نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۴، مرداد - شهریور ۱۳۹۹، ص. ۹۹۲-۹۸۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 14, Agu.-Sept. 2020, p. 981-992

بررسی اثر تغذیه‌ی مصنوعی به روش چاه تزریق بر تراز آبخوان آزاد با استفاده از مدل عددی MODFLOW (مطالعه موردی: دشت بیرجند)

فاطمه پورصالحی[۱]، ابوالفضل اکبرپور[۲*]، سید رضا هاشمی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۳

چکیده

با توجه به افت تراز سطح ایستابی در بسیاری از آبخوان‌های ایران به دلیل برداشت‌های بی‌رویه از این منابع، اجرای طرح احیاء و تعادل‌بخشی جهت مدیریت آبخوان‌ها به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک حائز اهمیت است. از جمله راهکارهای مدیریتی موجود در این طرح که سبب ذخیره آب به صورت مستقیم در آبخوان‌ها می‌گردد تغذیه‌ی مصنوعی به روش چاه تزریق می‌باشد. هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر چاه‌های تزریق بر تراز آبخوان آزاد دشت بیرجند در شرایط غیر ماندگار با استفاده از مدل عددی MODFLOW-2000 و بر اساس تزریق حجم رواناب سالانه‌ی دشت می‌باشد. در این راستا ابتدا اطلاعات مربوط به مشخصات هیدرودینامیکی آبخوان شامل هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه، چاه‌های مشاهده‌ای، چاه‌های برداشت، تغذیه از سطح، رقوم ارتفاعی آبخوان، سنگ کف و زهکش تهیه گردید. سپس تراز سطح ایستابی آبخوان با مدل MODFLOW-2000 در نرم‌افزار GMS 7.1 در حالت ماندگار و در محیط اشباع در طول سال آبی ۹۰-۸۹ شبیه‌سازی شد. پس از شبیه‌سازی، مدل ایجادشده با روش کالیبراسیون دستی واسنجی و نتایج حاصل از حالت ماندگار به‌عنوان ورودی به مدل غیر ماندگار وارد و سپس واسنجی شد. همچنین تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هدایت هیدرولیکی و ضریب آبدهی ویژه بررسی و صحت مدل در بازه‌ی زمانی ۹۱-۹۰ مورد ارزیابی قرار گرفت. در انتها سناریوی مدیریتی تغذیه‌ی مصنوعی با استفاده از روش چاه تزریق با در نظر گرفتن ۲۰ حلقه چاه با دبی معادل ۱۹۰۹/۶۱ مترمکعب بر روز در مدت‌زمان یک سال به مدل اضافه گردید. نتایج صحت‌سنجی توانایی مدل در شبیه‌سازی تراز سطح ایستابی را در شرایط غیر ماندگار نشان می‌دهد. همچنین شبیه‌سازی طرح تغذیه-ی مصنوعی به روش چاه تزریق نشان داد که با اجرای این سناریو تراز سطح ایستابی در تمامی چاه‌های مشاهده‌ای به‌طور میانگین به میزان ۷۷ سانتی-متر افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: چاه تزریق، سطح ایستابی، طرح احیاء و تعادل‌بخشی، مدل MODFLOW-2000، نرم‌افزار GMS 7.1

مقدمه

منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین بخش از آب‌های شیرین قابل‌استفاده و در دسترس بشر را تشکیل می‌دهند. کاهش بارش و خشکسالی در سال‌های اخیر چرخه‌ی تجدیدپذیر آب‌های زیرزمینی را با نقص و چالش روبه‌رو ساخته است. با افزایش سطح توقعات بشر و همچنین توسعه صنعت و کشاورزی، این کاهش در بارندگی با افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی همراه شده است. دو عامل مذکور در نهایت منجر به کاهش منابع آب زیرزمینی و افت در سطح آبخوان‌های آب زیرزمینی شده است. بیلان آبی کشور نشان می‌دهد که میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی بیشتر از میزان تغذیه آن‌ها بوده و باعث افت سطح آب در آن‌ها شده است. یکی از مناسب‌ترین ابزارها برای کنترل و مدیریت افت ایجادشده استفاده از مدل ریاضی آبخوان است (پناهی و همکاران، ۱۳۹۷). مدل‌های جریان آب زیرزمینی به‌عنوان (۱) ابزار تفسیری برای بررسی دینامیک سیستم آب زیرزمینی و درک الگوهای جریان (۲) ابزار شبیه‌سازی جهت تجزیه و تحلیل واکنش‌های سیستم آب زیرزمینی به تنش‌ها (۳) ابزار ارزیابی سنجش فرآیندهای تغذیه، تخلیه و ذخیره‌ی آبخوان و بازدهی کیفی پایدار (۴) ابزار پیش‌بینی کننده جهت پیش‌بینی شرایط و اثرات آینده-ی فعالیت‌های انسانی (۵) ابزار پشتیبان جمع‌آوری داده‌ها در زمینه‌ی برنامه‌ریزی و طراحی راه‌حل‌های عملی (۶) ابزار نمایش برای ارزیابی سناریوهای توسعه‌ی آب زیرزمینی (۷) ابزار مدیریت برای ارزیابی سیاست‌های پیشنهادی (۸) ابزار تجسمی جهت برقراری ارتباط با پیام‌های کلیدی برای مردم و تصمیم‌گیرندگان استفاده می‌شوند

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Akbarpour@birjand.ac.ir
)

(Zhou and Li, 2011). شناخت رفتارهای یک سیستم سفره‌ی آب زیرزمینی، به انجام تحقیقات بلندمدت برای هر منطقه نیاز دارد که این امر با توجه به وضعیت کنونی و سقف محدود بودجه‌ها عملاً امکان‌پذیر نیست. در این میان با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی می‌توان شرایطی مشابه آنچه در طبیعت موجود است را به وجود آورد. در این زمینه، یکی از روش‌های مؤثر و سریع مطالعه‌ی چگونگی حرکت، بررسی بیلان و مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، روش‌های غیرمستقیم مطالعه یعنی استفاده از مدل‌های کامپیوتری است. این مدل‌ها شرایط طبیعی سفره را با یک سری روابط ریاضی شبیه‌سازی می‌کنند. در صورت دقیق بودن مدل، می‌توان از آن برای پیش‌بینی وضعیت منابع آب در آینده و بررسی تأثیر شرایط مدیریتی اعمال‌شده، استفاده کرد (محمودیان‌شوشتری، ۱۳۹۴). MODFLOW مدلی است که در شبیه‌سازی جریان با استفاده از مجموعه‌ی نرم‌افزار GMS بیشترین کاربرد را دارد. این مدل، معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی را در شرایط پایدار و ناپایدار با روش عددی تفاضل محدود حل می‌نماید. از مزایای این مدل انعطاف‌پذیری آن نسبت به اعمال شرایط مرزی است. مدل MODFLOW به‌کاررفته در نرم‌افزارGMS به تعدادی پارامتر به‌عنوان ورودی مدل نیاز دارد که از بین آن‌ها می‌توان به مواردی مانند تعداد سطر و ستون‌های شبکه و ابعاد آن‌ها، تعیین سلول‌های فعال و غیرفعال، ایجاد مدل مفهومی آبخوان (ایجاد لایه‌های مرز آبخوان، عوامل تغذیه و تخلیه، منابع سنجش و ...)، مشخص کردن تراز سطح زمین و تراز سطح و کف لایه‌های مختلف آبخوان، مشخص کردن شرایط اولیه (مانند سطح اولیه‌ی آب) و داده‌های عوارض مختلف در محدوده‌ی آبخوان نظیر رودخانه‌ها، ایستگاه‌های هیدرومتری، چاه‌های بهره‌برداری، چاه‌های مشاهده‌ای، زهکش‌ها و ... اشاره نمود. مدل‌ها پس از دریافت داده‌های ورودی بر اساس معادلات و شرایط حاکم بر مدل، آنالیزها و محاسبات لازم را انجام داده و خروجی حاصل را در قالب فایل‌های متناسب ارائه می‌دهند. نتایج این محاسبات می‌تواند سطح تراز آب هر سلول، بیلان آب و جهت و زمان حرکت و ... در سلول یا مجموعه‌ی سلول‌ها باشد. با توجه به حجم بسیار زیاد اطلاعات ورودی و خروجی مدل‌ها، مدلی کاربرپسند و قابل‌استفاده خواهد بود که این حجم داده‌ای را به صورت گرافیکی و با فرمت مناسب مدیریت کند (قدرتی و برزگری، ۱۳۹۵).

طرح‌های احیاء و تعادل‌بخشی آب زیرزمینی از جمله طرح‌هایی هستند که در راستای حفاظت از منابع آب زیرزمینی در سه بخش پروژه‌های تولید، تدقیق داده‌ها و اطلاعات در خصوص منابع، مصارف و وضعیت آبخوان‌ها، پروژه‌های کنترل، نظارت و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و پروژه‌های ذخیره‌سازی مستقیم آب در آبخوان‌ها تعریف می‌شوند که پروژه‌ی تغذیه‌ی مصنوعی در زیرگروه پروژه‌های ذخیره‌سازی آب قرار می‌گیرد. با توجه به هدف اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی، شرایط هیدرولوژی، توپوگرافی، و زمین‌شناسی محل، روش‌های مختلفی به‌کاربرده می‌شود. برای این کار به‌طورکلی دو روش وجود دارد؛ روش اول-تغذیه مصنوعی به روش مستقیم که شامل روش‌های سطحی یا نفوذ دادن آب در زمین (مانند روش آبیاری، تغذیه مصنوعی از طریق نهر یا جوی، استفاده از سدهای کوتاه و عریض در مسیر رودخانه، روش حوضچه آبگیر، روش پخش سیلاب و گودال) و روش‌های زیرزمینی یا تزریق کردن (مانند پخش آب در مجرای قنات‌های مخروبه و روش تغذیه چاه) است. روش دوم-روش‌های غیرمستقیم که شامل تغذیه واداری و ایجاد سدهای زیرزمینی می‌گردد (کردوانی، ۱۳۹۱).

در این راستا کاردان‌مقدم و همکاران (۱۳۹۶)، جهت ارزیابی اثر تغذیه‌ی مصنوعی بر تعادل‌بخشی آبخوان بیرجند از مدل MODFLOW و تعریف سناریوهای طرح تعادل‌بخشی (از طریق کاهش برداشت آب) استفاده نمودند. نتایج نشان داد که تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب اثربخشی مطلوبی بر چاه‌های مشاهده‌ای این منطقه دارد. محتشم و همکاران (۱۳۹۶)، کارایی شبکه‌ی عصبی مصنوعی و مدل عددی MODFLOW را در پیش‌بینی سطح ایستابی آبخوان آزاد دشت بیرجند تعیین نمودند. نتایج تا ۲۴ ماه آینده به برتری مدل عددی MODFLOW نسبت به روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی دلالت دارد. یاری و درزی‌نفت‌چالی (۱۳۹۶)، با استفاده از مدل MODFLOW سطح ایستابی آبخوان قم را شبیه‌سازی و سناریوهای مدیریتی را بر آن اعمال نمودند. نتایج نشان داد که سناریوی تغذیه‌ی مصنوعی با استفاده از پساب بهترین سناریو جهت احیا و تعادل‌بخشی آبخوان تا افق ۱۴۰۰ می‌باشد.

قبادیان و بهرامی (۱۳۹۵)، با استفاده از دو مدل عددی MODFLOW و MT3DMS به بررسی اثر سناریوهای کمی و کیفی بر آبخوان دشت خزل استان همدان پرداختند. نتایج کمی طرح تغذیه‌ی مصنوعی توسط ۳۱ چاه تزریق نشان داد که سطح آب زیرزمینی به میزان ۱۹ سانتی‌متر در فروردین‌ماه افزایش می‌یابد.

حسن و رشید با استفاده از دو مدل WMS (جهت مدل‌سازی رواناب حوضه) و MODFLOW (جهت مدل‌سازی آب زیرزمینی) تغییرات ارتفاع آب زیرزمینی به علت تغذیه‌ی آبخوان با استفاده از جمع‌آوری آب باران و نصب بندهای اصلاحی (در مناطقی که نفوذ خیلی زیاد است) را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج این تحقیق بندهای اصلاحی پس از یک سال ارتفاع آب زیرزمینی را به میزان بیشتر از ۴/۵ متر در مناطق خاص و به‌طور عمده بیشتر از ۰/۲ متر در کل منطقه‌ی باشیکا در شهری در شمال عراق افزایش داده است (Hasan and Rasheed., 2006). چیت‌سازان و موحدیان آبخوان دشت گتوند را با استفاده از کد MODFLOW در نرم‌افزار GMS شبیه‌سازی و اثر تغذیه‌ی مصنوعی به روش پخش سیلاب بر آن را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که این طرح سبب افزایش تراز آبخوان

در پیزومتر G19 به میزان ۱ تا ۲ متر طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ شده که بیشترین اثر بر روی این پیزومتر پس از گذشت ۶۰ تا ۹۰ روز از شروع تغذیه بوده و این امر در سایر پیزومترها با تأخیر زمانی بیشتری رخ داده است. همچنین بخش‌های غربی منطقه‌ی اجرای طرح به علت ضخامت کم ناحیه‌ی غیراشباع اثر بیشتری بر آبخوان داشته است (Chitsazan and Movahedian, 2015).

غزا و همکاران اثر چاه‌های تغذیه‌ی مصنوعی بر آب زیرزمینی را با استفاده از مدل MODFLOW در منطقه‌ی بریده عربستان سعودی برآورد نمودند. در این تحقیق رواناب حاصل از باران در شش حوضچه تخلیه شده و برای هر یک از شش استخر یک چاه تزریق جهت مدل‌سازی تغذیه به آب زیرزمینی صورت گرفته است. نتایج نشان داد که این تحقیق از نظر اینکه فرصت مناسبی جهت ذخیره و تغذیه‌ی روانابی که در حال حاضر به هدر می‌رود فراهم می‌نماید و در طولانی‌مدت به دوام آبخوان کمک خواهد کرد، قابل‌استفاده خواهد بود. همچنین عمر آبخوان به دلیل استفاده از چاه‌های تغذیه‌ی پیشنهادی حدود ۳ درصد افزایش می‌یابد و افت سطح آب در آبخوان به علت کاهش نرخ پمپاژ با استفاده از چاه تغذیه در مدت ۳۰ سال تقریباً ۴۱/۹ متر خواهد بود که حدود ۳۶٪ کمتر از وضعیت غالب منطقه خواهد بود (Ghazaw et al., 2014). کریم و عبدعلی اثر تغذیه‌ی مصنوعی (به روش چاه تزریق) بر تراز آبخوان را با استفاده از نرم‌افزار GMS تعیین نمودند. نتایج نشان داد که تغذیه در مرکز منطقه‌ی مورد مطالعه سبب افزایش سطح ایستابی تا ۲۰ متر پس از ۳۶۰ روز از تزریق می‌گردد. همچنین نتایج شبیه‌سازی اهمیت استفاده از تغذیه‌ی مصنوعی در بهبود سطح آب و جلوگیری از کاهش آن در آبخوان محصور را نشان می‌دهد (Karim and ABbdali, 2017). چیت‌سازان و همکاران اثر تغذیه‌ی مصنوعی به روش پخش سیلاب بر تغذیه‌ی آب زیرزمینی در دشت لور استان خوزستان را با استفاده از مدل MODFLOW ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که پخش سیلاب نه‌تنها سطح آب زیرزمینی را در مجاورت منطقه‌ی تحت تغذیه افزایش داده بلکه بودجه‌ی آب آبخوان را حدود ۱/۶ میلیون مترمکعب افزایش می‌دهد (Chitsazan et al., 2017).

هدف از تحقیق حاضر ارزیابی اثر تغذیه‌ی مصنوعی به روش چاه تزریق بر تراز ایستابی آبخوان آزاد دشت بیرجند می‌باشد که با استفاده از مدل عددی MODFLOW-2000 و با تأکید بر تزریق به صورت بهره‌گیری از حجم رواناب سالانه‌ی دشت انجام می‌گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت بیرجند در قسمت شمالی ارتفاعات باقران با مختصات تقریبی ۳۲ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۸ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۸ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۴۴ دقیقه طول جغرافیایی قرار گرفته است. حوضه‌ی آبریز بیرجند دارای وسعت ۳۱۵۵ کیلومتر مربع بوده که ۱۸۴۵ کیلومتر دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. این دشت حالت کشیده داشته و تمامی پیرامون آن را ارتفاعات و بخش مرکزی را آبخوان آبرفتی تشکیل می‌دهد. دشت بیرجند طبق طبقه‌بندی‌های اقلیمی جز مناطق خشک محسوب می‌شود. از نظر توپوگرافی حداکثر ارتفاع حوضه از سطح دریا ۲۷۸۷ متر در ارتفاعات شمالی منطقه (کوه بند دره) و حداقل ارتفاع نیز ۱۱۸۰ متر در خروجی دشت (منطقه فدشک) می‌باشد (همراز و همکاران، ۱۳۹۴). آبخوان دشت بیرجند از نوع آزاد و ناهمگن است که دارای متوسط ضخامت اشباع ۳۰ متر و مساحتی معادل ۲۶۵ کیلومتر مربع می‌باشد (فرپور، ۱۳۹۵).

معادله عمومی جریان آب زیرزمینی در آبخوان آزاد:

معادله‌ی عمومی جریان دو بعدی در محیط همگن، همسان آبخوان آزاد به صورت رابطه‌ی (۱) تعریف می‌گردد:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x H \frac{\partial H}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k_y H \frac{\partial H}{\partial y}\right)=\frac{S_y \partial H}{\partial t}\pm R \quad (۱)$$

در معادله‌ی فوق H تراز آبخوان، k_y و k_x هدایت هیدرولیکی آبخوان به ترتیب در جهت x و y، S_y آبدهی ویژه، R مقدار تخلیه و یا تغذیه و t بعد زمان می‌باشد.

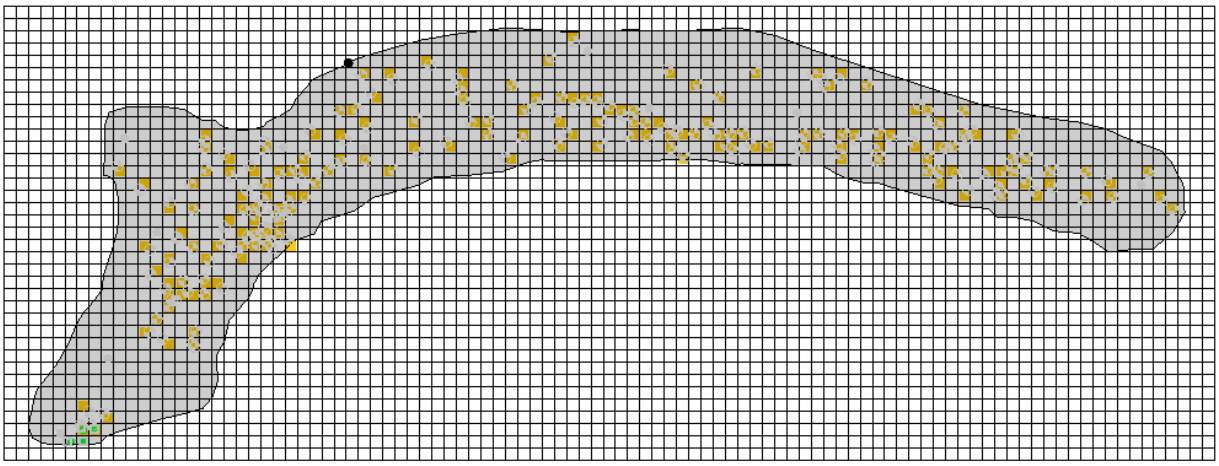
ایجاد مدل مفهومی

جهت ایجاد مدل مفهومی ابتدا اطلاعات آبخوان شامل خصوصیات هیدرودینامیکی هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه به صورت پلیگونی، چاه‌های مشاهده‌ای (۱۰ حلقه چاه) و چاه‌های برداشت (۱۹۰ حلقه چاه) به صورت نقطه‌ای، تغذیه از سطح، رقوم ارتفاعی آبخوان، سنگ کف، تراز اولیه‌ی آبخوان و زهکش طی سال آبی ۹۰-۸۹ جمع‌آوری و پس از آن با فراخوانی اطلاعات فوق در محیط نرم‌افزار GMS 7.1 و با استفاده از مدل MODFLOW-2000 پوشش‌های مرز آبخوان، چاه‌ها، تغذیه از سطح (تغذیه شامل آب برگشتی شرب، کشاورزی و صنعت می‌باشد. همچنین از تغذیه‌ی ناشی از بارش به علت عمیق بودن تراز سطح ایستابی (حدود ۱۵۰ متر) و تأثیر ناچیز بارش بر تغذیه‌ی آبخوان صرف‌نظر گردید)، زهکش، هدایت هیدرولیکی و سنگ کف تهیه و مدل مفهومی ایجاد گردید.

ایجاد شبکه

در این بخش با در نظر گرفتن یک شبکه‌ی مستطیلی با ۹۹ ستون و ۳۷ ردیف شبکه‌ی تفاضل محدود با ۳۶۶۳ سلول به ابعاد ۱۰*۱۰ در یک لایه در آبخوان آزاد دشت بیرجند ایجاد شد که با معرفی مرز آبخوان به صورت دریشلت (هد ثابت) تعداد ۱۰۷۷ سلول فعال و ۲۵۸۶ سلول غیرفعال حاصل گردید.

شکل ۱- آبخوان دشت بیرجند (فرپور و همکاران، ۱۳۹۷)



شکل ۲-شبکه‌ی تفاضل محدود ایجادشده و تبدیل آن به مدل MODFLOW

ایجاد مدل عددی MODFLOW

پس از ساخت شبکه تراز سطح ایستابی ابتدا در حالت ماندگار شبیه‌سازی و سپس مدل با تغییر پارامتر هدایت هیدرولیکی به روش سعی و خطا (کالیبراسیون دستی) واسنجی شد. همچنین در شرایط غیر ماندگار با تغییر نوع جریان مدل حاصل از گام قبلی (مدل واسنجی شده در شرایط ماندگار) از شرایط ماندگار به غیر ماندگار و ورود داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای و چاه‌های برداشت در این حالت با گام‌های زمانی ۱۲ ماهه در طول سال آبی ۹۰-۸۹ و نیز آبدهی ویژه-ی آبخوان انجام شد. واسنجی در این حالت نیز با استفاده از روش کالیبراسیون سعی و خطا با در نظر گرفتن پارامتر آبدهی ویژه Sy و نیز هدایت هیدرولیکی انجام گردید. تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه بررسی و نیز صحت مدل با تغییر دوره‌ی تنش ۱۲ ماهه در مدت سال آبی ۹۱-۹۰ ارزیابی و پس از حصول اطمینان از صحت مدل، سناریوی مدیریت آبخوان دشت بیرجند به صورت زیر به مدل معرفی گردید:

تعریف سناریو

سناریو تغذیه‌ی مصنوعی به روش چاه تزریق

چاه‌های تغذیه، که معمولاً به‌عنوان چاه‌های تزریق نامیده می‌شوند، عموماً جهت پر کردن مجدد آب‌های زیرزمینی در

هنگامی‌که آبخوان عمیق بوده و توسط مواد با نفوذپذیری پایین از سطح جدا می‌گردد، مورداستفاده قرار می‌گیرد. چاه‌ها همچنین برای تغذیه‌ی آبخوان‌های آزاد که زمین‌های قابل‌دسترس در آن‌ها محدود است، استفاده می‌شوند. چاه‌های تغذیه را می‌توان به‌منظور تأمین آب دو یا چند آبخوان به‌طور هم‌زمان احداث نمود و در جایی که شرایط هیدرولیکی اجازه می‌دهد، می‌تواند به‌عنوان اتصالات غیرفعال در میان آبخوان‌های مجاور که توسط مواد غیرقابل نفوذ جدا شده‌اند، استفاده گردند (Asano,1985). در این سناریو با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک و وجود رگبارهای پراکنده که در برخی مواقع منجر به بروز سیل در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌گردد جهت برآورد حجم آب قابل تزریق به آبخوان، پس از بررسی توانایی دشت در تولید رواناب، از حجم رواناب سالانه‌ی دشت استفاده گردید.

بدین منظور ابتدا مقدار دبی تزریق بر اساس رابطه‌ی ارائه‌شده توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) (رابطه (۲)) و با در نظر گرفتن شماره منحنی رواناب بر اساس میانگین وزنی دشت معادل ۵۶ (اکبرپور و همکاران، ۱۳۹۴) و متوسط بارندگی در سطح دشت (۱۷۲ میلی‌متر) (فرپور، ۱۳۹۵)محاسبه شد و سپس با منظور نمودن ۲۰ حلقه چاه در مناطقی از آبخوان که نسبت به سایر نقاط حوضه از نفوذپذیری بالاتری برخوردار می‌باشد و قابلیت اجرای تغذیه مصنوعی در آن مناطق بیشتر است، دبی محاسبه‌شده معادل ۱۹۰۹/۶۱ مترمکعب بر روز به ازای هر چاه در مدت‌زمان یک سال به آبخوان وارد گردید.

$$R = \frac{(P - 0 \cdot 2S)^2}{(P + 0 \cdot 8S)} \quad (۲)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (۳)$$

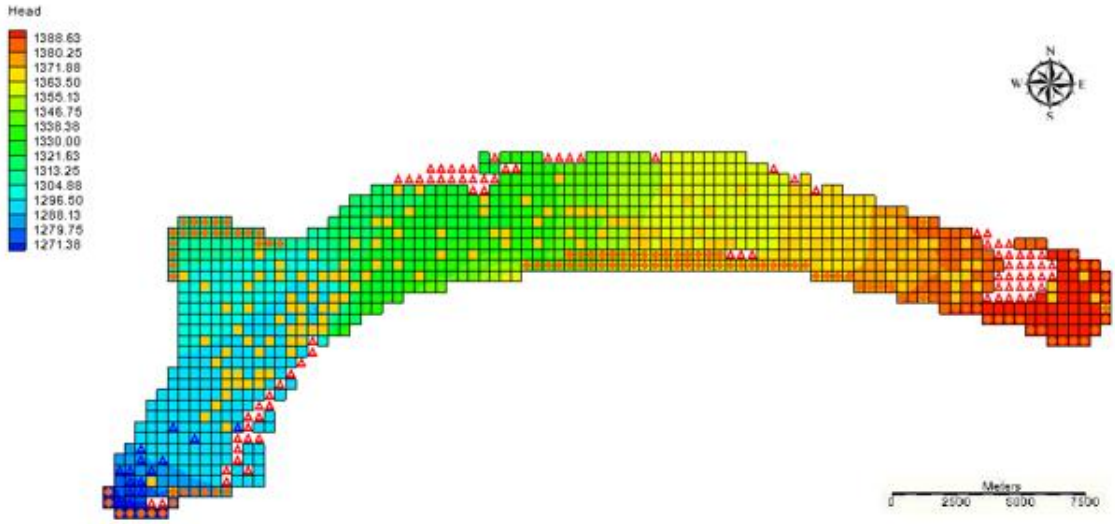
در روابط فوق R و P به ترتیب ارتفاع رواناب و ارتفاع بارندگی برحسب میلی‌متر، S عامل نگهداشت آب در سطح زمین و CN شماره‌ی منحنی مربوط به مقدار نفوذ آب در حوضه (CN بر اساس دو پارامتر طبقه‌بندی خاک از نظر میزان نفوذپذیری و پوشش سطح حوضه تعیین می‌گردد) می‌باشد.

در این سناریو فرض می‌گردد که دبی حاصل از رواناب پس از بررسی‌های کیفی و حذف مواد معلق در آن جهت جلوگیری از گرفتگی چاه‌ها و کاهش طول عمر آن‌ها در دمایی معادل دمای آب زیرزمینی به آبخوان تزریق گردد و عمق چاه‌ها جهت جلوگیری از ورود هوا معادل عمق آب زیرزمینی باشد.

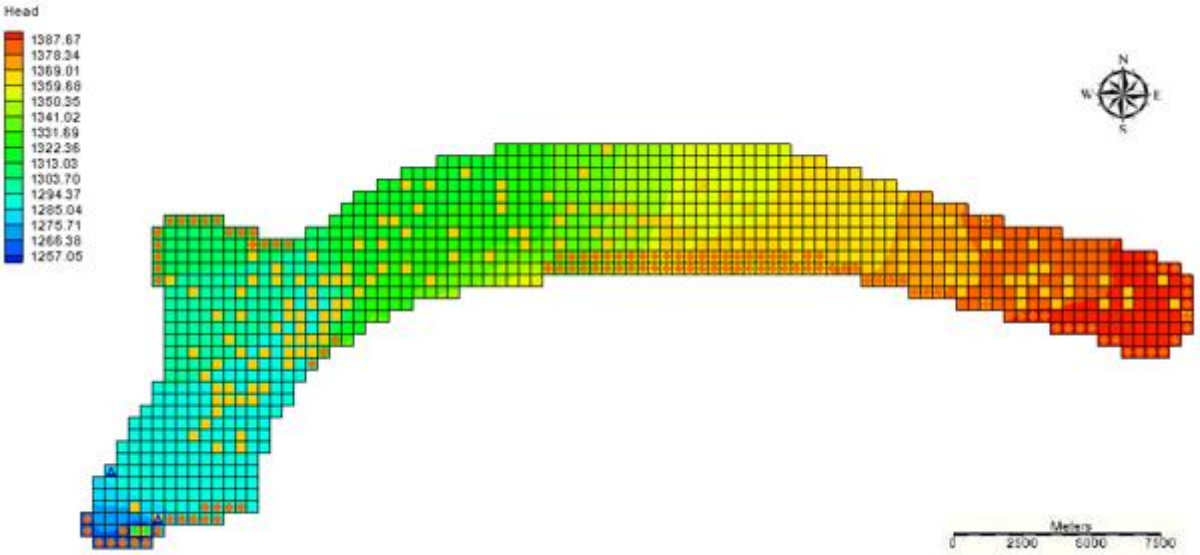
نتایج و بحث

نتایج واسنجی مدل در شرایط ماندگار

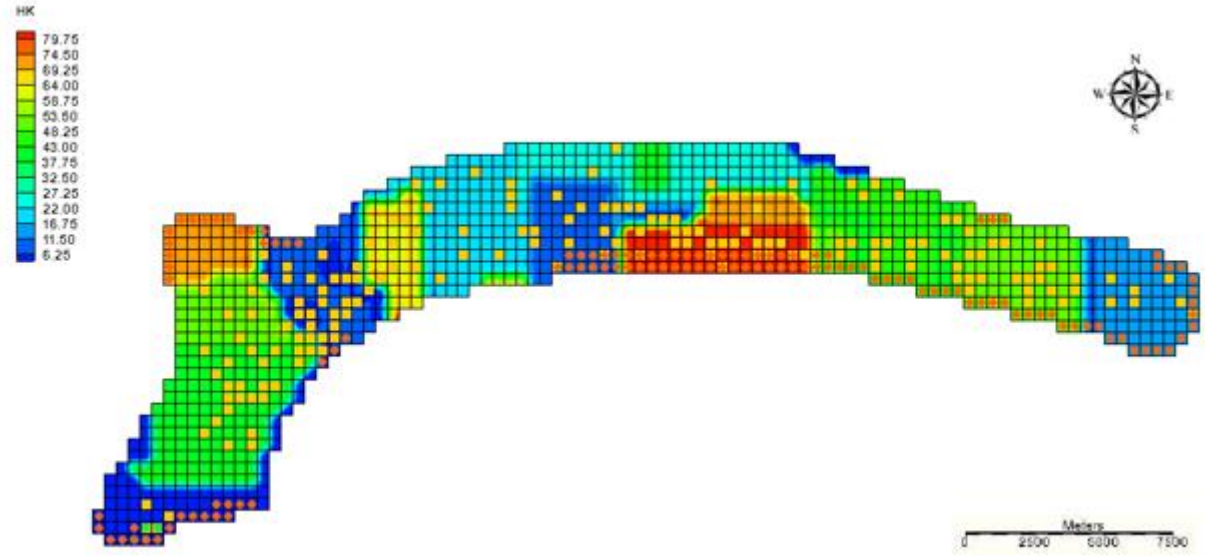
پس از ساخت مدل در حالت ماندگار، واسنجی مدل ایجادشده با استفاده از روش سعی و خطا و با در نظر گرفتن پارامتر هدایت هیدرولیکی HK انجام گردید. پس از واسنجی مدل، مقادیر معیارهای ارزیابی برحسب متر معادل ME=۰/۰۱۶، MAE=۰/۴۳۷ و RMSE=۰/۵۴۵ حاصل شد. شکل‌های زیر نتایج اجرای مدل قبل و پس از واسنجی در شرایط ماندگار را نشان می‌دهد. مثلث‌های قرمز در شکل (۳) نشان می‌دهد که در مدل اولیه به دلیل وجود خطای شبیه‌سازی تراز سطح ایستابی آبخوان به سنگ کف رسیده و آبخوان خشک شده است که پس از انجام مرحله‌ی واسنجی و رفع خطای مدل برطرف می‌گردند (شکل ۴). همچنین وجود مثلث‌های آبی در این مدل نشان‌دهنده‌ی این امر می‌باشد که تراز سطح ایستابی شبیه‌سازی‌شده به سطح زمین نزدیک گردیده و فاصله‌ی بین آن‌ها به کم‌تر از ۱۰ متر رسیده است. جدول ۱ مقدار عددی خطا در چاه‌های مشاهده‌ای پس از مرحله‌ی واسنجی را ارائه می‌دهد.



شکل ۳- تراز سطح ایستابی در شرایط ماندگار قبل از واسنجی



شکل ٤- تراز سطح ایستابی در شرایط ماندگار پس از واسنجی



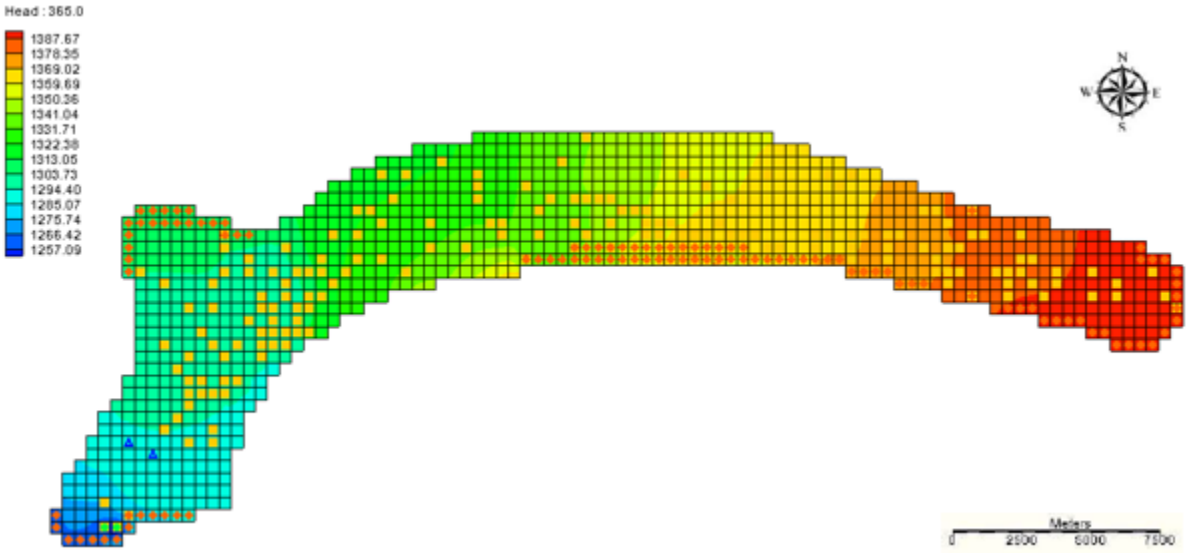
شکل ٥- هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت بیرجند پس از واسنجی

نتایج واسنجی مدل در شرایط غیر ماندگار

در این مرحله پس از ایجاد مدل غیر ماندگار با توجه به اختلاف ایجادشده در مقادیر واقعی و شبیه‌سازی‌شده و تغییر رنگ پیزومترها، واسنجی مدل با ایجاد تغییرات به صورت سعی و خطا در پارامتر Sy انجام شد. بررسی نتایج حاصل از واسنجی مدل غیر ماندگار مقادیر معیارهای ارزیابی MA، MAE و RMSE را به ترتیب معادل ۰/۰۷۸-، ۰/۴۲۲ و ۰/۵۰۸ متر نشان داد. شکل‌های ۶ و ۷ تراز سطح ایستابی در پایان دوره شبیه‌سازی (روز ۳۶۵ ام) و ضریب آبدهی ویژه پس از واسنجی را نشان می‌دهد. همچنین جدول ۲ و ۳ به ترتیب بیان‌کننده‌ی مقادیر معیارهای ارزیابی MA، MAE و RMSE در شرایط ماندگار و غیر ماندگار قبل و پس از واسنجی و خطای مدل غیر ماندگار در چاه‌های مشاهده‌ای دشت بیرجند پس از واسنجی در پایان دوره‌ی شبیه‌سازی (روز ۳۶۵ ام) می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات چاه‌های مشاهداتی و مقدار خطا در آن‌ها پس از واسنجی نهایی مدل ماندگار در آبخوان دشت بیرجند

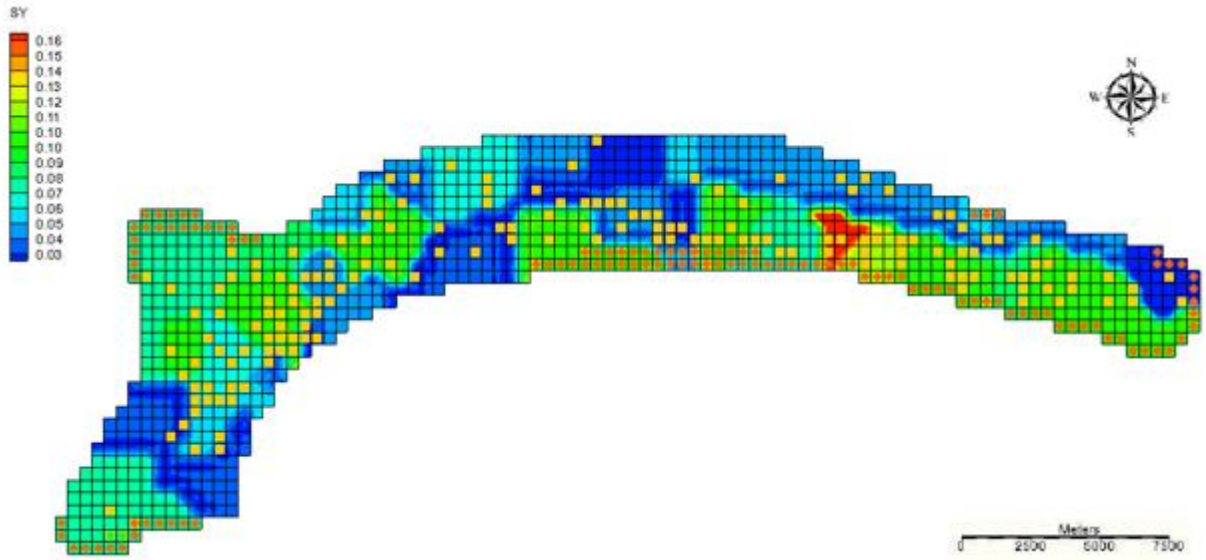
ردیف	محل قرارگیری چاه مشاهده‌ای	UTMx	UTMy	تراز مشاهده‌ای(m)	تراز محاسباتی (m)	مقدار خطا (m)
۱	فدشک-جنوب‌غرب حوض	۶۷۲۰۳۳	۳۶۲۶۳۹۳	۱۲۶۴/۳۰۱	۱۲۶۳/۳۸۱	-۰/۹۲
۲	نصرآباد-جنب حوض	۶۷۳۸۰۲	۳۶۲۹۳۶۱	۱۲۹۱/۵۵۴	۱۲۹۱/۳۰۹	-۰/۲۴۵
۳	شمال روستای شاهلیزه	۶۷۴۴۹۴	۳۶۳۸۳۸۰	۱۳۰۶/۸۷۲	۱۳۰۷/۵۷۵	۰/۷۰۳
۴	راه شهنه	۶۷۵۷۹۵	۳۶۳۴۵۲۸	۱۲۹۶/۴۳۸	۱۲۹۶/۷۴۹	۰/۳۱۰۹۹۹
۵	تقاب	۶۸۰۹۴۹	۳۶۳۸۲۲۷	۱۳۰۹/۹۸۶	۱۳۱۰/۰۸۵	۰/۰۹۸۹۹۹
۶	راه سیوجان	۶۸۴۷۷۳	۳۶۳۷۶۹۵	۱۳۲۲/۴۱	۱۳۲۳/۲۵۵	۰/۸۴۵
۷	شمال رکات-شمال‌غرب امیرآباد	۶۹۳۷۱۸	۳۶۴۱۶۵۷	۱۳۴۲/۲۴۴	۱۳۴۲/۱۰۱	-۰/۱۴۳
۸	اراضی شمس‌آباد-شهرک صنعتی	۶۹۵۹۴۰	۳۶۳۹۲۷۳	۱۳۵۷/۷۱۴	۱۳۵۶/۹۱۹	-۰/۷۹۵
۹	جنوب حاجی‌آباد-عمیق متروک	۷۰۱۵۳۴	۳۶۳۸۹۷۰	۱۳۶۲/۹	۱۳۶۲/۸۹۶	-۰/۰۰۴
۱۰	غرب بجد	۷۱۶۲۵۶	۳۶۳۶۲۳۹	۱۳۹۲/۲۱۲	۱۳۹۲/۵۲۲	۰/۳۰۹۹۹



شکل ٦-تراز سطح ایستابی در شرایط غیر ماندگار پس از واسنجی در پایان دوره‌ی شبیه‌سازی (روز ۳٦٥ ام)

جدول ۲- مقادیر معیارهای ارزیابی خطا در شرایط ماندگار و غیر ماندگار قبل و پس از واسنجی

معیار ارزیابی	ماندگار		غیر ماندگار	
	قبل از واسنجی	پس از واسنجی	قبل از واسنجی	پس از واسنجی
ME(m)	۱/۱۳	۰/۰۱۶	۰/۱۴۵	-۰/۰۷۸
MAE(m)	۱/۵	۰/۴۳۷	۰/۸۷۹	۰/۴۲۲
RMSE(m)	۱/۹۲۱	۰/۵۴۵	۱/۱۵	۰/۵۰۸



شکل ۷- ضریب آبدهی ویژه در شرایط غیر ماندگار پس از واسنجی

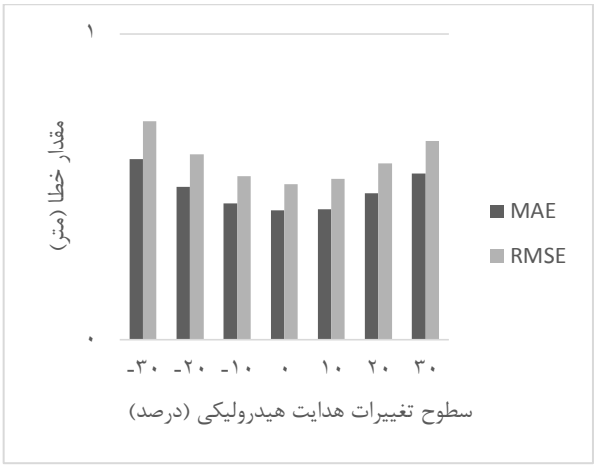
جدول ۳-مقدار خطا در چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان دشت بیرجند پس از واسنجی نهایی مدل غیر ماندگار در پایان دوره‌ی شبیه‌سازی (روز ۳٦٥ ام)

ردیف	محل قرارگیری چاه مشاهده‌ای	UTMx	UTMy	مقدار خطا (m)
۱	فدشک-جنوب‌غرب حوض	۶۷۲۰۳۳	۳۶۲۶۳۹۳	۰/۶۶۴
۲	نصرآباد-جنب حوض	۶۷۳۸۰۲	۳۶۲۹۳۶۱	۰/۹۱۸
۳	شمال روستای شاهلیزه	۶۷۴۴۹۴	۳۶۳۸۳۸۰	۰/۱۰۲
۴	راه شهنه	۶۷۵۷۹۵	۳۶۳۴۵۲۸	۰/۸۰۹
۵	تقاب	۶۸۰۹۴۹	۳۶۳۸۲۲۷	۰/۷
۶	راه سیوجان	۶۸۴۷۷۳	۳۶۳۷۶۹۵	۰/۶۵۳
۷	شمال رکات-شمال‌غرب امیرآباد	۶۹۳۷۱۸	۳۶۴۱۶۵۷	۰/۲۵۶
۸	اراضی شمس‌آباد-شهرک صنعتی	۶۹۵۹۴۰	۳۶۳۹۲۷۳	۰/۹۱۳
۹	جنوب حاجی‌آباد-عمیق متروک	۷۰۱۵۳۴	۳۶۳۸۹۷۰	۰/۱۴۸
۱۰	غرب بجد	۷۱۶۲۵۶	۳۶۳۶۲۳۹	۰/۳۳۸

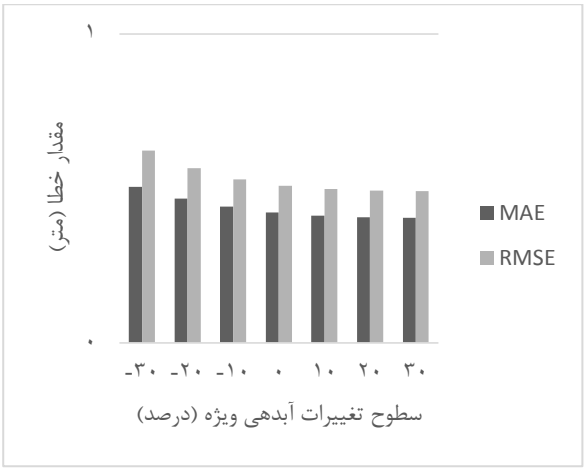
نتایج تحلیل حساسیت و صحت‌سنجی مدل

اغلب پارامترهایی که در مدل‌سازی آب زیرزمینی به‌کاربرده می‌شوند دارای عدم قطعیت می‌باشند. شناخت این عدم قطعیت‌ها و به کمیت درآوردن بازه‌ی تغییرات آن‌ها در مدل‌سازی و واسنجی آن‌ها مؤثر هستند. مدل پس از ایجاد و واسنجی به پارامتری حساس است که تغییرات کوچک در مقادیر آن، اثر زیادی بر مدل خواهد داشت (قدرتی و برزگری، ۱۳۹۵). در مرحله‌ی تحلیل حساسیت، به بررسی حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در سطوح مختلف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد که مدل نسبت به افزایش و کاهش پارامتر دو پارامتر هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه حساس است. بنابراین با توجه به نتایج حاصله می‌توان دریافت که در مدل‌سازی آبخوان آزاد دشت بیرجند مقادیر دو پارامتر هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه باید با دقت بیشتری تعیین گردد.

پس از مرحله‌ی تحلیل حساسیت، صحت مدل در ۱۲ ماه دوره‌ی تنش مرحله‌ی واسنجی و دوره‌ی تنش ۱۲ ماهه از مهرماه ۹۰ تا شهریور ۹۱ ارزیابی و نیز داده‌های ۱۰ چاه مشاهده‌ای موجود در منطقه برای دوره‌ی تنش مذکور به مدل وارد گردید. پس از اجرای مدل مقادیر معیارهای ارزیابی ME، MAE و RMSE در مدت ۲۴ ماه به ترتیب معادل ۰/۳۹۰، ۰/۷۱۲ و ۰/۹۲۹ متر برآورد گردید. بررسی نتایج دوره‌ی صحت‌سنجی نشان می‌دهد که این مقدار خطا که به علت وجود خطا در ابتدای دوره‌ی شبیه‌سازی (جدول ۲) ایجاد گردیده است قابل‌اغماض بوده و این مدل از قابلیت شبیه‌سازی تراز ایستابی آبخوان آزاد دشت بیرجند برخوردار می‌باشد.



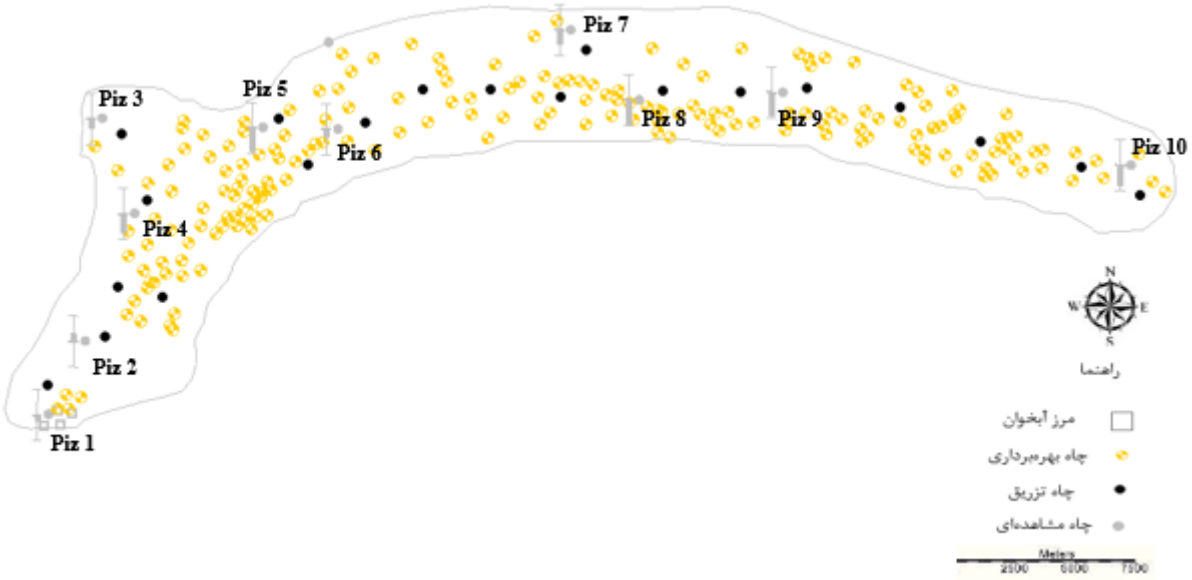
شکل ۸- حساسیت مدل نسبت به پارامتر هدایت هیدرولیکی در شرایط غیر ماندگار



شکل ۹- حساسیت مدل نسبت به پارامتر آبدهی ویژه در شرایط غیر ماندگار

نتایج اجرای سناریوی مدیریتی

در این سناریو از ۲۰ حلقه چاه با دبی ۱۹۰۹/۶۱ متر مکعب بر روز استفاده گردید که پس از قرارگیری چاه‌ها در محدوده‌ی نفوذپذیر آبخوان (شکل ۱۰) عمل تزریق به آبخوان در مدت ۳۶۵ روز انجام شد. پس از اجرای مدل، بررسی تراز سطح ایستابی چاه‌های مشاهده‌ای نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی به‌طور میانگین به میزان ۷۷ سانتی‌متر افزایش داشته است که بیشترین مقدار افزایش در تراز آبخوان در چاه مشاهده‌ای شمال رکات به میزان ۱/۵۱ متر و کمترین مقدار آن در چاه مشاهده‌ای شمال روستای شاهلیزه به میزان ۱۴ سانتی‌متر مشهود است که این میزان افزایش بر کارایی سناریوی استفاده از طرح تغذیه‌ی مصنوعی به روش چاه‌های تزریق در جلوگیری از افت سطح ایستابی آبخوان آزاد دشت بیرجند دلالت دارد. جدول ۴ تراز سطح ایستابی آبخوان آزاد دشت بیرجند را در شرایط قبل و پس از اجرای عملیات تزریق نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- موقعیت مکانی در نظر گرفته‌شده جهت احداث چاه‌های تزریق در آبخوان آزاد دشت بیرجند

جدول ٤- تراز سطح ایستابی آبخوان آزاد دشت بیرجند قبل و پس از تزریق در پایان دوره‌ی شبیه‌سازی (روز ۳٦٥ ام)

ردیف	محل قرارگیری چاه مشاهده‌ای	UTMx	UTMy	تراز سطح ایستابی قبل از تزریق (m)	تراز سطح ایستابی پس از تزریق (m)
۱	فدشک-جنوب‌غرب حوض	۶۷۲۰۳۳	۳۶۲۶۳۹۳	۱۲۶۴/۶۹	۱۲۶۵/۶۹
۲	نصرآباد-جنب حوض	۶۷۳۸۰۲	۳۶۲۹۳۶۱	۱۲۹۲/۱۲	۱۲۹۲/۸۵
۳	شمال روستای شاهلیزه	۶۷۴۴۹۴	۳۶۳۸۳۸۰	۱۳۰۷/۵۷	۱۳۰۷/۷۱
۴	راه شهنه	۶۷۵۷۹۵	۳۶۳۴۵۲۸	۱۲۹۸/۱۵	۱۲۹۸/۹۷
۵	تقاب	۶۸۰۹۴۹	۳۶۳۸۲۲۷	۱۳۱۲/۲۸	۱۳۱۳/۰۷
۶	راه سیوجان	۶۸۴۷۷۳	۳۶۳۷۶۹۵	۱۳۲۴/۰۹	۱۳۲۵/۱۲
۷	شمال رکات-شمال‌غرب امیرآباد	۶۹۳۷۱۸	۳۶۴۱۶۵۷	۱۳۴۲/۸۶	۱۳۴۴/۳۷
۸	اراضی شمس‌آباد-شهرک صنعتی	۶۹۵۹۴۰	۳۶۳۹۲۷۳	۱۳۵۸/۸۳	۱۳۵۹/۲۱
۹	جنوب حاجی‌آباد-عمیق متروک	۷۰۱۵۳۴	۳۶۳۸۹۷۰	۱۳۶۳/۶۱	۱۳۶۴/۲۷
۱۰	غرب بجد	۷۱۶۲۵۶	۳۶۳۶۲۳۹	۱۳۹۴/۲۲	۱۳۹۴/۶۶

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی امروزه افزایش روزافزون جمعیت و افزایش تقاضا، قرارگیری در اقلیم خشک و نیمه‌خشک و کمبود منابع آب سطحی سبب برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و افت شدید آن‌ها گردیده است. در راستای پیشگیری از پیامدهای مخرب کاهش تراز سطح ایستابی راهکارهای متعددی ارائه‌شده است که از این بین می‌توان به روش چاه تزریق جهت تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان به صورت مستقیم اشاره نمود. در تحقیق حاضر پس از شبیه‌سازی تراز سطح ایستابی آبخوان آزاد دشت بیرجند در شرایط ماندگار و غیر ماندگار و انجام مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل، حجم رواناب محاسبه‌شده در سطح دشت با استفاده از ۲۰ حلقه چاه با دبی ۱۹۰۹/۶۱ متر مکعب بر روز در مدت‌زمان ۳۶۵ روز به آبخوان تزریق گردید. نتایج بر کارایی مدل در شبیه‌سازی تراز سطح ایستابی دلالت دارد و بالاآمدگی تراز آبخوان به میزان ۷۷ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اجرای طرح تغذیه‌ی مصنوعی به روش چاه تزریق سبب افزایش سطح ایستابی آبخوان آزاد دشت بیرجند خواهد شد و همچنین می‌توان با در نظر گرفتن پتانسیل دشت در تولید رواناب و انتقال این حجم از آب (پس از بررسی‌های کیفی جهت جلوگیری از گرفتگی چاه‌ها) به آبخوان سبب کاهش خطر وقوع سیل و پیامدهای ناشی از آن گردید.

منابع

اکبرپور، ا.، صادقی، ش.، فروغی‌فر، ح. و شهیدی، ع. ۱۳۹۴. مقایسه‌ی روش‌های مکان‌یابی مناطق مستعد جمع‌آوری باران به کمک سیستم پشتیبانی تصمیم (SSD) مبتنی بر GIS. مجله جغرافیا و توسعه. (۳۹)، ۱۴۷-۱۶۳.

پناهی، م.، میثاقی، ف. و عسگری، پ. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی و تخمین نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از GMS (بررسی موردی دشت زنجان). فصلنامه علوم محیطی. ۱۶(۱)، ۱-۱۴.

فرپور، ا. ۱۳۹۵. ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت بیرجند با استفاده از مدل MT3D. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

فرپور، ا.، رمضانی، ی. و اکبرپور، ا. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی عددی روند تغییرات کروم در آبخوان دشت بیرجند. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۲(۵). ۱۲۰۳-۱۲۱۶.

قبادیان، ر. و بهرامی، ز. ۱۳۹۵. بررسی عددی اعمال سناریوهای کمی و کیفی بر آبخوان دشت خزل استان همدان با مدل‌های MODFLOW و MT3DMS. مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران. ۶۹(۴)، ۱۰۴۳-۱۰۶۲.

قدرتی، م.، برزگری، ف. ۱۳۹۵. مدل‌های ریاضی آب‌های زیرزمینی آموزش کاربردی مدل GMS 7.1. چاپ دوم، انتشارات سیمای دانش.

کاردان‌مقدم، ح.، بنی‌حبیب، م.ا. و جوادی، س. ۱۳۹۶. تحلیل پایداری کمی سامانه‌ی آبخوان (مطالعه موردی: خراسان جنوبی-آبخوان بیرجند). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۳۱(۶)، ۱۵۸۷-۱۶۰۱.

کردوانی، پ. ۱۳۹۱. منابع و مسائل آب در ایران. جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران.

محتشم، م.، دهقانی، ا.ا.، اکبرپور، ا. و مفتاح‌هلقی، م. ۱۳۹۶. ارزیابی شبکه عصبی مصنوعی و مدل عددی MODFLOW در پیش-بینی سطح ایستابی (مطالعه موردی: خراسان جنوبی-دشت بیرجند). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱(۱)، ۱-۱۰.

محمودیان‌شوشتری، م. ۱۳۹۴. هیدرولیک آب‌های زیرزمینی. چاپ

اول، دانشگاه شهید چمران اهواز.

همراز، ب.س.، اکبرپور، ا. و پوررضابیلندی، م. ۱۳۹۴. تحلیل عدم قطعیت پارامتری مدل MODFLOW توسط روشGLUE (مطالعه موردی: دشت بیرجند). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۲(۶)، ۶۱-۷۹.

یاری، ر.ا. و درزی‌نفت‌چالی، ع.ا. ۱۳۹۶. پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی تحت سناریوهای مختلف مدیریتی با استفاده از مدل MODFLOW. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۸(۳۰)، ۱۰۳-۱۱۵.

Asano, T. 1985. Artificial recharge of groundwater. Boston, MA, USA: Butterworth Publishers.

Chitsazan, M. and Movahedian, A. 2015. Evaluation of artificial recharge on groundwater using MODFLOW model (Case Study: Gotvand Plain-Iran). Journal of Geoscience and Environment Protection. 3(5):122-132.

Chitsazan, M., Nozarpour, L. and Movahedian, A. 2017. Impact of artificial recharge on groundwater recharge estimated by groundwater modeling (case study: Jarmeh flood spreading, Iran). Water Resour. Manag. 4:79–89

Ghazaw, Y.M., Ghumman, A.R., Al-Salamah, I. and Khan, Q.U.Z. 2014. Investigations of Impact of Recharge Wells on Groundwater in Buraydah by Numerical Modeling. Arab J Sci Eng. 39(2):713–724.

Hasan, A, and Rasheed, A.M.M. 2006. Using computer systems to predict the changes in groundwater elevations due to recharge from rainwater harvesting. Sustainability of Groundwater Resources and its Indicators. Brazil.78-87.

Karim, I.R. and ABbdali, A.M. 2017. Artificial recharge of groundwater by injection wells (Case Study). International Journal of Scientific Engineering and Technology Research. 31(6): 6193-6196.

Zhou, Y. and Li, W. 2011. A review of regional groundwater flow modeling. GeoScience Frontiers. 2(2): 205-214.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 14, Agu.-Sept. 2020, p. 981-992

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۴، مرداد - شهریور ۱۳۹۹، ص. ۹۹۲-۹۸۱

Investigation of the Artificial Recharge Effect by Injection Well on the Level of Unconfined Aquifer Using the MODFLOW Model (Case Study: Birjand Plain)

F. Poursalehi[1], A. Akbarpour[2*], S.R. Hashemi[3]
Recived: Jan.06, 2020 Accepted: Mar.13, 2020

Abstract

According to the reduction of water level in many aquifers of Iran due to irregular extractions from these sources, implementation of the restoration and balancing plan for aquifer management is important particularly in arid and semi-arid regions. Artificial recharge by injection well is one of the management strategies available in this projectthat directly stores water in aquifers. The purpose of this study was to investigate the effect of injection wells on the unconfined aquifer of Birjand plain using MODFLOW-2000 numerical model in unsteady state conditions andbased on injection ofthe annual runoff volume of the plain. In this regard, information about hydrodynamic characteristics of aquifer including hydraulic conductivity and specific yield, observation wells, extraction wells, aquifer surface recharge, top elevation of aquifer, bedrock and drainage was prepared then level of aquifer with The MODFLOW-2000 model was simulated in GMS 7.1 in steady state and saturated environment during 2010-2011. After simulation, the model was calibrated by manual calibration method and the results of steady state was entered as inputof unsteady model and was validated in the 2011-2012period. At the end, artificial recharge management scenario was added to the model by injection well method with using 20 wells with discharge equal to 1909.61 m^3/day in one year. The validation results show the model's ability to simulate water level under unsteady conditions. Also, simulation of artificial recharge plan with injection wells showed that by applying this scenario, the level of water in all observation wells will increase on average 77 cm.

Keywords: GMS7.1 Software, Injection Well, MODFLOW-2000 Model, Reconstruction and Balance Production Plan, Water Table

1- Ph.D. Student ,Water Resources Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
2- Associate Professor Department of Civil Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
3- Assistant Professor Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
(*- Corresponding Author Email: Akbarpour@birjand.ac.ir)