امکان‌سنجی استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت دهلران با استفاده از مدل MODFLOW

شعله قبادی علمداری[1*]، اصغر اصغری‌مقدم[1] و علی‌اکبر شهسواری[2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۴)

چکیده

استفاده ناهماهنگ از منابع آب سطحی و زیرزمینی، باعث ایجاد بحران در یکی از این منابع می‌شود. برداشت تلفیقی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک راهکاری علمی و عملی در راستای مدیریت پایدار منابع آب است. هدف اصلی این پژوهش شبیه‌سازی سیستم هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت دهلران است، سپس روی مدل ساخته شده سناریوهای مدیریتی استفاده تلفیقی اعمال شد و اثرات آن روی تغییرات ذخیره آبخوان بررسی شد. در این راستا سیستم جریان آب زیرزمینی دشت دهلران در محیط نرم‌افزار GMS 9.1 با استفاده از کد MODFLOW شبیه‌سازی شد و اطلاعات رودخانه نیز در آن وارد شد. از شرایط متوسط سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ برای شبیه‌سازی حالت ماندگار استفاده شد. سپس با استفاده از آن مدل از مهر ۸۹ تا شهریور ۹۰ در حالت غیر ماندگار در چهار دوره تنش و هر دوره تنش در سه گام زمانی واسنجی شد و پس از بهینه‌سازی پارامترهای هیدروژئولوژیکی، مدل برای سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ صحت‌سنجی شد. پس از واسنجی مدل در شرایط غیر ماندگار مقادیر خطای میانگین، خطای میانگین مطلق و مجذور مربعات خطاهای اندازه‌گیری شده در پیزومترها به‌ترتیب ۰/۲۴-، ۰/۴۶ و ۰/۶۵ به‌دست آمد. نتایج حاصل از صحت‌سنجی توانایی مدل را در شبیه‌سازی شرایط حاکم بر آبخوان تأیید کردند. سرانجام اعمال سناریوهای مختلف نشان داد که استفاده تلفیقی صحیح از منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌تواند سبب افزایش ذخیره آبخوان تا حدود ۲/۲۳ میلیون مترمکعب در سال شود.

واژه‌های کلیدی: دشت دهلران، استفاده تلفیقی، شبیه‌سازی، GMS 9.1

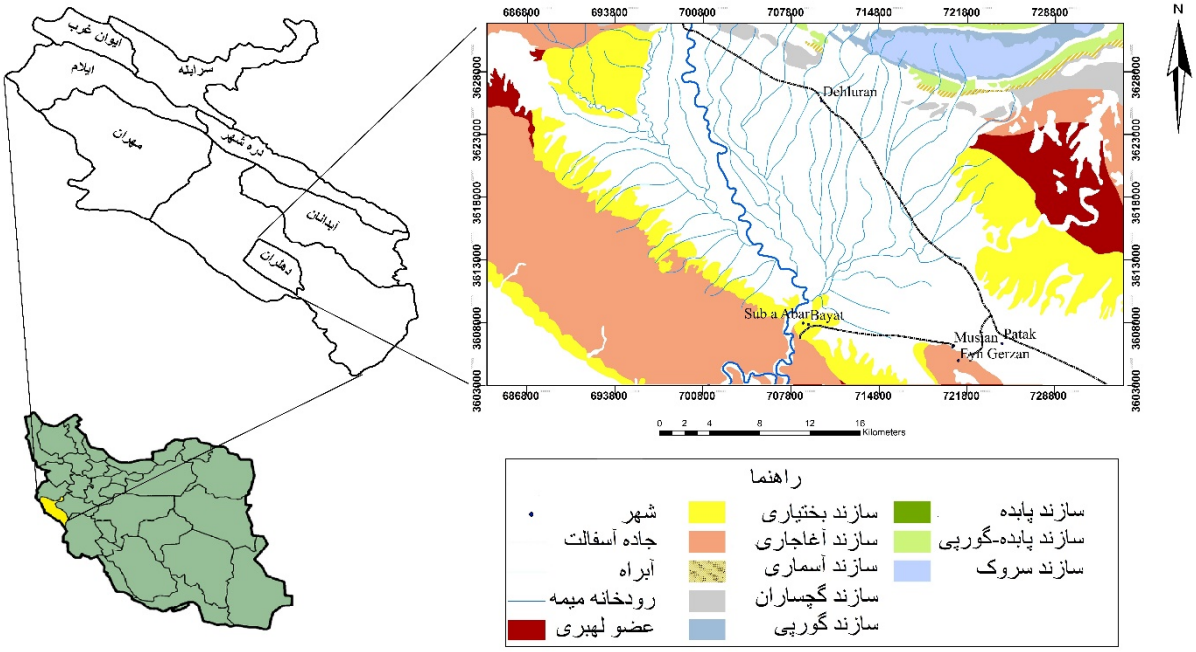
۱. گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲. پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sholeh.ghobadi@yahoo.com

مقدمه

مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی یک ابزار مدیریتی مناسب برای مدیریت و یافتن راه‌حل‌هایی برای مسائل پیچیده حوضه‌های آبریز است. مدل‌های آب زیرزمینی در سطح جهانی و به‌طور گسترده‌ای برای درک سیستم آب زیرزمینی و اتخاذ تصمیم‌هایی برای مدیریت منابع آب و محافظت در برابر آلودگی استفاده می‌شوند (۱۰). در بیشتر موارد کمبود منابع آب سطحی سبب بهره‌برداری بیشتر از آب زیرزمینی می‌شود. آب زیرزمینی می‌تواند به‌صورت بهینه‌ای هماهنگ با منابع آب سطحی و در یک سیستم استفاده تلفیقی مورد بهره‌برداری قرار گیرد. استفاده تلفیقی از آب سطحی و زیرزمینی یکی از روش‌های بسیار مؤثر در مدیریت منابع آب است که در موارد متعددی به‌کار می‌رود، مثلاً زمانی که تقاضا برای آب آبیاری افزایش یافته ویا زمانی که منابع آب سطحی ناکافی است (۸). اخیراً مدل‌های جریان آب زیرزمینی با تکنیک‌های بهینه‌سازی نیز ترکیب شده‌اند تا استراتژی‌های مدیریت منابع آب را تعیین کنند که با این کار بهترین نقطه اشتراک مجموعه‌ای از اهداف و شرط‌های مدیریتی به‌دست می‌آید (۱).

تا کنون پژوهشگران زیادی با استفاده از مدل‌سازی آبخوان‌ها، سناریوهای مدیریتی مختلف را روی یک دشت اعمال کرده‌اند. چیت‌سازان و ساعت‌ساز (۴) ضمن مدل‌سازی آبخوان دشت رامهرمز با استفاده از مدل MODFLOW گزینه‌های مختلف مدیریت بهینه آبخوان را مورد بررسی قرار دادند. شبیه‌سازی آبخوان نشان داد که چنانچه ۳۳ حلقه چاه عمیق با دبی ۱۵۵۵ مترمکعب در روز حفر شود، ضمن استحصال ۸/۸۹ میلیون مترمکعب آب در سال می‌توان بالاآمدگی سطح آب در پائین‌دست مسیر جریان (شمال غرب و غرب دشت) را کاهش داده یا متوقف کرد، و از مشکلات ناشی از بالا بودن سطح آب زیرزمینی در دشت به‌میزان زیادی کاست. چو و همکاران (۶) در تحقیقی به‌منظور بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر رژیم جریان زیرزمینی حوضه رودخانه روآنوک، در آمریکا هشت سناریو تغییر کاربری اراضی تدوین و تأثیر آنها را روی تراز آب زیرزمینی با استفاده از مدل MODFLOW بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد توسعه اراضی کشاورزی، بیشترین تأثیر را روی تراز سطح آب زیرزمینی دارد و همچنین با توسعه اراضی غیر قابل نفوذ سطح آب زیرزمینی بیشترین کاهش را نشان می‌دهد. چو و همکاران (۷) از مدل‌های آب زیرزمینی مثل MODFLOW و MT3D به‌جای شبیه‌سازی یکپارچه DANSAT در زیرحوضه QN ۲ در حوضه آبریز نامینی کریک (NC) در ویرجینیا استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش به‌هم پیوسته (استفاده از MODFLOW و MT3D) پیش‌بینی امتداد جریان پایه را در مقایسه با روش یکپارچه DANSAT با افزایش شاخص راندمان Nash-Sutcliffe از ۰/۵۳ به ۰/۶۰ بهبود داده است.مهدوی و همکاران (۱۲) دشت همدان- بهار را با استفاده از مدل PMWIN شبیه‌سازی کرده و مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده از گزینه اصلاح الگوی کشت، نشان داد که میزان مصرف آب در الگوی پیشنهادی نسبت به الگوی موجود ۱۱/۷ درصد کاهش می‌یابد و موجب صرفه‌جویی به‌میزان ۱۸/۲ میلیون متر مکعب در سال می‌شود. چیت‌سازان و همکاران (۵) به‌منظور پیش‌بینی اثر متقابل آبخوان- رودخانه در دشت دوسلق استان خوزستان، این دشت را با استفاده از MODFLOW شبیه‌سازی کردند و سپس سناریوهای مختلف شامل افزایش برداشت آب از آبخوان، کاهش تغذیه ناشی از خشکسالی و افزایش تغذیه به‌دلیل ترسالی را بر آن اعمال کردند. نتایج نشان داد که بیلان بخشی مدل دشت دوسلق در سال آبی ۸۸-۸۷ به‌میزان ۱۲ میلیون مترمکعب منفی است. هیوز و همکاران (۹) از کد SWR (surface water routing) به‌صورت ترکیب شده با کد MODFLOW برای شبیه‌سازی منطقه اسنپر کریک در فلوریدا استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از شبیه‌سازی ترکیبی با SWR-MODFLOW باعث افزایش دقت سناریوهای ارزیابی شده توسط برکفیلد و همکاران (۳) شد.

پارسا صدر و همکاران (۱۵) به‌منظور بررسی سیستم



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان ایلام

جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت رواب سبزوار و تأثیر احداث سد رواب بر آن، مدل آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت رواب سبزوار را با استفاده از کد MODFLOW در محیط نرم‌افزار GMS در صورت وجود و نبود سد رواب شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که در صورت احداث سد رواب سبزوار، سطح ایستابی آبخوان دشت رواب بیشتر افت خواهد کرد.

هدف اصلی این پژوهش شبیه‌سازی سیستم هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت دهلران است، سپس روی مدل ساخته شده سناریوهای مدیریتی استفاده تلفیقی اعمال شد و اثرات آن روی تغییرات ذخیره آبخوان بررسی شد. در این راستا از نرم‌افزار GMS 9.1 برای مدل‌سازی دشت دهلران استفاده شده است. GMS واسط گرافیکی جامعی است که به‌منظور شبیه‌سازی آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود و شامل تعدادی از کدهای تجزیه و تحلیل از جمله MODFLOW، MODPATH، MT3DMS، RT3D، ART3D، SEAM3D، UTCHEM است. این نرم‌افزار توسط آزمایشگاه تحقیقات محیط زیست دانشگاه بریگام یونگ و با مشارکت بخش مهندسی آب ارتش آمریکا توسعه داده شده است.

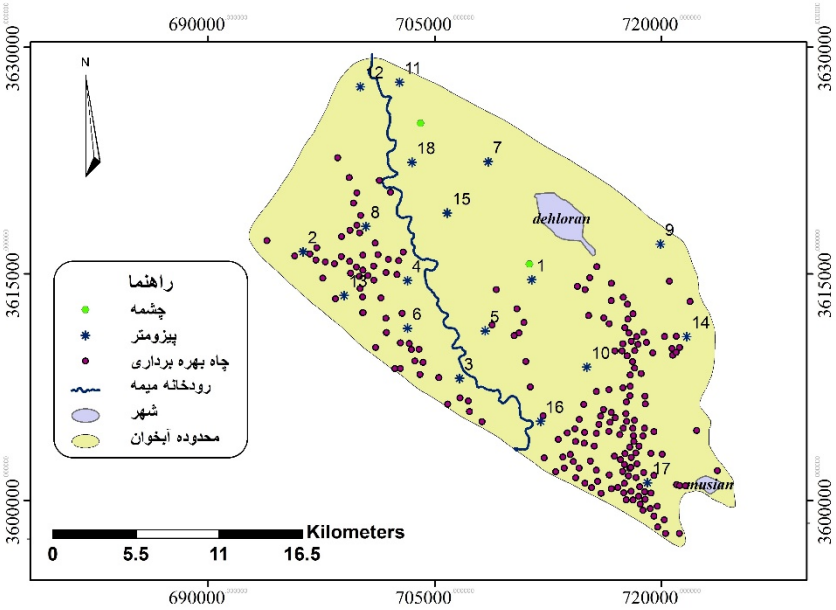
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت دهلران در استان ایلام و در حدود تقریبی عرض جغرافیائی ′ ۳۰ °۳۲ تا ′ ۴۵ °۳۲ شمالی و طول جغرافیایی ′ ۰۰ °۴۷ تا ′ ۲۵ °۴۷ شرقی واقع شده است (شکل ۱). مساحت کل محدوده مورد مطالعه ۲۷۲۹ کیلومتر مربع و مساحت ارتفاعات و دشت به‌ترتیب ۲۱۸۰ و ۵۴۹ کیلومتر مربع است. دشت دهلران به‌صورت یک ناودیس انباشته از نهشته‌های آبرفتی است که بین تاقدیس سیاه‌کوه در شمال و شمال شرق آن، تاقدیس اناران در شمال غرب و تاقدیس دهلران در جنوب و جنوب غرب قرار دارد.

یک رودخانه اصلی به نام رودخانه میمه در دشت دهلران جریان دارد که طول آن از سرچشمه آن تا محل خروجی از دشت دهلران، حدود ۱۶۰ کیلومتر است (۱۶). آب این رودخانه بعد از خروج از دشت دهلران از ایران خارج شده و به کشور عراق وارد می‌شود. رودخانه میمه از هر دو طرف آبخوان دهلران را زهکشی می‌کند (۱۷).

برای مدل‌سازی دشت دهلران از داده‌های سطح آب



شکل ۲. موقعیت چاه‌های پیزومتری و منابع آب در محدوده دشت دهلران

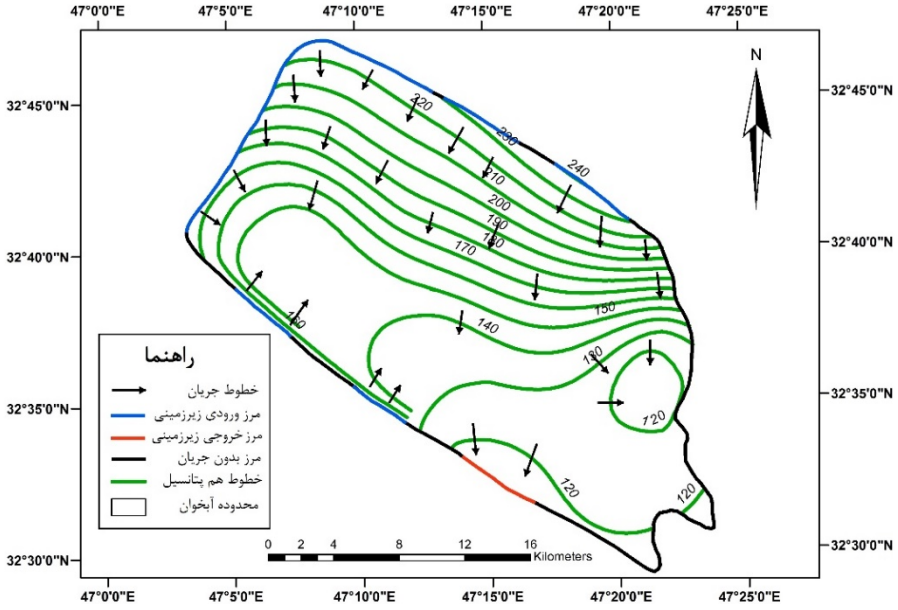
چاه‌های مشاهداتی (شکل ۲) مربوط به سال آبی ۹۰-۸۹ و نیز داده‌های ژئوفیزیک، هیدروژئولوژیک و هیدرولیکی آبخوان استفاده شد. بر اساس اطلاعات ژئوفیزیک این آبخوان از نوع آزاد و یک لایه است. برای تعیین میزان نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت دهلران، هیدروگراف واحد پنج ساله دشت از سال آبی ۸۶-۸۵ تا ۹۰-۸۹ رسم شد. با توجه به هیدروگراف رسم شده، تراز سطح آب زیرزمینی در سال آبی ۹۰-۸۹، ۰/۴۷ متر افت داشته است که نشان‌دهنده برداشت زیاد از آب زیرزمینی و تغذیه نامناسب آبخوان است.

تهیه مدل مفهومی آبخوان

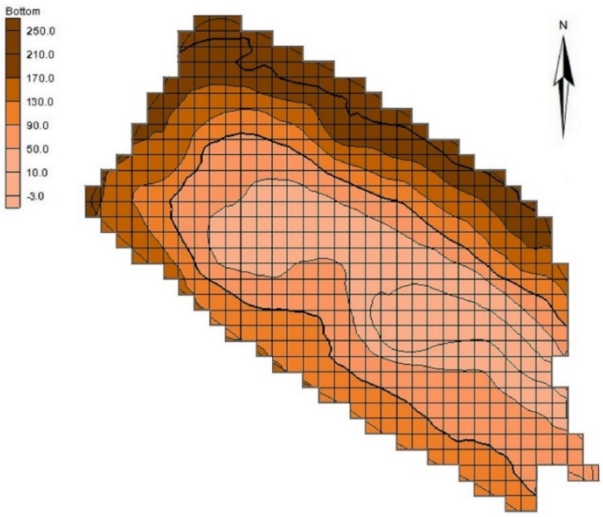
یک مدل مفهومی در واقع نمایانگر طبیعت سیستم آب‌های زیرزمینی، ورودی و خروجی‌های آبخوان، شرایط زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی و ژئوتکتونیکی آن است. طبیعتاً مدل مفهومی می‌بایست بر اساس مطالعات پایه و کامل آب‌های زیرزمینی منطقه انجام شود (۲). در تهیه مدل مفهومی آبخوان دهلران، مقادیر بارش و برداشت از آبخوان، منابع بهره‌برداری، داده‌های آزمایش پمپاژ، مرزهای فیزیکی مانند سنگ کف و حدود آبخوان، مرزهای هیدرولیکی آبخوان مانند سطح ایستابی به‌صورت لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار GIS تهیه و به فرمت قابل قبول برای MODFLOW تبدیل شد. در شکل (۳) نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی و مرزهای ورودی و خروجی مدل در سال آبی ۹۰- ۸۹ نشان داده شده است. در شکل (۴) تراز سنگ کف آبخوان با توجه به اطلاعاتی که توسط شرکت مهاب قدس و از روی مطالعات ژئوفیزیکی گردآوری شده، تهیه شده است. در راستای تهیه مدل مفهومی آبخوان، بیلان آبی آبخوان در سال آبی ۹۰-۸۹ (جدول ۱) تهیه شد. بر اساس اطلاعات این جدول به‌میزان ۱۲/۸۹ میلیون مترمکعب آب در این سال از حجم آب آبخوان کاسته شده است.

اجرای مدل و واسنجی آن در شرایط ماندگار و غیر ماندگار

بعد از تهیه مدل مفهومی و شبکه‌بندی مدل تمام داده‌ها و شرایط اولیه به مدل وارد شد. با استفاده از آمار مربوط به پیزومترهای دشت ابتدا شبکه تیسن و هیدروگراف معرف دشت ترسیم و با توجه به صحت داده‌ها متوسط سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ به‌عنوان شرایط پایدار انتخاب شد. پس از تنظیم مدل بر اساس مدل مفهومی و بیلان آبی تهیه شده، مدل برای شرایط ماندگار اجرا شد. مهم‌ترین مرحله در مدل‌سازی که نتایج نهایی مدل را تحت



شکل ۳. نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی در سال آبی ۹۰ـ ۱۳۸۹ (m)



شکل ۴. تراز سنگ کف آبخوان (m)

جدول ۱. بیلان آب زیرزمینی دشت دهلران در سال آبی ۹۰- ۱۳۸۹

عوامل تغذیه (MCM)		عوامل تخلیه (MCM)	
تغذیه از ریزش‌های جوی	۱۳/۱۱	تخلیه از تبخیر	۰/۴۶
تغذیه از جریان‌های ورودی زیرزمینی	۵۸/۱۷	تخلیه از جریان‌های خروجی زیرزمینی	۳/۹۵
آب نفوذی از جریان‌های سطحی و سیلاب‌ها	۱۰/۹۵	تخلیه به رودخانه میمه	۴۱/۷۷
تغذیه از آب برگشتی چاه‌های بهره‌برداری	۱۷/۲۹	تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری	۶۶/۰۲
تغذیه از آب برگشتی چشمه‌ها	۰/۰۵	تخلیه از چشمه‌ها	۰/۲۵
مجموع عوامل تغذیه	۹۹/۵۷	مجموع عوامل تخلیه	۱۱۲/۴۵
تغییرات حجم مخزن (MCM)			-۱۲/۸۹

کنترل دارد و دقت و صحت مدل مرهون انجام صحیح آن است، مرحله واسنجی مدل است. در این مطالعه از دو روش واسنجی خودکار و دستی استفاده شده است. در روش خودکار از بهینه کردن تابع هدف استفاده می‌شود که در واقع تابع خطای مدل از روی تفاوت بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار هیدرولیکی است. برای واسنجی خودکار در نرم‌افزار GMS، بسته نرم‌افزاری PEST در نظر گرفته شده است که با استفاده از یکسری قیود تابع هدف را کمینه می‌کند (۱۳). پس از انجام واسنجی دستی، واسنجی خودکار صورت گرفت که انطباق قابل قبولی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده بار هیدرولیکی ملاحظه شد.

برای تنظیم مدل غیر ماندگار، قبل از تبدیل مدل مفهومی بایستی دوره تنش‌ها را تنظیم و به مدل وارد کرد. MODFLOW گسسته‌سازی زمانی را با استفاده از دوره‌های تنش و گام‌های زمانی انجام می‌دهد. در این مطالعه با توجه به اینکه آمار و اطلاعات اندازه‌گیری شده از دشت به‌صورت ماهانه بوده، دوره یک‌ساله واسنجی مدل (سال آبی ۹۰- ۸۹) به چهار استرس پریود و هر پریود به سه گام زمانی تقسیم‌بندی شد. در شرایط غیر ماندگار، علاوه بر داده‌های ذکر شده در شرایط ماندگار، اطلاعات مربوط به‌میزان آبدهی ویژه نیز بایستی به مدل وارد شود. برای حالت غیر ماندگار شرایط اولیه آبخوان ابتدای پاییز ۸۹ در نظر گرفته شد و سپس مدل در حالت غیر ماندگار و در ۱۲ گام زمانی اجرا شد. پس از اجرای مدل در شرایط غیر ماندگار، واسنجی آن به‌صورت دستی و خودکار برای دوره‌های تنش مذکور انجام شد.

آنالیز حساسیت مدل

آنالیز حساسیت، مطالعه پاسخ سیستم به تغییرات پارامترهاست و در حال حاضر به‌عنوان یک بخش مهم در فرایند مدل‌سازی شناخته شده است (۱۱). هدف از تحلیل حساسیت آن است که مشخص شود کدام پارامترها در پیش‌بینی رفتار سامانه آبخوان تأثیر بیشتری دارند. بدین منظور تأثیر تغییرات کوچک پارامترها در نتایج مدل به‌صورت کمّی بیان می‌شود. اگر پارامترها به‌ترتیب اثر آنها در پیش‌بینی نتایج مدل مرتب شوند، مشخص می‌شود که برای کاهش اثر عدم قطعیت‌ها در مدل‌سازی، کدام پارامترها باید با دقت بیشتری برآورد شوند. در نرم‌افزار GMS، در حین اجرای واسنجی اتوماتیک، با هر بار تکرار PEST، ضریب حساسیت هر پارامتر مورد واسنجی محاسبه و اطلاعات مربوط به آن در یک فایل متنی ذخیره می‌شود در هر مرحله می‌توان نمودار مربوط به مقادیر ضریب حساسیت مدل نسبت به پارامترهای مورد واسنجی را با استفاده از نرم‌افزار ایجاد کرد.

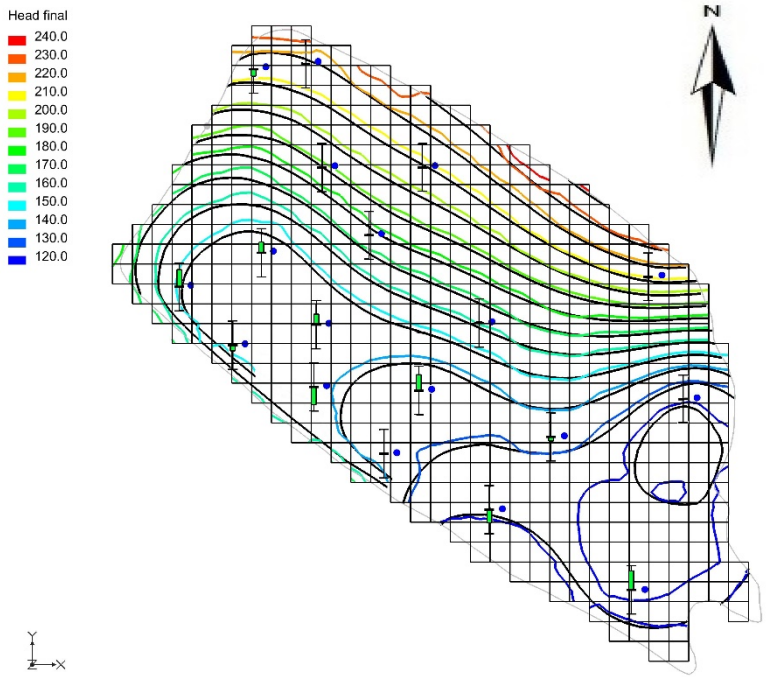
صحت‌سنجی مدل

به‌منظور صحت‌سنجی مدل در این مطالعه بازه زمانی ۹۱- ۱۳۹۰ برای اجرای مدل در شرایط غیر ماندگار با در نظر گرفتن دوره‌های تنش فصلی انتخاب شد.

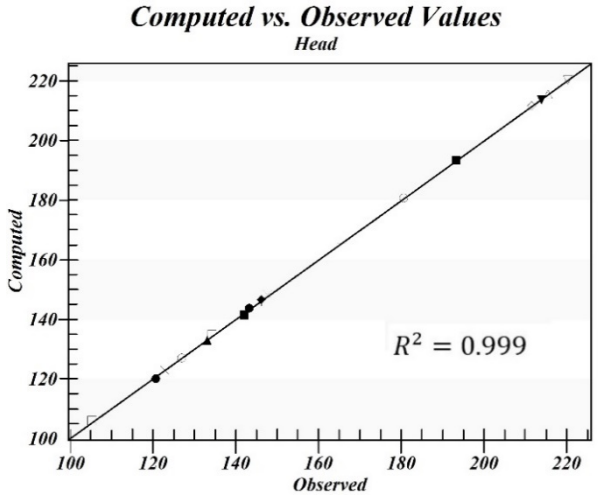
استفاده تلفیقی از آب سطحی و زیرزمینی

استفاده تلفیقی از آب سطحی و زیرزمینی به‌صورت استفاده ترکیبی از منابع آب سطحی و زیرزمینی تعریف می‌شود که برای استفاده بهینه از کل منابع آب در دسترس مورد استفاده قرار می‌گیرد (۹). منافع این روش شامل، کاهش نیاز به استفاده از منبع آب اضافی، کاهش میزان افت سطح آب زیرزمینی و کاهش میزان تبخیر از منابع آب سطحی است (۶).

تا ۵۰ سال اخیر، برنامه‌ریزی برای مدیریت و توسعه آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌صورت مجزا صورت می‌گرفت و آنها به‌صورت سیستم‌های نامرتبط در نظر گرفته می‌شدند. با این حال اثرات متقابل آنها بر هم بسیار مشهود بود. تنها در سال‌های اخیر است که استفاده تلفیقی از آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌عنوان یک موضوع مهم در مدیریت منابع آب در نظر گرفته می‌شود. در مجموع اگر منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌صورت یک سیستم یکپارچه به‌درستی مدیریت شوند، مقدار آب بیشتر و اقتصادی‌تری را نسبت به مدیریت مجزای آب سطحی و زیرزمینی نتیجه خواهد داد (۷).



شکل ۵. (رنگی در نسخه الکترونیکی) مقایسه سطح آب مشاهداتی مشکی و محاسباتی رنگی در حالت ماندگار



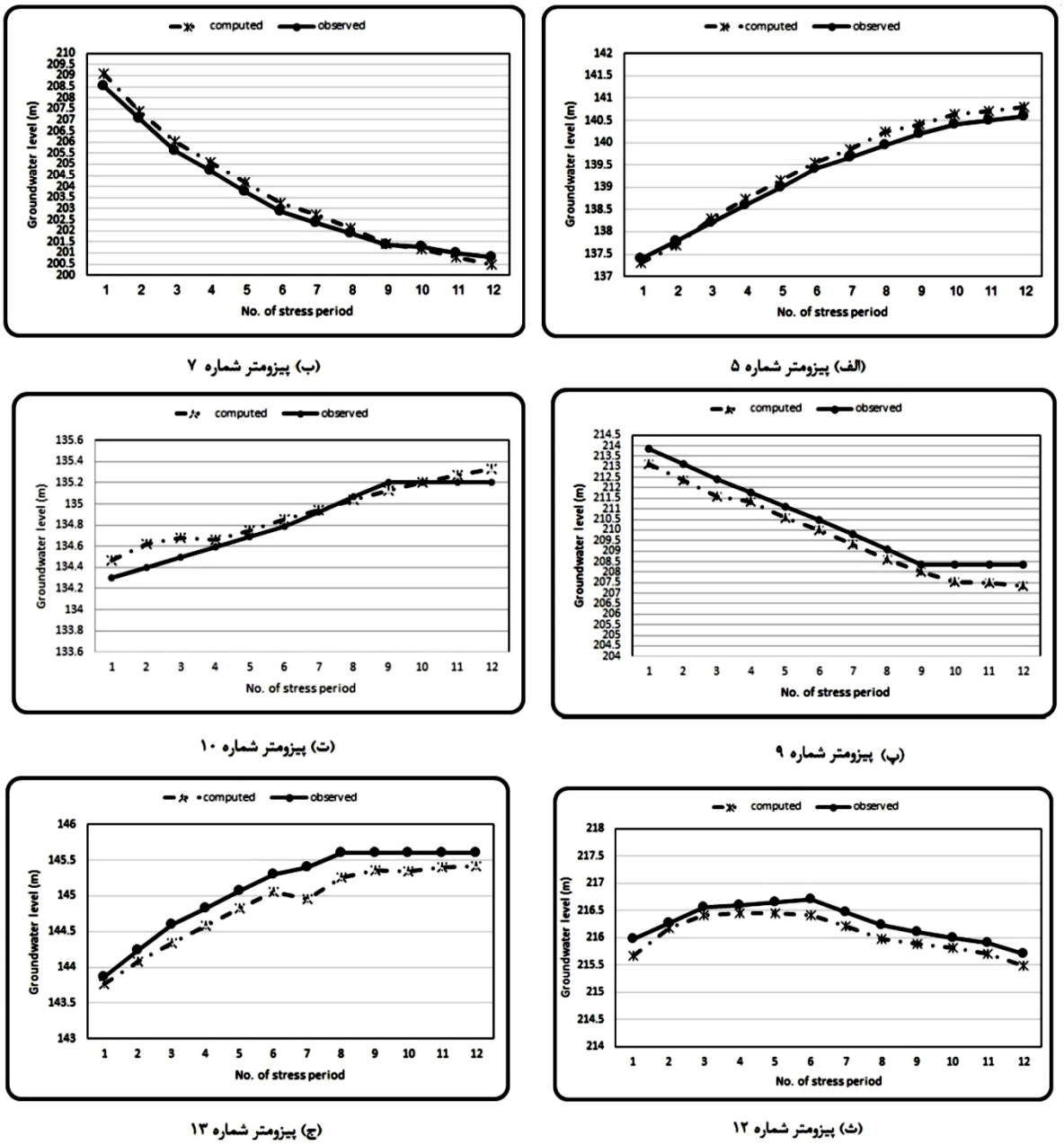
شکل ۶. نمودار بار هیدرولیکی مشاهده‌ای در مقابل بار هیدرولیکی محاسبه‌ای در حالت ماندگار

نتایج و بحث

نتایج اجرای مدل و واسنجی آن در شرایط ماندگار و غیر ماندگار

در شکل (۵) و (۶) به‌ترتیب، تراز سطح آب زیرزمینی و مقایسه بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی در حالت پایدار نشان داده شده است. از مقایسه خطوط تراز مشاهداتی و محاسباتی و با توجه به اینکه ضریب همبستگی (R^2) به عدد یک نزدیک است می‌توان نتیجه گرفت که انطباق قابل قبولی در بیشتر بخش‌های آبخوان وجود دارد.

پس از انجام واسنجی خودکار برای حالت ماندگار مجذور مربعات خطا برای مدل ۰/۴ متر به‌دست آمد که بیانگر انطباق خوب مقادیر سطح آب مشاهداتی- محاسباتی است. برای مطالعه بهتر نتایج به دست آمده از واسنجی مدل در حالت غیر



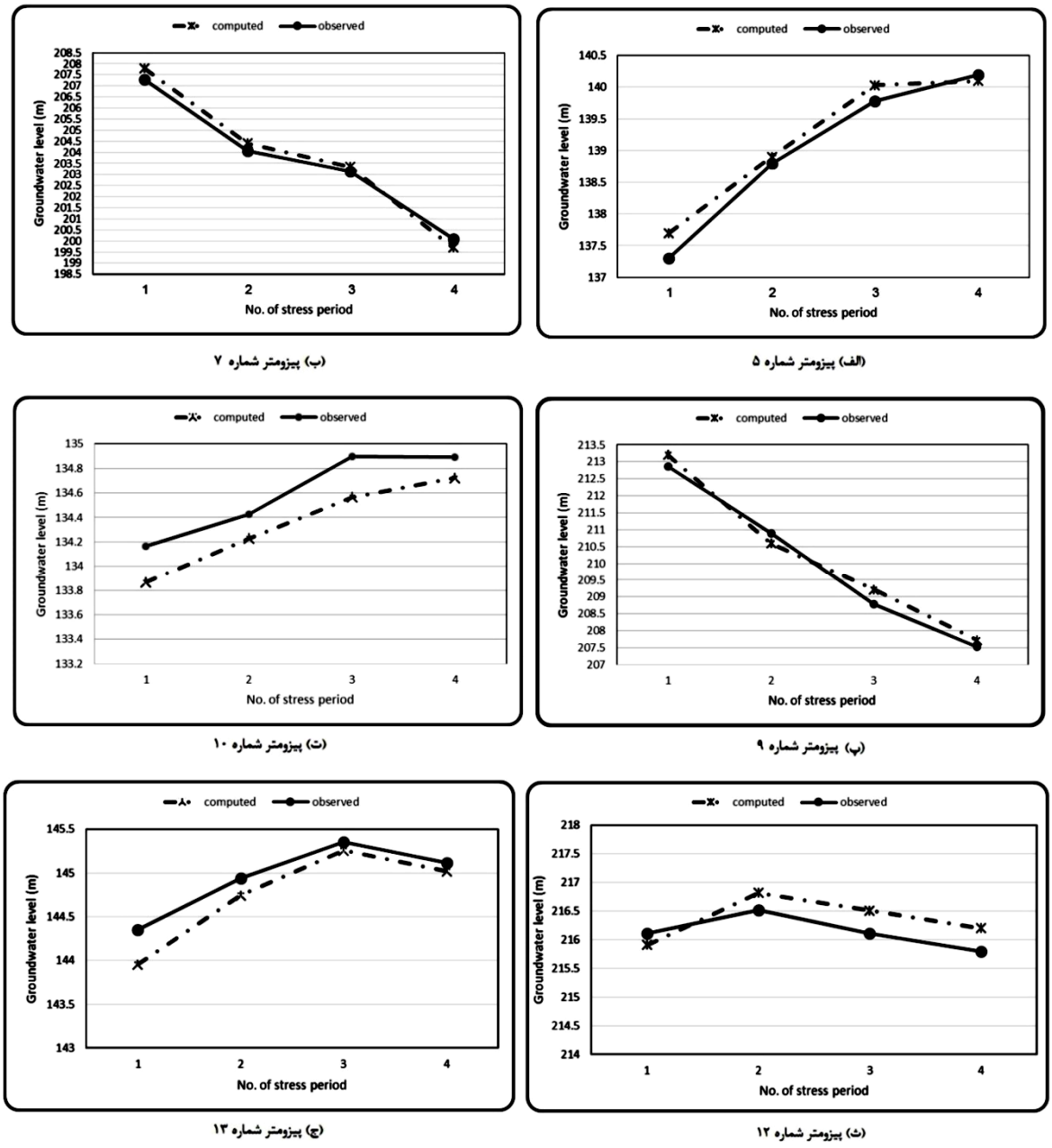
شکل ۷. مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تعدادی از پیزومترها بعد از واسنجی مدل در شرایط غیر ماندگار

ماندگار، مقادیر مشاهداتی و محاسباتی سطح آب زیرزمینی برای تعدادی از پیزومترهای موجود در دشت در شکل (۷) آورده شده است. پس از واسنجی مدل در شرایط غیر ماندگار مقادیر خطای میانگین، خطای میانگین مطلق و مجذور مربعات خطاهای اندازه‌گیری شده در پیزومترها به‌ترتیب ۰/۲۴-، ۰/۴۶ و ۰/۶۵ به‌دست آمد.

برای مطالعه نتایج به‌دست آمده از مرحله صحت‌سنجی نمودار مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی سطح آب زیرزمینی تعدادی از پیزومترها در شکل (۸) نشان داده شده است. این نمودارها نشان می‌دهند که مدل حاصله توانسته شرایط حاکم بر آبخوان را به‌درستی شبیه‌سازی کند.

سناریوهای مختلف استفاده تلفیقی در نظر گرفته شده در این تحقیق به‌ترتیب در زیر آورده شده است.

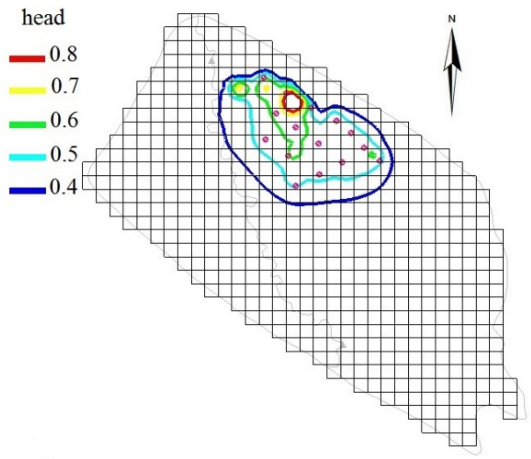
۱) سناریوی برداشت آب از آبخوان در مناطق شمالی دشت



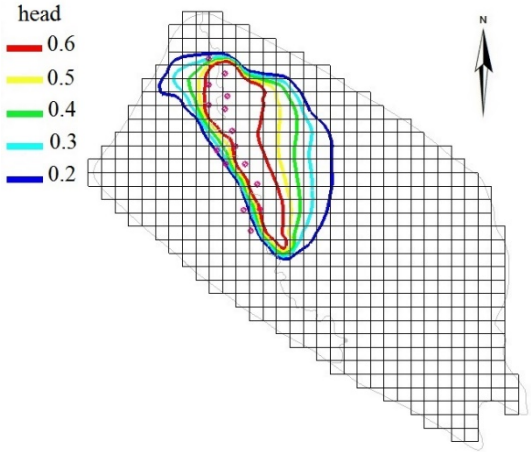
شکل ۸. مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تعدادی از پیزومترها در مرحله صحت‌سنجی برای سال آبی ۹۱-۱۳۹۰

که چاه‌های بهره‌برداری تمرکز کمتری دارند. در این مناطق تعداد ۱۵ حلقه چاه بهره‌برداری با دبی متوسط چاه‌های بهره‌برداری یعنی ۷۷۱ مترمکعب در روز برداشت از هر چاه و با برداشت در فصول آبیاری به آبخوان اضافه شد تا میزان افت آب آبخوان در این حالت بررسی شود. با استفاده از مادفلو حجم آب آبخوان نسبت به شرایط بدون اعمال سناریو به‌میزان ۳/۸۴ میلیون متر مکعب در سال کاهش نشان داد. در اشکال (۹، ۱۰ و ۱۱) موقعیت چاه‌های منظور شده در هر سناریو و میزان افت یا افزایش سطح آب زیرزمینی نسبت به شرایط بدون اعمال سناریو نشان داده شده است.

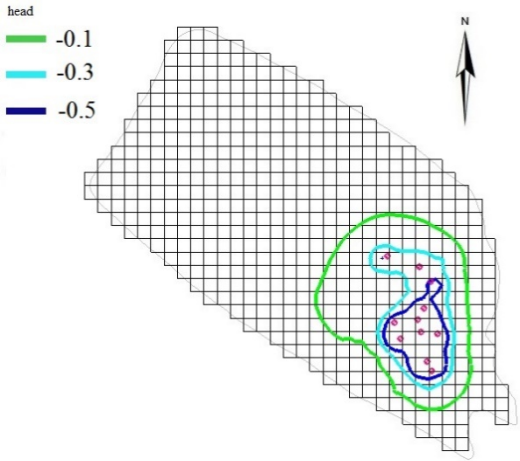
۲) سناریوی تغییر موقعیت چاه‌های برداشت آب اضافه شده در سناریوی اول به نزدیکی رودخانه. در این سناریو چاه‌های بهره‌برداری که در سناریوی اول به دشت اضافه شده بودند به نزدیکی رودخانه منتقل شدند تا تغییرات ذخیره آب زیرزمینی و



شکل ۹. (رنگی در نسخه الکترونیکی) نقشه هم‌افت آب زیرزمینی برای سناریوی اول در شهریور ۱۳۹۰ (m)



شکل ۱۰. (رنگی در نسخه الکترونیکی) نقشه هم‌افت آب زیرزمینی برای سناریوی دوم در شهریور ۱۳۹۰ (m)



شکل ۱۱. (رنگی در نسخه الکترونیکی) نقشه هم‌افت آب زیرزمینی برای سناریوی سوم در شهریور ۱۳۹۰ (m)

تبادل آب رودخانه و آبخوان در این شرایط بررسی شود. با استفاده از مادفلو برآورد شد که حجم آب آبخوان نسبت به شرایط بدون اعمال این سناریو به‌میزان ۳/۳۱ میلیون مترمکعب در سال کاهش یافته است. در واقع با انتقال چاه‌های برداشت به نزدیکی رودخانه مقداری از افت سطح آب زیرزمینی به‌دلیل کاهش خروج آب از آبخوان به رودخانه جبران شده است.

۳) سناریوی تأمین آب ۱۱ حلقه چاه بهره‌برداری از محل تبخیر آب آبخوان. در این سناریو در محلی که میزان افت سطح آب زیرزمینی بسیار بالا بود ۱۱ حلقه چاه بهره‌برداری که مجموع برداشت سالیانه از آنها برابر با میزان آب تبخیر شده از منطقه بود خاموش شدند تا آبی که قبلاً از این چاه‌ها حاصل می‌شد از محل تبخیر آب زیرزمینی تأمین شود. با اجرای مادفلو مشاهده شد که حجم آب آبخوان نسبت به شرایط بدون اعمال سناریو به‌میزان ۲/۲۳ میلیون مترمکعب در سال افزایش یافت. در جدول (۲) بیلان آب زیرزمینی دشت بعد از اجرای هر سناریو آمده است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج بیلان دشت دهلران برای سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ حجم آب آبخوان این دشت به میزان ۱۲/۸۹ میلیون متر مکعب

جدول ۲. بیلان آب زیرزمینی سناریوهای اجرا شده

سناریو	تغییرات سطح آب در انتهای شبیه‌سازی (m)	بیلان (MCM)
۱	کاهش سطح آب بین ۰/۴ تا ۰/۸	-۱۶/۷۲
۲	کاهش سطح آب بین ۰/۲ تا ۰/۶	-۱۶/۱۹
۳	افزایش سطح آب بین ۰/۱ تا ۰/۵	-۱۰/۶۵

کاسته شده است. در این سال آبی میزان ۳/۵ درصد تخلیه آب زیرزمینی از طریق جریان‌های خروجی زیرزمینی، ۳۷/۱۴ درصد تخلیه از طریق رودخانه میمه و ۵۸/۷۱ درصد حجم آب تخلیه شده از طریق چاه‌های بهره‌برداری و ۰/۶۳ درصد تخلیه از طریق چشمه‌ها و تبخیر صورت گرفته است. بیشترین میزان تغذیه از طریق جریان‌های ورودی زیرزمینی، به‌میزان ۵۸/۴۲ درصد، ۱۳/۱۶ درصد تغذیه از طریق ریزش‌های جوی، ۲۸/۴۱ درصد تغذیه نیز مربوط به آب برگشتی از چشمه‌ها و چاه‌های بهره‌برداری و آب نفوذی از جریان‌های سطحی و سیلاب‌ها بوده است. با توجه به نتایج اعمال سه سناریو، استفاده تلفیقی صحیح از آب سطحی و زیرزمینی (به‌طوری که اگر از آب رودخانه و آبی که در اثر تبخیر از دشت خارج می‌شود، استفاده شود) روش مناسبی برای اعمال در این دشت است تا از کاهش حجم آب آبخوان و افت سطح آب زیرزمینی جلوگیری شود. نتایج حاصل از این سناریو میزان افزایش حجم آب آبخوان را ۲/۲۳ میلیون مترمکعب در سال نسبت به شرایط بدون اعمال سناریو نشان داد. برای مطالعات تکمیلی در آینده پیشنهاد می‌شود:

کیفیت آب زیرزمینی در مناطق تبخیری بررسی شود که آیا این آب از لحاظ کیفی برای برداشت و استفاده در مناطق مورد نظر مناسب است و آیا امکان برداشت آب در این مناطق وجود دارد.

تعیین دقیق‌تر عمق سنگ کف آبخوان و ضرایب هیدرودینامیکی دشت با استفاده از مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی لازم صورت بگیرد.

منابع مورد استفاده

1. Ahlfeld, D. P., P. M. Barlow and A. E. Mulligan. 2005. GWM-A ground-water management process for the U.S. Geological Survey modular ground-water model (MODFLOW-2000): U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1072, 124 p, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
2. Anderson, M. P. and W. W. Woessner. 1992. Applied Groundwater Modeling, Academic Press, San Diego.
3. Brakefield, L., J. D. Hughes, C. D Langevin and K. Chartier. 2013. Estimation of Capture Zones and Drawdown at the Northwest and West Well Fields, Miami-Dade County, Florida, Using an Unconstrained Monte Carlo Analysis: Recent (2004) and Proposed Conditions. U.S. Geological Survey Open-File Report 2013-1086, Reston, Virginia.
4. Chitsazan, M. and M. Saatsaz. 2005. Application of the MODFLOW mathematical model in investigating different options for managing water resources in Ramhormoz plain. *Shahid Chamran University Journal of Science* 14(B): 2-15.
5. Chitsazan, M., Z. Javadchavoshi and H. R. Nassery. 2015. Prediction of the interaction of aquifer-river in Doslaq plain, Khuzestan province using MODFLOW, *Iranian Water Research Journal* 19: 139-147.
6. Cho, J., V. A. Barone and S. Mostaghimi. 2008. Simulation of land use impacts on groundwater levels and streamflow in a Virginia watershed. *Agricultural Water Management* 96(1): 1-11.
7. Cho, J., S. Mostaghimi and M. S. Kang. 2010. Development and application of a modeling approach for surface water and groundwater interaction. *Agricultural Water Management* 97: 123-130.
8. De Wrachien D. and Fasso C. 2002. "Conjunctive use of surface and groundwater: Overview and perspective" Irrigation and Drainage, Vol. 51.1, pg 1-15. Irrigation and Drainage, John Wiley & Sons.
9. Hughes, J. D., C. D. Langevin and J. T. White. 2015. Modflow-based coupled surface water routing and groundwater-flow simulation. *Groundwatre* 53(3): 452-463.
10. Khare, D., M. K. Jat and J. D. Sunder. 2007. Assessment of water resources allocation options: Conjunctive use planning in a link canal command. *Resources, Conservation and Recycling* 51(2): 487-506.

11. Kinzelbach, W. 1986. Groundwater Modelling: An Introduction with Sample Programs in BASIC. Elsevier Science Publisher B.V., USA.
12. Mahdavi, M., B. Farokhzadeh, A. Salajeghe, A. Malakian and M. Souri. 2013. Simulation of Hamedan- Bahar aquifer and investigation of management scenarios by using PMWIN, *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi)* 98: 108-116.
13. Mazzilli, N., V. Guinot and H. Jourde. 2010. Sensitivity analysis of two-dimensional steady-state aquifer flow equations. Implications for groundwater flow model calibration and validation. *Advances in Water Resources* 33: 905-922.
14. Middlemis Hugh. 2000. Groundwater flow modeling guideline. Project No. 125. Final Guideline – Issue I. 133 p. Aquaterra Consulting Pty Ltd., Western Australia.
15. Parsa Sadr, H., H. Mohammadzadeh, H. R. Nassery. 2016. Numerical simulating of Sabzevar Roudab aquifer and checking influences of constructing Sabzevar Roudab dam on it. *Journal of Water and Soil Conservation* 23(1): 119-135.
16. Regional Water Company of Ilam. 2009. Report of Semi-Detailed Studies of Groundwater of Dehloran Plain, 3rd Volume. Report of Water Company of Ilam, Ilam, Iran.
17. Regional Water Company of West, Ilam State Water Administration, Department of Statistics and Basic Information on Water Resources. 2005. Report of Groundwater of Dehloran Plain (water years: 1991-92 to 2000-2001) Report of Regional Water Company of West , Ilam, Iran.
18. Wheater Howard, S., A. Mathias Simon and X. Li. 2010. Groundwater Modeling in Arid and Semi-Arid Areas, Cambridge University Press, New York.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) Vol. 23, Special Issue of Flood and Soil Erosion, Winter 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Feasibility of the Conjunctive Use of Surface and Groundwater Resources in Dehloran Plain by Using the MODFLOW Model

Sh. Ghobadi Alamdari[1]*, A. Asghari Moghaddam[1] and A. A. Shahsavari[2]

(Received: December 5-2017; Accepted: June 25-2018)

Abstract

Lack of the proper conjunctive use of surface and groundwater resources causes large water stresses in one of these resources. Conjunctive use of surface and groundwater, especially in arid and semi-arid regions, is a scientific and practical solution for sustainable water resources management. The aim of this research was to prepare some mathematical modeling to apply the conjunctive use of surface and groundwater in the Dehloran plain aquifer. In this study, the mathematical model of the Dehloran plain aquifer was developed using GMS 9.1 and the river data were entered. For the steady state condition, the time series data in the average year 2010-2011 were utilized. In the next step, the time series data from October, 2010, to September, 2011, were used for the unsteady state analysis. In the unsteady state, four stress periods were taken; then the model calibration was carried out in three steps for each stress period; after the optimization of the hydrogeological parameters of the model, its verification was done for the period of 2011-2012 period. After the calibration of the model in the unsteady state, the values of the mean error (ME), the mean absolute error (MAE) and the root mean squared (RMS) errors measured in piezometers were obtained to be -0.24, 0.46 and 0.65, respectively. The results of verification confirmed the ability of the model in simulating the natural conditions of the aquifer. Finally, applying different scenarios to the model showed that the proper conjunctive use of surface and groundwater could increase the volume of water at a rate of 2.23 million cubic meters per year.

Keywords: Dehloran plain, Conjunctive use, Simulation, GMS 9.1

1. Department of Earth Science, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2. Research Institute of Applied Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
*: Corresponding Author, Email: sholeh.ghobadi@yahoo.com