نیترات از منبع تغذیه

مختصات جغرافیایی: ۳۵۹۱۱۵۶ و ۴۸۰۴۹۱



۲۱۸۳ m

۳۴ mg/lit

۲۰۶۱ m

۲/۱ m/d

۲۱۱۳ m

۱۹ mg/lit

۰/۲۵

۰/۰۴۱

سطح ایستابی قبل از تغذیه

غلظت نیترات قبل از تغذیه

تخلخل مؤثر

آبدهی ویژه

شکل ۱۰. بزرگنمایی و مشخصات منطقه مورد تغذیه - سناریوی هشتم

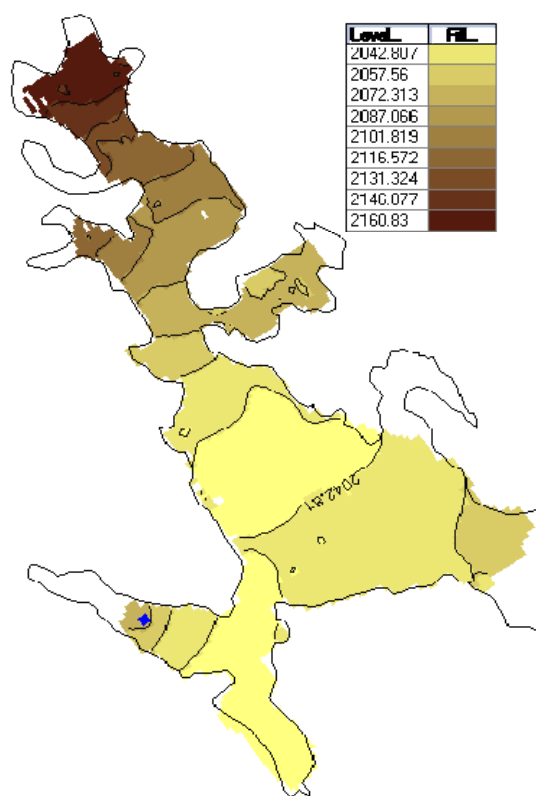
پتانسیل خود را از دست خواهند داد و بی‌حرکتی آب در زیرزمین مشکل‌ساز خواهد بود. از طرفی با توجه به جریان آب به سمت خروجی دشت استفاده از تغذیه مصنوعی مقرون به صرفه نیست.

همراهی آب تغذیه با برخی عناصر آلاینده مانند نیترات سبب پراکنده شدن این ماده تا شعاع ۲۵۰ متری پس از طی یک سال با غلظت حدود ۴۰ میلی‌گرم در لیتر می‌شود. با توجه به این نکته که دو حلقه از چاه‌های تأمین‌کننده آب شرب هفشجان در این ناحیه قرار دارند، سلامت آب از اهمیت بالایی برخوردار است و تزریق فاضلاب توصیه نمی‌شود.

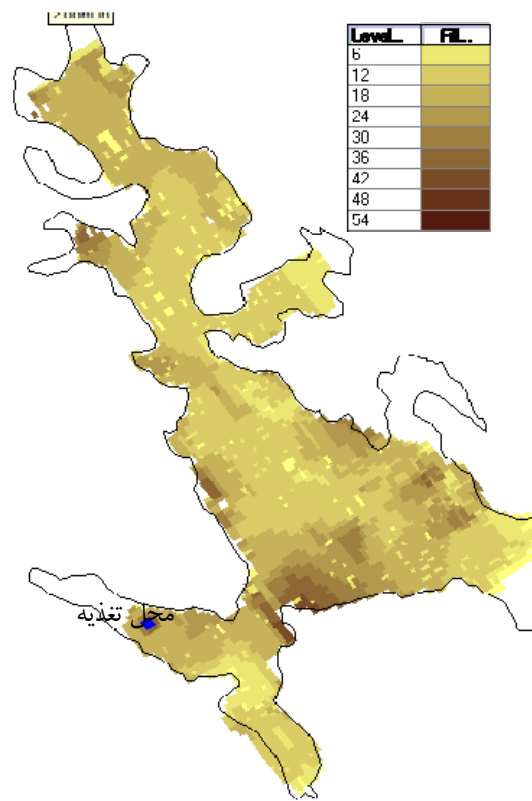
### ۹.۳. سناریوی نهم: تزریق آب برگشتی تصفیه‌خانه به زمین‌های بالادست هفشجان

از دیگر مناطق مطالعه شده مناطق کوهپایه‌ای شمال‌غربی هفشجان است (شکل ۱۱). گرادیان هیدرولیکی آب زیرزمینی در این منطقه به سمت شهر هفشجان و خروجی دشت است. اجرای مدل نشان داد که سطح ایستابی پس از اعمال تغذیه ۴۰ متر افزایش خواهد داشت و به ۲۰۸۳ متر خواهد رسید.

این امر به علت کم‌بودن ضخامت لایه اشباع و در نتیجه قابلیت انتقال پایین دور از انتظار نبود. بنابراین، با این مقدار صعود سطح ایستابی زمین‌های کشاورزی محدوده

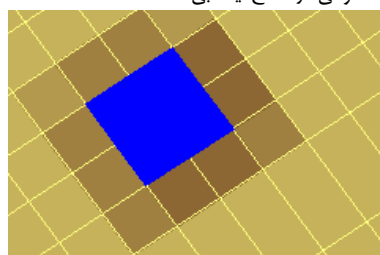


تأثیر تغذیه مصنوعی در سطح ایستابی



پراکندگی نیترات از منبع تغذیه

مختصات جغرافیایی: ۳۵۶۶۲۰۳ و ۴۷۷۹۵۷



۲۰۸۳ m	بعد از تغذیه	۲۰۴۳ m	سطح ایستابی قبل از تغذیه
۴۲ mg/lit	بعد از تغذیه	۳۰ mg/lit	غلظت نیترات قبل از تغذیه
۲۰۲۷ m	ارتفاع سنگ کف	۰/۲۴	تخلخل مؤثر
۱۱ m/d	هدایت هیدرولیکی	۰/۰۴۶	آبدهی ویژه

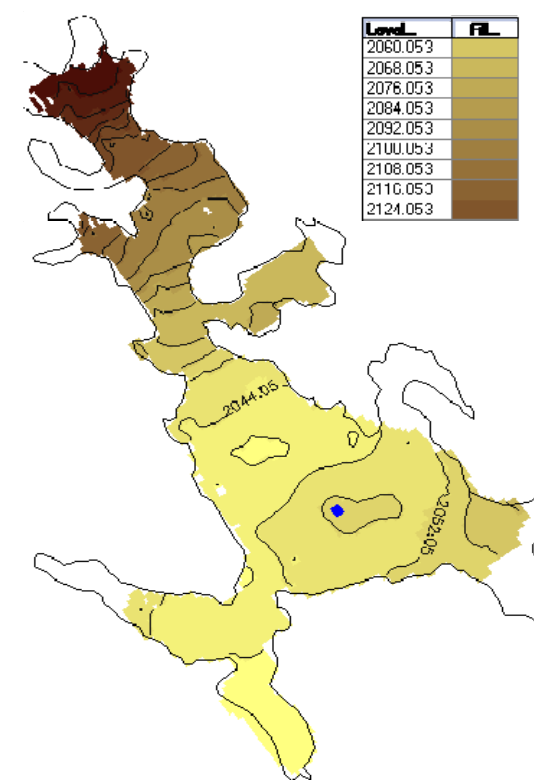
شکل ۱۱. بزرگنمایی و مشخصات منطقه مورد تغذیه - سناریوی نهم

### ۱۰.۳. سناریوی دهم: تزریق آب برگشتی تصفیه‌خانه به بخش میانی دشت

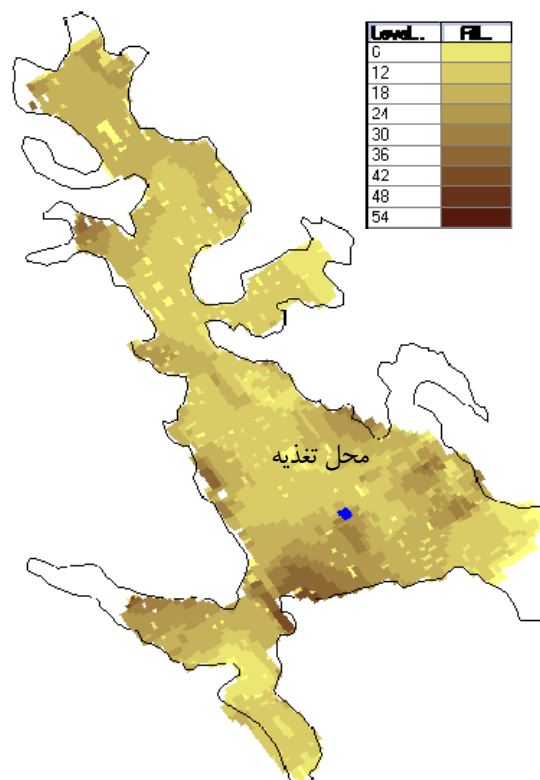
آخرین سناریوی تغذیه مصنوعی، بحرانی‌ترین ناحیه دشت از نظر افت سطح ایستابی است. این نقطه (شکل ۱۲) در نواحی مرکزی دشت که بیشترین حجم برداشت آب در آن انجام می‌شود و حرکت جریان از سمت شمال و شرق به این ناحیه صورت می‌گیرد، قرار دارد. بیشترین هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در این محدوده از دشت برآورد شده است. ضخامت لایه اشباع نیز با ۷۴ متر موجب شده است تا بالاترین حجم آب از این محدوده تبادل شود. بنابراین، تغذیه آب موجب تأثیر مثبت در سطح ایستابی تا شعاع حدود ۶ کیلومتری اطراف می‌شود. در محل تغذیه

فقط ۱۲ متر سطح ایستابی مرتفع‌تر شده است که نشان می‌دهد حجم بالاتری از تغذیه را نیز می‌توان به آب زیرزمینی نواحی میانی دشت اعمال کرد.

غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر آب تغذیه شده موجب افزایش غلظت نیترات در محل تغذیه از ۲۱/۵ به ۳۹ شده و از جنوب و غرب تا فاصله حدود ۵۰۰ متری افزایش غلظت معادل ۱۰ تا ۱۵ میلی‌گرم در لیتر را داشته است. تأثیر بسزای تغذیه در کمیت آب و قابلیت برداشت بالا برای مصارف کشاورزی و فاصله‌داشتن از مناطق مسکونی و نزدیکی به تصفیه‌خانه، این ناحیه را به منزله بهترین گزینه برای تغذیه فاضلاب برگشتی از تصفیه‌خانه کرده است.

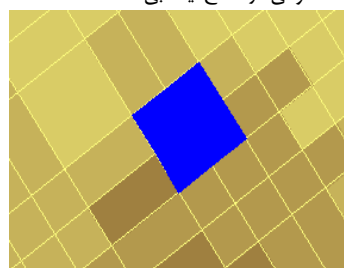


تأثیر تغذیه مصنوعی در سطح ایستابی



پراکندگی نیترات از منبع تغذیه

مختصات جغرافیایی: ۳۵۷۱۶۱۵ و ۴۸۷۹۰۳



۲۰۵۹ m	بعد از تغذیه	۲۰۴۷ m	سطح ایستابی قبل از تغذیه
۳۹ mg/lit	بعد از تغذیه	۲۱ mg/lit	غلظت نیترات قبل از تغذیه
۱۹۷۳ m	ارتفاع سنگ کف	۰/۲۷	تخلخل مؤثر
۱۶ m/d	هدایت هیدرولیکی	۰/۰۷۶	آبدهی ویژه

شکل ۱۲. بزرگنمایی و مشخصات منطقه مورد تغذیه - سناریوی دهم

#### ۴. نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که:

- بخش‌های میانی و جنوبی دشت از وضعیت بهتری برای اجرای تغذیه مصنوعی با فاضلاب برخوردارند.
- تزریق آب در این منطقه تا بیش از ۶ کیلومتر در سطح ایستابی تأثیر می‌گذارد.
- تغذیه آبخوان با فاضلاب غلظت نیترات را حدود ۱۵ میلی‌گرم در لیتر افزایش داده است، اما می‌توان انتظار داشت که آلودگی را در شعاع حداکثر ۱ کیلومتر کنترل کرد.

#### تشکر و قدردانی

این طرح با حمایت‌های مالی شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری انجام گرفته است که نویسندگان بدین وسیله از این حمایت سپاسگزاری می‌کنند. نویسندگان همچنین، از شرکت آب و فاضلاب شهری و روستایی استان به علت در اختیار قرار دادن اطلاعات کمال تشکر و قدردانی را دارند.

#### منابع

- ثابت آزاد، م. ۱۳۷۲. بررسی اثرات تغذیه مصنوعی بر سفره آب زیرزمینی دشت قزوین، آب و توسعه. ۳(۲): ۹۶-۸۹.
- سگوند حسن‌آبادی، ل. براتی، ش. کایدخورده، ع. ۱۳۸۵. معرفی پروژه تغذیه مصنوعی دشت قلعه تل و بررسی تأثیر آن بر تقویت آبخوان دشت مذکور. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود. دانشگاه شهرکرد.
- شایان‌نژاد، م. عابدی، م. ح. ۱۳۸۵. نقش تغذیه مصنوعی در بهره‌برداری بهینه از منابع آب. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود. دانشگاه شهرکرد.
- شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس. ۱۳۷۹. مطالعات آبهای زیرزمینی دشت شهرکرد، شرکت سهامی آب منطقه‌ای اصفهان، ص ۲۸۵.
- کتیبه، ه. حافظی. س. ۱۳۸۳. بکارگیری مدل MODFLOW و مدیریت بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی و ارزیابی عملکرد طرح تغذیه مصنوعی دشت آب باریک بم. مجله آب و فاضلاب. ۵۰(۱): ۵۸-۴۵.
- کلانتری، ن. کشاورزی، م. ر. محمدزاده، ا. جلالوند، ع. ۱۳۸۵. امکان‌سنجی تغذیه مصنوعی سفره‌آب زیرزمینی دشت پیونشرق استان خوزستان. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود. دانشگاه شهرکرد.
- لاله‌زاری، ر. طباطبایی، س. ح. خلقی، م. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر تغذیه آبخوان شهرکرد با فاضلاب بر انتشار نیترات با استفاده از مدل MT3D. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهرکرد.
- مهدوی، ر. عابدی کوپایی، ج. رضایی، م. عبدالحسینی، م. ۱۳۸۳. مکان‌یابی محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی از طریق RS و GIS. دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک. دانشگاه شیراز.

Kalantari, N. and Goli, A. 2005. Artificial recharge of Baghmelak aquifer Khuzestan province southwest of Iran. 5th International symposium in aquifer management recharge. Berlin, Germany (ISMAR 2005).

Singh, R.M. and Datta, B. 2004. Groundwater pollution source identification and simultaneous parameter estimation using pattern matching by artificial neural network. Environmental Forensics, 5(3):143–153

Zuquette, L.V., Palma, J.B. and Pejon, OJ. 2005. Environmental assessment of an uncontrolled sanitary landfill. Pocos de Caldas, Brazil. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 64: 257–271.