

ارزیابی تأثیر تنش‌های خشکی بر سیستم آب زیرزمینی دشت باغملک با تغییر در الگوی بهره‌برداری

رضا لاله زاری^{۱*} - سعید پرومند نسب^۲ - هادی معاضد^۳ - علی حقیقی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۷/۲۹

چکیده

آب زیرزمینی بزرگ‌ترین منبع تأمین آب محسوب می‌گردد و کمبود منابع آب سطحی در شرایط خشکسالی موجب توسعه برداشت از آب زیرزمینی شده است. در تحقیق حاضر، مدل مفهومی آبخوان باغملک در چارچوب روش عددی تفاضل محدود برای شبیه‌سازی رفتار جریان آب زیرزمینی استفاده شده است. داده‌های سطح ایستابی ۸ پیزومتر در طول ۱۰ سال از ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۱ بدین منظور جمع‌آوری شد. سال‌های مورد مطالعه به ۴۰ دوره تنش تقسیم و هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و تغذیه در این دوره‌ها واسنجی شد. صحت‌سنجی رقوم هیدرولیکی شبیه‌سازی نسبت به اندازه‌گیری برای سال بعد از واسنجی انجام گرفت. نتایج شبیه‌سازی جریان نشان می‌دهد واریانس اختلاف سطح ایستابی مشاهداتی و محاسباتی در فرایندهای واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب ۳/۱ و ۳/۸۴ محاسبه شد. پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی واسنجی‌شده نشان می‌دهد شمال شرقی آبخوان قابلیت انتقال و پتانسیل برداشت بیشتری در مقایسه با بخش‌های جنوبی دارد. حساسیت مدل جریان به کاهش هدایت هیدرولیکی بیش از افزایش آن است. ۵۰ درصد کاهش در هدایت هیدرولیکی موجب افزایش واریانس اولیه از ۳/۱ به ۴۴ می‌گردد. هم‌چنین نتایج نشان داد مدل آبخوان باغملک به ترتیب نسبت به تغذیه، هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه حساسیت بالاتری دارد.

واژه‌های کلیدی: تفاضل محدود، شبیه‌سازی، ضرایب هیدرودینامیک، واسنجی

مقدمه

ضمن تأمین نیازها، ذخایر آب زیرزمینی را برای مقابله با پدیده کم‌آبی حفظ نماید. این اهداف در جریان شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژی و هیدروژئولوژی و بهینه‌سازی سیستم آب و خاک برآورده شده و موجب پدید آمدن مفهوم تخصیص بهینه آب به ویژه در شرایط خشکی می‌گردد (۲ و ۵).

کاراموز و همکاران (۶) مدل استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی را برای فراهم کردن آب موردنیاز کشاورزی، کاهش هزینه پمپاژ و کنترل نوسانات سطح ایستابی در بخش‌هایی از جنوب تهران انجام دادند. نتایج مدل جریان اثرات تغذیه ناشی از چاه‌های جذبی در تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی را برای تأمین اهداف مطالعه شبیه‌سازی می‌کند. شیرزادی و صبوچی (۱۸) استفاده بیشتر از آب‌های سطحی و کاهش پمپاژ از سفره آب زیرزمینی را در منطقه ساوجبلاغ در سه شرایط آب و هوایی خشک، نرمال و مرطوب بررسی کردند. درصد کاهش میزان پمپاژ بهینه نسبت به پمپاژ موجود در سال مرطوب به دلیل آب سطحی بیشتر را ۶/۶ گزارش شد و استفاده از گیاهان با نیاز آبی کمتر را یکی از راهکارهای کاهش پمپاژ دانستند. محمدرضاپور طبری و همکاران (۱۳) دستورالعمل بهره‌برداری از

کشاورزی با سهم برداشت حدود ۹۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر کشور بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در ایران به‌شمار می‌رود. از این‌رو هرگونه تغییر در بهره‌برداری از آب در اراضی زراعی عامل تعیین‌کننده در مدیریت پایدار کمی و کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد (۱۰) و مدیریت آن از راهکارهای اصلی در جهت مصرف بهینه و حفظ ذخایر آب شیرین می‌باشد (۴). بنابراین کنترل منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک باید به نحوی تغییر یابد تا

- ۱ - دانشجوی دکتری دانشگاه شهید چمران اهواز و دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، اهواز، ایران
(* نویسنده مسئول: Email: lalehzari@hotmail.com)
- ۲- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۳- استاد گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۴- دانشیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

پارامترهای هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و تغذیه مورد واسنجی قرار گرفتند. لاله‌زاری و طباطبایی (۱۱) احداث سد زیرزمینی و مدیریت آب در منابع ذخیره زیرسطحی با رویکرد حفظ کیفیت آب را در مدل مذکور بررسی کردند.

در این مطالعه مدل مفهومی با توصیف شرایط فیزیکی و هیدرولیکی دشت باغملک توسعه یافته و توسط مدل تفاضل محدود Modflow شبیه‌سازی می‌گردد. سناریوهای مختلف برداشت و تأثیر آن در دوره‌های خشکسالی و ترسالی بر آبخوان مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مدل در دوره ۱۰ ساله (مهر ۸۱ تا شهریور ۹۱) واسنجی و در سال آبی یازدهم صحت‌سنجی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت باغملک با مساحت ۵۱ کیلومترمربع بین طول‌های جغرافیایی ۴۲° ۴۹' تا ۰۸' ۵۰° و عرض‌های جغرافیایی ۲۶° ۳۱' و ۴۱° ۳۱' در جنوب شهرستان ایذه و در فاصله ۱۴۰ کیلومتری شهرستان اهواز در استان خوزستان قرار گرفته است. رودخانه گلال و رودخانه پادرازان، دو رودخانه مهم و فصلی دشت باغملک هستند. رودخانه گلال از قسمت شمالی منطقه وارد دشت شده و در جنوب همراه با رودخانه پادرازان به رودخانه ابوالعباس می‌پیوندد. حداکثر ارتفاع محدوده ۳۳۰۳/۳ متر و حداقل آن ۳۹۱/۷ متر می‌باشد. وسعت ارتفاعات ۸۲۱/۶ کیلومترمربع، مساحت دشت ۶۲/۴ کیلومترمربع و وسعت آبخوان آبرفتی ۵۰/۹ کیلومترمربع است. ارتفاع متوسط در ارتفاعات ۱۲۳۱/۴ متر و در دشت ۷۴۳/۵ متر می‌باشد (۹).

با توجه به بررسی لاگ چاه‌های عمیق بهره‌برداری و اکتشافی موجود در دشت باغملک، منبع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه در آبرفت عمدتاً درشت‌دانه در مجاورت سازندهای بختیاری و گچساران قرار گرفته است. سفره آبدار در بیشتر نواحی منطقه به صورت آزاد و در بعضی مناطق مانند قسمت‌های جنوبی و بخش‌هایی در غرب و جنوب غربی دشت، به صورت نیمه تحت فشار است. لازم به ذکر است که تغذیه سفره آبدار توسط دو سازند مهم موجود در منطقه (کنگومرای بختیاری و سازند گچساران) انجام می‌شود. بیشترین مقدار تغذیه از سمت شمال شرقی، در جایی که شیب کنگومرای بختیاری به سمت دشت است صورت می‌گیرد. البته در بخش‌های غربی دشت گچساران در تغذیه سفره آبدار مؤثر است. از طرفی سفره آب زیرزمینی با رودخانه گلال و پادرازان در ارتباط بوده و رودخانه گلال نقش مهمی را در تغذیه سفره آبدار دشت باغملک ایفا می‌کند. این رودخانه از نوع آبدی می‌باشد و تقریباً در تمام طول سال سفره آبدار را تغذیه می‌نماید. ولی رودخانه فصلی پادرازان ارتباط هیدرولیکی ضعیفی با سفره آبدار دارد.

منابع آب سطحی و زیرزمینی تهران را به‌صورت سالانه و ماهانه برای سه افق کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت تدوین و صحت‌سنجی کردند. نتایج نشان‌دهنده کارایی بالای الگوی پیشنهادشده در جهت بهبود پتانسیل‌های آبی منطقه و جلوگیری از تلفات بی‌رویه آب در نتیجه استفاده نامطلوب در اراضی کشاورزی و افزایش پایداری در سیستم آب زیرزمینی بود.

امروزه ابزارهای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی مختلفی در سیستم مدیریت مصرف و کنترل آب زیرزمینی بکار برده می‌شود. محمدرضاپور طبری و همکاران (۱۲) از الگوهای چندهدفه NSGA-II و SGA برای دشت کرج، نجاتی جهرمی (۱۴) از GMS برای دشت عقیلی و یانگ و همکاران (۲۰) با برنامه‌ریزی دینامیک و الگوریتم ژنتیک به مدلسازی آبخوان پرداختند.

معادله جریان آب زیرزمینی از کاربرد معادله پیوستگی نتیجه می‌شود. در معادله پیوستگی، مجموع کل جریان‌های ورودی و خروجی به یک حجم کنترل، با تغییرات ذخیره در آن برابر بوده و در شرایط غیرماندگار، غیرایزوتروپ و غیرهمگن به صورت زیر نوشته می‌شود (۱).

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - R = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

که K_{xx} ، K_{yy} و K_{zz} به ترتیب هدایت هیدرولیکی در جهت‌های x ، y و z تغذیه، h ارتفاع سطح ایستابی، S_s تخلخل مؤثر و R زمان است. روش‌های عددی از جمله اجزاء محدود رینولدز و ماریموتو (۱۶) و تفاضل محدود تورلی و کالاندر (۱۹) برای حل معادله فوق بکار برده شده‌اند. مدل Modflow به‌عنوان یک مدل تفاضل محدود سه بعدی جریان غیرماندگار در محیط متخلخل اشباع، غیراشباع، غیرهمگن و غیرایزوتروپ قابلیت حل معادلات مذکور را در سیستم آب زیرزمینی دارد (۷).

حیدری (۳) دشت قلعه‌تل در محدوده باغملک در استان خوزستان را توسط Modflow شبیه‌سازی کرده و اثرات خشکسالی بر بیلان آبخوان را بررسی کردند. نتایج نشان داد قسمت‌های مرکزی آبخوان کمتر تحت تأثیر تنش خشکسالی قرار گرفته و دچار افت شدید تراز آبی نمی‌گردد. در مطالعه پورسیدی (۱۵) تغییرات سطح ایستابی آبخوان مرکزی دشت جیرفت شبیه‌سازی شد. واسنجی به مدت ۵ سال انجام و پیش‌بینی تغییرات رقوم پیزومتريک در ۴ سال بعد از واسنجی انجام گرفت. گزینه‌های مختلف مدیریت برداشت از آب زیرزمینی تعریف و بهترین گزینه برای جبران افت حاصل از خشکسالی کاهش ۲۰ درصدی در میزان برداشت از چاه‌های بهره‌برداری معرفی شد.

لاله‌زاری (۸) اثر تغذیه مصنوعی را بر افزایش حجم آب در دسترس آبخوان شهرکرد با استفاده از Modflow شبیه‌سازی کرده و

بلوک‌ها بنام سلول انجام شد. کل محدوده دشت باغملک با شبکه‌ای از سلول‌های ۲۵۰×۲۵۰ متر پوشانده و مرزهای آبخوان به دو گروه مرزهای هیدرولیکی (دارای جریان آب زیرزمینی) و فیزیکی (نفوذناپذیر) تقسیم‌بندی شد (شکل ۲). حجم جریان ورودی و خروجی آب زیرزمینی توسط قابلیت هدایت و ضخامت آبخوان در مرزهای هیدرولیکی در هر دوره تنش به دست می‌آید. این پارامترها با داده‌های شبیه‌سازی شده سطح ایستابی برآورد و در فرایند واسنجی هدایت هیدرولیکی تصحیح گردید.

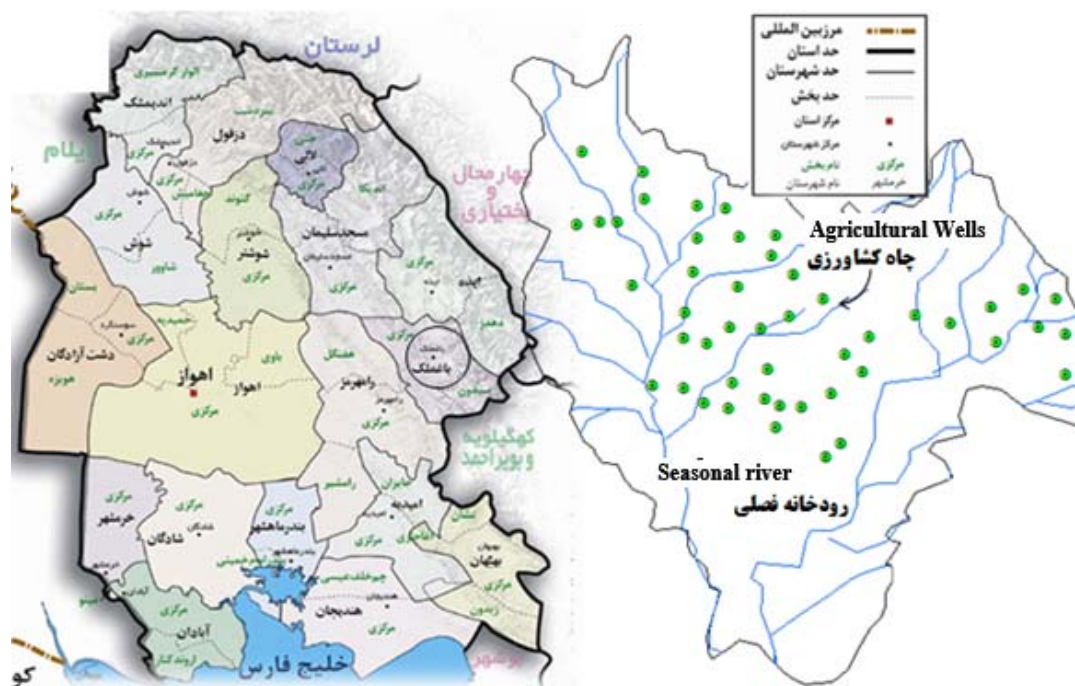
تأثیر الگوهای کشت بر بیلان آبخوان

چرخه آب مابین آب زیرزمینی و آب سطحی از یک سو و تحویل آن به شبکه‌های آبیاری به عنوان اصلی‌ترین عامل تعیین‌کننده میزان مصرف مورد بررسی قرار گرفت. آب مورد نیاز کشاورزی در منطقه از طریق جریان‌های سطحی موجود و پمپاژ از چاه‌ها تأمین می‌شود. عدم انطباق آبدی رودخانه‌های فصلی با زمان کشت محصولات زراعی، استخراج آب زیرزمینی را برای کشاورزان در اولویت قرار داده است. از اینرو برداشت آب کشاورزی، شرب و صنعت موجب رشد منفی و تغذیه از بستر رودخانه‌ها، برگشت آب کشاورزی و نفوذ آب بارندگی از ضرایب مثبت بیلان آبخوان به شمار می‌روند.

منابع برداشت آبخوان شامل ۵۳ چاه کشاورزی با دبی متوسط ۲۰ لیتر بر ثانیه و کارکرد ۳۰۰۰ ساعت سالانه و با میانگین عمق ۷۸ متر و حداکثر عمق ۱۰۰ متر می‌باشد. این تعداد چاه ۸۵ درصد کل چاه‌های موجود در دشت است. موقعیت دشت باغملک در استان خوزستان و موقعیت‌های برداشت از منابع سطحی و زیرزمینی در شکل ۱ نشان داده شده است.

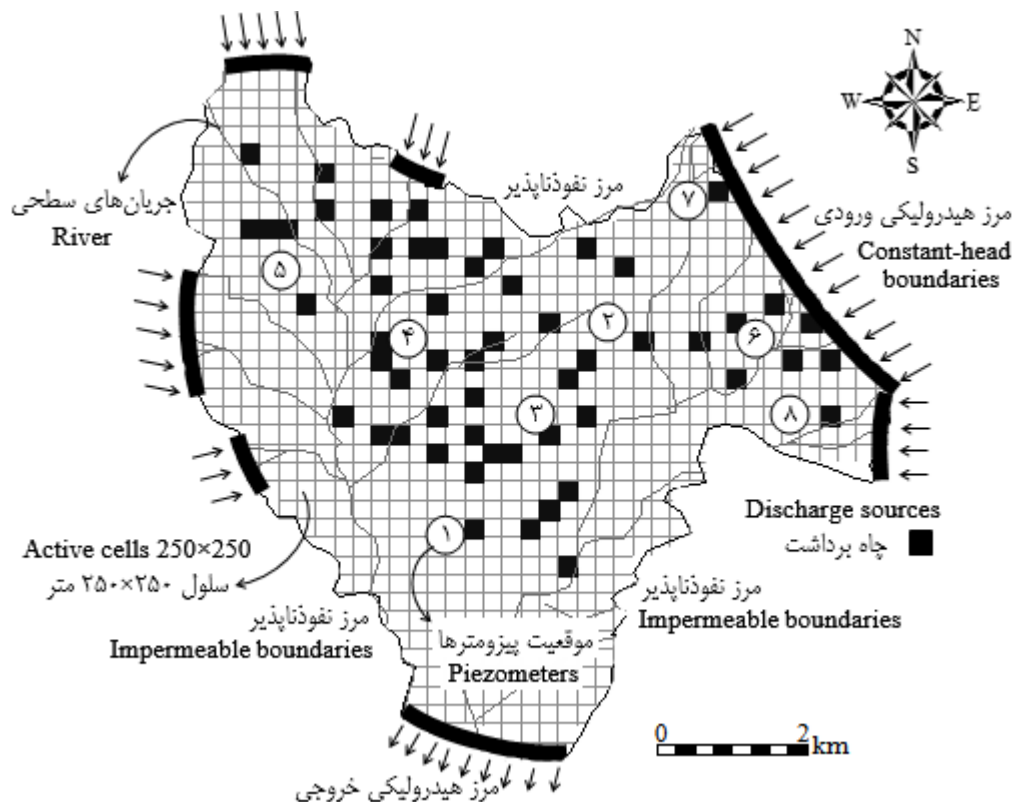
دوره شبیه‌سازی به مدت ۱۰ سال از مهرماه ۱۳۸۱ تا شهریورماه ۱۳۹۱ برای واسنجی و یک سال (مهر ۹۱ تا شهریور ۹۲) برای صحت‌سنجی مدل انتخاب گردید. انتخاب این دوره به دلیل وجود دوره‌های مختلف ترسالی و خشکسالی و در دسترس بودن اطلاعات هیدرولوژی و هیدروژئولوژی انجام گرفت. طول هر دوره تنش سه ماه معادل هر فصل سال برای تعیین تنش‌های محیطی و کشاورزی به آبخوان است. تعداد ۸ چاهک مشاهده‌ای در دشت به‌صورت ماهانه آماربرداری می‌شود که ارتفاع سطح ایستابی در ماه آخر هر فصل برای واسنجی استفاده شد. عدم برداشت اطلاعات پیزومترها در تعدادی از دوره‌های تنش موجب شد تا در دوره‌های کوتاه سطح آب با استفاده از میانبایی بازسازی و در دوره‌های چندساله اطلاعات موجود به مدل وارد شود. موقعیت نقاط مشاهده‌ای و پراکندگی آن‌ها در شبکه در شکل ۲ نشان داده شده است.

شبیه‌سازی با تقسیم‌بندی فضایی آبخوان به وسیله یک شبکه از



شکل ۱- موقعیت دشت باغملک در استان خوزستان و منابع آب کشاورزی

Figure1- Situation of Baghmak plain in Khuzestan province and agricultural water resources



شکل ۲- شبکه بندی مدل، موقعیت چاه های پیزومتریک و شرایط مرزی
Figure 2- Model gridding, piezometers and boundary condition

ایستایی اولیه در هر سلول شبکه است. با بررسی ساختار زمین شناسی، پروفیل چاه های مشاهداتی و نقشه های لایه بندی خاک رقوم سنگ بستر آبخوان در ۱۰ نقطه مشخص و با میانبایی به روش کریجینگ نقشه لایه نفوذناپذیر آبخوان ترسیم گردید (شکل ۴). نقشه هم تراز سطح ایستایی اولیه نیز با درونبایی رقوم پیزومتریک در مهرماه سال ۸۱ در شکل ۵ نشان داده شده است. مطابق شکل حرکت غالب جریان از شمال شرق به سمت جنوب شکل می گیرد.

نتایج و بحث

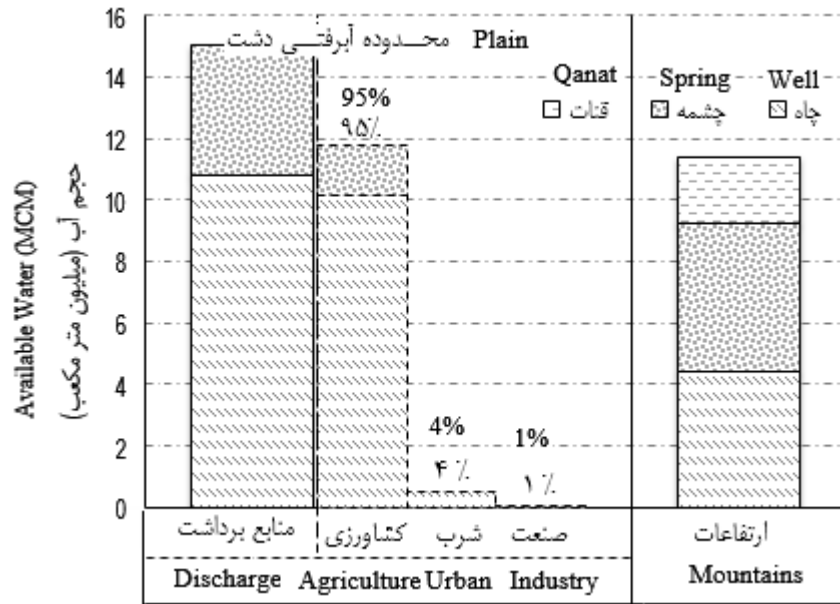
واسنجی مدل برای پارامترهای غیرقطعی ورودی نظیر هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و تغذیه سطحی انجام شد. ارتفاع سطح ایستایی اندازه گیری شده در ۸ پیزومتر فعال در هر دوره تنش با رقوم پیزومتریک محاسباتی برای تخمین پارامترهای مذکور مقایسه گردید. رابطه خطی مقایسه داده های مشاهده ای (y) و مقادیر شبیه سازی (x) بصورت زیر تعریف می شود:

$$y = ax + b + \varepsilon \quad (2)$$

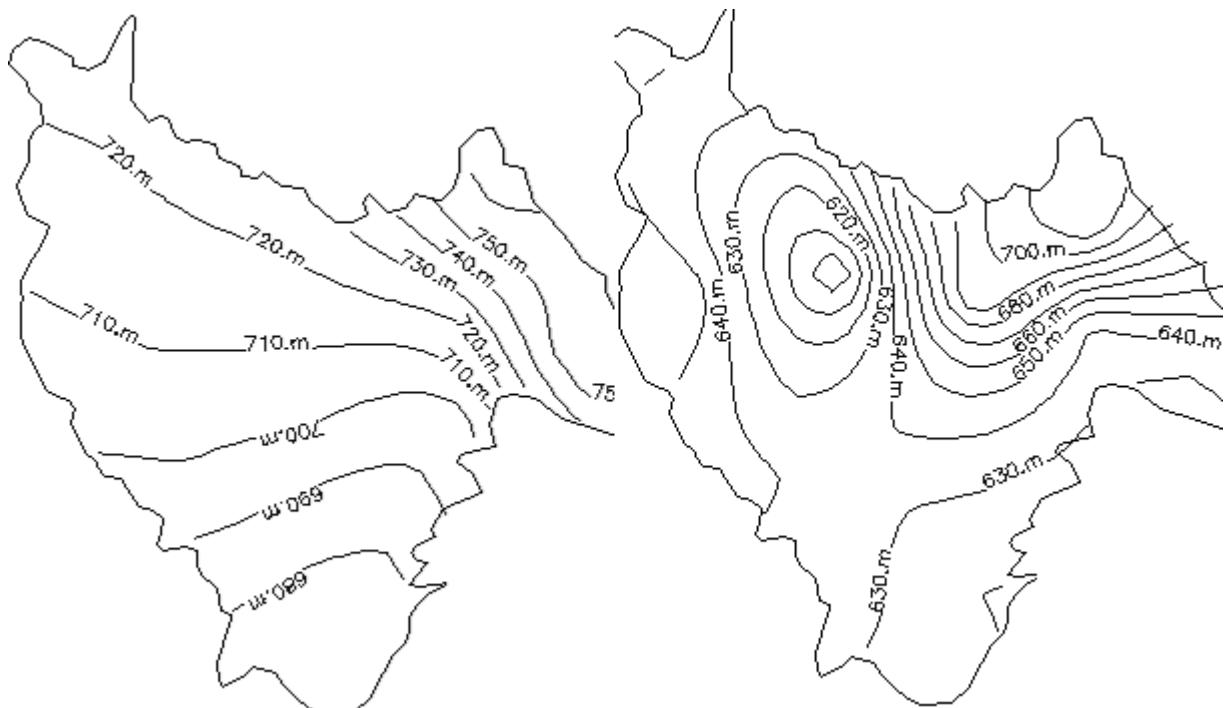
که در آن، a و b ضرایب معادله می باشند. اگر فرض صفر برابر با شیب یک ($H_o: a=1$) و عرض از مبدأ صفر باشد ($H_o: b=0$).

هر کدام از اجزای بیلان مذکور بر مطالعه اثر سناریوهای مختلف آبیاری بر جلوگیری از هدررفت و عدم تخصیص بهینه منابع آب نقش قابل توجهی دارد. دبی پمپاژ آب از هر کدام از ۵۳ چاه کشاورزی اندازه گیری و در ساعات کارکرد آنها در هریک از فصول سال ضرب شد. بخشی از آب پمپاژ شده به عنوان آب برگشتی مجدداً به آب زیرزمینی نفوذ می کند که درصد برگشت آن باتوجه به بستر انتقال، سیستم آبیاری و نوع خاک متفاوت است. با بررسی انجام شده به طور میانگین ضریب ۰/۲۵ از کل آب برداشتی بدین منظور کسر گردید. محدوده مدت زمان کارکرد چاه ها در یک سال آبی به ترتیب برای پاییز، زمستان، بهار و تابستان برابر با ۶۵۰، ۵۰، ۳۰۰ و ۲۰۰۰ ساعت برآورد می شود. بنابراین بیش از نیمی از حجم برداشت در تابستان انجام می گیرد در صورتی که عمده بارش ها در فصول سرد انجام می شود. شکل ۳ حجم برداشت از آب زیرزمینی به تفکیک چاه، چشمه و قنات در دو بخش محدوده آبرفتی و ارتفاعات ترسیم شده است. سهم مصارف کشاورزی، شرب و صنعت از آب برداشتی آبخوان نیز مشخص شده است. برداشت توسط قنات فقط در ارتفاعات باغملک صورت می گیرد و منشأ آب چشمه از سازند سخت بوده و تنها رواناب حاصل از آن ها در چرخه مدلسازی آبخوان وارد می شود. از اطلاعات رقومی موردنیاز مدل ارتفاع سنگ بستر و سطح

آنگاه ضریب ϵ معیار اختلاف محاسبات با اندازه‌گیری بوده که توزیع آن باید به صورت نرمال باشد (۱۹).



شکل ۳- حجم برداشت از آبخوان و منابع مصرف
Figure3- Discharge from aquifer and consumption sources

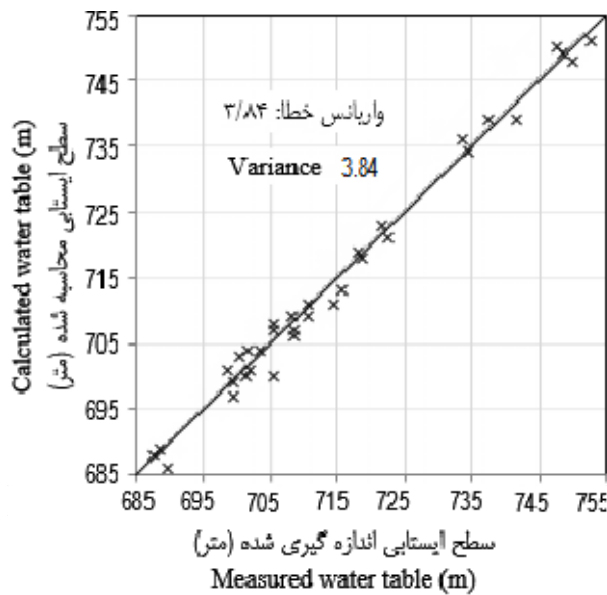


شکل ۵- خطوط هم‌تراز سطح ایستابی در گام اول شبیه‌سازی
Figure5- Groundwater table contour lines at the first step of simulation

شکل ۴- نقشه ارتفاع سنگ بستر
Figure4- Bed layer elevation map

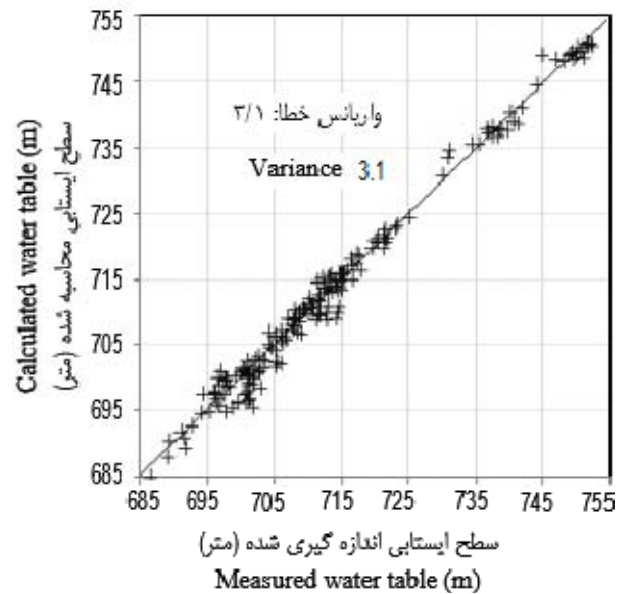
پس از انجام توزیع نرمال داده‌ها در فرایند واسنجی، کاهش واریانس خطا معیار کارامدی مدل است که در واسنجی ۳/۱ و در صحت‌سنجی ۳/۸۴ محاسبه گردید.

این مقایسه با ترسیم تراز آب زیرزمینی در حالت واقعی و شبیه‌سازی در شکل ۶ برای واسنجی (۴۰ دوره تنش ۳ ماهه) و در شکل ۷ برای صحت‌سنجی مدل (۴ دوره تنش) نشان داده شده است.



شکل ۷- نتیجه صحت‌سنجی مدل در یکسال

Figure 7- Results of verification model in one year



شکل ۶- نتیجه واسنجی مدل در ۱۰ سال

Figure 6- Results of calibration model in 10 years

خشکسالی بعد از سال ۸۶ موجب افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است. مطابق شکل ۱۱ بیشترین افت سطح آب در تابستان هر سال اتفاق می‌افتد. بنابراین تغییرات کلی آب زیرزمینی به مقدار بارندگی و تغییرات مقطعی آن به تفاوت برداشت در فصول سال مرتبط می‌گردد.

تحلیل حساسیت

حساسیت مدل نسبت به پارامترهای واسنجی‌شده در شکل ۱۲ ترسیم شده است. در هر مرحله ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصد مقدار اولیه هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و تغذیه به صورت مثبت و منفی با آن‌ها جمع شد در حالی که سایر پارامترها بدون تغییر باقی ماند. مدل مجدداً برای هر تغییر اجرا و در مجموع ۱۸ مرتبه شبیه‌سازی برای محاسبه واریانس خطای تحلیل حساسیت انجام گرفت. مطابق شکل بیشترین حساسیت مدل جریان به کاهش هدایت هیدرولیکی است در صورتیکه افزایش این پارامتر خطای زیادی را به وجود نمی‌آورد. حیدری (۳) نیز گزارش کرد کاهش هدایت هیدرولیکی تأثیر بیشتری را بر خطای مدل دارد تا افزایش آن. تخمین دقیق تغذیه در درجه بعدی اهمیت داده‌های ورودی قرار دارد که افزایش و کاهش آن نتایج مدلسازی را با خطای زیاد مواجه می‌کند. لاله‌زاری (۸) تغذیه را دارای بیشترین تأثیر در فرایند واسنجی مدل آبخوان دشت شهرکرد گزارش کرد. کمترین حساسیت نیز به واسنجی آبدهی ویژه نسبت داده می‌شود که در صورت تغییر ۵۰ درصدی در مقدار واقعی آن، تنها یک واحد به واریانس خطا افزوده شده است.

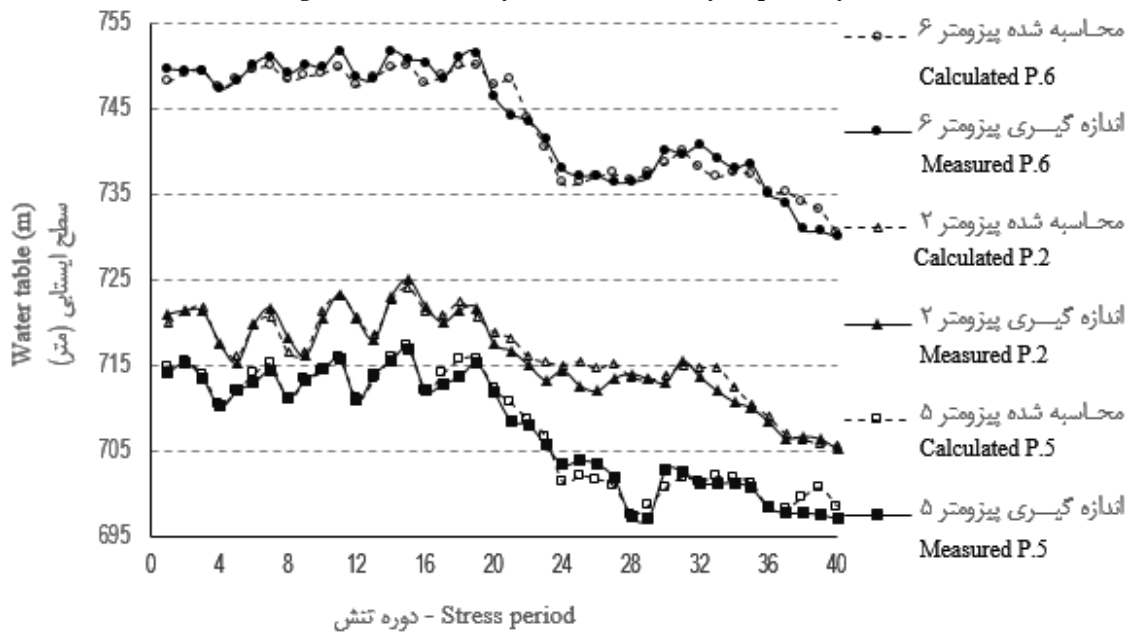
بنابراین تغییرات ضرایب هدایت هیدرولیکی بین ۴/۵ تا ۷ متر در روز و آبدهی ویژه بین ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۳ تخمین زده می‌شود. نقشه هدایت هیدرولیکی دشت پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل به صورت شکل ۸ بدست آمد. مطابق شکل بخش‌های شمال و شمال شرقی دشت بیشترین هدایت هیدرولیکی را داراست. بر این اساس و با احتساب شیب هیدرولیکی بالا در شمال شرقی آبخوان (شکل ۵) بیشترین جریان ورودی از همین ناحیه صورت گرفته و در مرکز دشت که تجمع چاه‌های کشاورزی وجود دارد (شکل ۲) به مصرف می‌رسد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد بیلان آب زیرزمینی در دشت باغملک تا حدود زیادی تحت تأثیر جریان‌های سطحی و زیرزمینی شمال شرقی می‌باشد و برآورد قابلیت هدایت و ارتفاع سطح ایستابی مرزی آن با حساسیت بالا مواجه است.

به منظور ارزیابی دقت نتایج شبیه‌سازی، تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و محاسباتی در سه پیزومتر ۶، ۲ و ۵ واقع در سه ناحیه شرقی، مرکزی و غربی آبخوان در بازه زمانی مطالعه در شکل ۹ ترسیم گردید. مطابق شکل تغییرات رقوم هر سه پیزومتر در طی زمان هماهنگ بوده و انطباق رقوم مدلسازی با سطح آب زیرزمینی بجز در ابتدای دوره خشکسالی (دوره‌های تنش ۲۲ تا ۲۶ یا محدوده سال ۸۷) قابل قبول است.

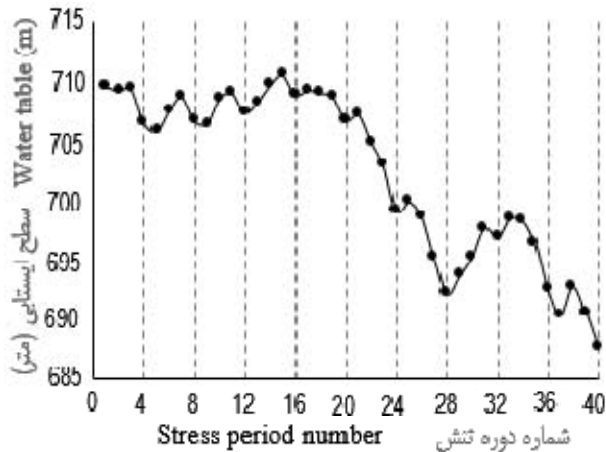
نمودار بارندگی در ۱۰ سال مطالعه در شکل ۱۰ و ارتفاع سطح ایستابی پیزومتر شماره ۳ که مرکز آبخوان قرار گرفته در شکل ۱۱ نشان داده شده است. روند تغییرات در هر دو نمودار یکسان و دلیل آن وابستگی مستقیم ذخیره آب زیرزمینی به نزولات جوی بوده و



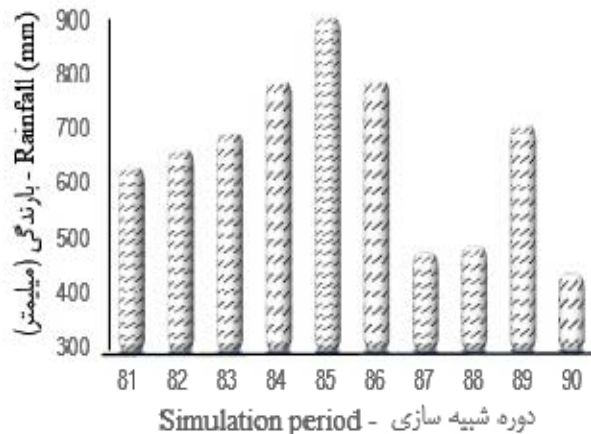
شکل ۸- نقشه هدایت هیدرولیکی واسنجی شده (متر در روز)
Figure8- Calibrated hydraulic conductivity map (m/day)



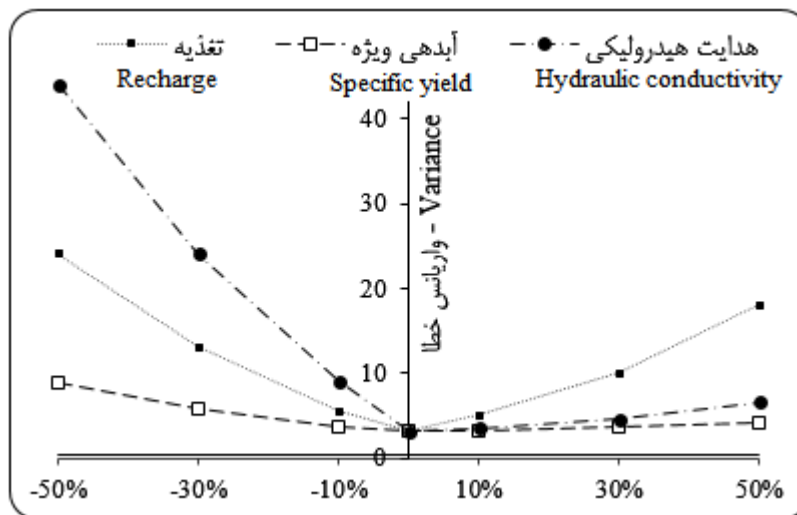
شکل ۹- مقایسه سطح ایستایی مشاهداتی و محاسباتی در سه پیزومتر ۲، ۵ و ۶
Figure9- Comparison between calculated and observed water table in three piezometers 2, 5 and 6



شکل ۱۱- ارتفاع سطح آب زیرزمینی در مرکز آبخوان
Figure11- Water table elevation in the center of aquifer



شکل ۱۰- ارتفاع بارندگی در سال‌های شبیه‌سازی
Figure10- Rainfall in simulation years

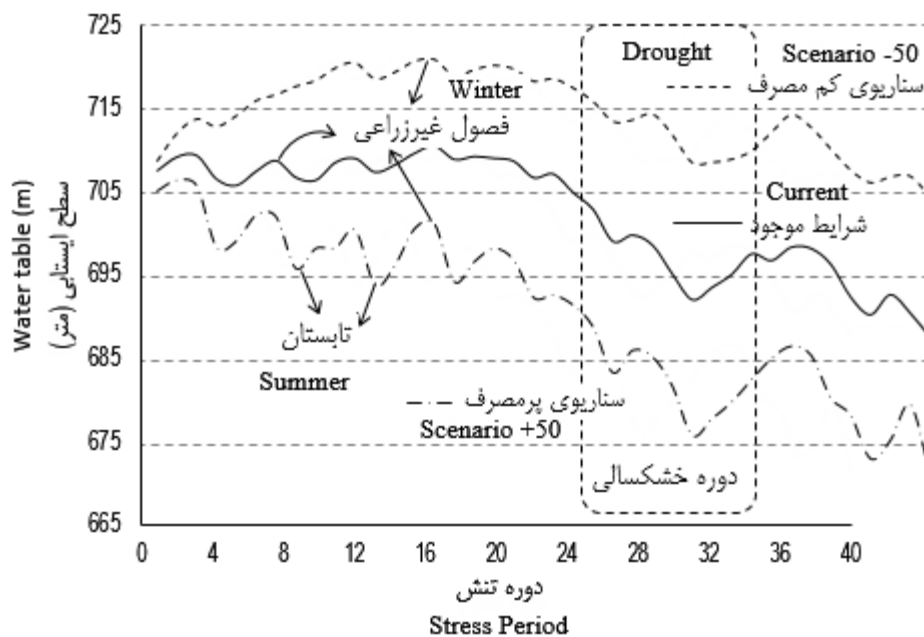


شکل ۱۲- تحلیل حساسیت مدل جریان نسبت به تغییر در پارامترهای واسنجی شده
Figure12- Sensitivity analysis of flow model relative to calibrated parameters

حقاب‌های موجود چاه‌های کشاورزی و سناریوی دوم کاهش ۵۰ درصدی حجم برداشت را شامل می‌شود. کاهش برداشت با بالا بردن راندمان، انجام کم‌آبیاری و استفاده مؤثر از بارندگی و رواناب قابل جبران است. تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده در پیزومتر شماره ۳ در مرکز آبخوان در مقایسه با وضعیت فعلی در شکل ۱۳ نشان داده شده است. با گذشت زمان اختلاف سناریوها با شرایط واقعی افزایش داشته و از کمتر از یک متر در ابتدا به حدود ۱۵ متر در پایان ۱۰ سال رسیده است. اختلاف سطح آب بین فصول زراعی و غیرزراعی نیز در سناریوی پرمصرف بیش از سناریوی کم‌مصرف می‌باشد که اثرات کمبود آب در تابستان را تشدید می‌کند.

سناریوهای الگوی کشت

استفاده از گیاهان پرمصرف، ناکارآمد بودن سیستم‌های انتقال و توزیع آب در مزرعه و رساندن آب بیش از مقدار موردنیاز گیاه موجب تبخیر و هدررفت آب در چرخه آب و خاک می‌گردد. آب موردنیاز گیاهان باید با توجه به حساسیت آن‌ها در هر مرحله از رشد ابتدا از منابع جریان سطحی مانند رودخانه و رواناب بارندگی و سپس از آب زیرزمینی تخصیص یابد. به منظور بررسی اثرات برداشت بی‌رویه و در مقابل صرفه‌جویی در استخراج آب زیرزمینی دو سناریوی متقابل تعریف و اثر هر کدام از گزینه‌ها بر سطح ایستابی مرکز آبخوان شبیه‌سازی شد. سناریوی اول اضافه کردن حدود ۵۰ درصد به



شکل ۱۳- مقایسه سناریوهای مختلف مصرف آب آبخوان در دوره ۱۰ سال مطالعه
Figure13- Comparison between different scenarios of water usage in the 10 study years

نتیجه‌گیری کلی

زیرزمینی شده است. این موارد در اغلب دشت‌های موجود در کشور نیز به عنوان عامل اصلی ایجاد شرایط ممنوعه در آبخوان‌ها شده است (۸). نتایج نشان می‌دهد افزایش ۵۰ درصدی دبی چاه‌های بهره‌برداری سطح ایستابی در مرکز آبخوان را بعد از ۱۰ سال حدود ۱۵ متر کاهش می‌دهد. در مقابل کاهش برداشت به مقدار ۵۰ درصد برداشت کنونی، مانع از افت سطح ایستابی آبخوان در طول دوره مطالعه شده و اثرات خشکسالی و برداشت بی‌رویه را در این دوره جبران خواهد کرد.

مدل جریان آب زیرزمینی دشت باغملک در یک دوره ۱۰ ساله با واسنجی هدایت هیدرولیکی (۴/۵ تا ۷ متر در روز)، آینده ویژه (۰/۰۰۸ تا ۰/۰۳) و تغذیه توسعه یافت. این پارامترها در مطالعات گذشته نیز این پارامترها بواسطه ماهیت آنها مورد واسنجی قرار گرفته‌اند (۳، ۱۱ و ۱۵). بیشترین حجم ورودی جریان از مرز هیدرولیکی شمال شرق آبخوان وارد می‌گردد و تنها خروجی دشت در قسمت جنوبی قرار دارد. مهم‌ترین عامل تنش به آبخوان، خشکسالی و کمبود بارندگی است که در سال ۸۶ موجب افت شدید در تراز آب

منابع

- 1- Bazargan-Lari M.R., Kerachian R., and Mansoori A. 2009. A conflict-resolution model for the conjunctive use of surface and groundwater resources that considers water-quality issues: a case study. *Environmental Management*, 43:470–482.
- 2- Delavar M., Moghadasi M., and Morid S. 2011. A real-time model for optimal water allocation in irrigation systems during droughts. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000440](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000440).
- 3- Heidari S. 2012. Quantitative simulation of groundwater source of Qale-Tol plain in different scenarios for agricultural uses by PMWIN Model. M.Sc. Thesis of Irrigation and Drainage. Shahid Chamran University of Ahvaz. Pp:150. (in Persian with English abstract)
- 4- Huang J., Ridoutt B.G., Chang X., Zheng H., and Chen F. 2012. Cropping pattern modifications change water resource demands in the Beijing metropolitan area. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(11):1914-1923.
- 5- Karamouz M., and Araghinejad S. 2008. Drought mitigation through long-term operation of reservoirs: case study. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134: 471-478.
- 6- Karamouz M., Mohammad Rezapour Tabari M., and Kerachian R. 2007. Application of genetic algorithms and artificial neural networks in conjunctive use of surface and groundwater resources. *Journal of Water International*. 32(1):163-176.

- 7- Kresic N. 1997. Quantitative solutions in hydrogeology and ground water modeling. CRC Press LLC. Pp: 115.
- 8- Lalehzari R. 2008. The effect of wastewater recharge on nitrate distribution in Shahrekord aquifer using MT3D model. M.Sc. Thesis of Irrigation and Drainage, Shahrekord University Pp, 130. (in Persian with English abstract)
- 9- Lalehzari R. 2015. Optimal allocation of surface and groundwater resources to cropping pattern in Baghmalek plain by multi-objective planning based on non-dominated sorting algorithm. Ph.D. Thesis of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz. Pp: 250. (in Persian with English abstract)
- 10- Lalehzari R., Tabatabaei S.H., and Kholghi M. 2013. Simulation of nitrate transport and wastewater seepage in groundwater flow system. International Journal of Environmental Science and Technology. 10:1367-1376. DOI 10.1007/s13762-013-0213-4.
- 11- Lalehzari R., and Tabatabaei S.H. 2014. Simulating the impact of subsurface dam construction on the change of nitrate distribution. Environmental Earth Science. Springer: DOI 10.1007/s12665-015-4362-2.
- 12- Mohammad Rezapour Tabari M., Maknoon R., and Ebadi T. 2008. Multi-objective optimal model for surface and groundwater conjunctive use management using SGAs and NSGA-II. Journal of Water and Wastewater, 1:1-12. (in Persian with English abstract)
- 13- Mohammad Rezapour Tabari M., Maknoon R., and Ebadi T. 2012. Development structure for optimal long-term planning in conjunctive use. Journal of Water and Wastewater. 4:56-69. (in Persian with English abstract)
- 14- Nejati Jahromi Z. 2009. Simulation of the groundwater sources in Aghili's plain by finite differences mathematical model. M.Sc. Thesis of Hydrogeology, Shahid Chamran University of Ahvaz. Pp: 158. (in Persian with English abstract)
- 15- Pourseyyedi A. 2009. Groundwater model development of Jiroft plain. M.Sc. Thesis of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz. Pp: 203. (in Persian with English abstract)
- 16- Reynolds D.A., and Marimuthu S. 2006. Deuterium composition and flow path analysis as additional calibration targets to calibrate groundwater flow simulation in a coastal wetlands system. Hydrogeology Journal, 15:515- 535.
- 17- Selle B., Minasny B., Bethune M., Thayalakumaran T., and Chandra S. 2011. Applicability of Richards' equation models to predict deep percolation under surface irrigation. Geoderma. 160:569-578.
- 18- Shirzadi S., and Sabouhi M. 2009. Application of multiobjective programming in surface and groundwater resources management in the Savojbolagh region. Agricultural Economics. 3(2): 83-98. (in Persian with English abstract)
- 19- Thorley M., and Callander P. 2005. Christchurch city groundwater model. Environment Canterbury report U05/53. Pp: 10.
- 20- Yang C.C., Chang L.C., Chen C.H., and Yeh M.S. 2008. Multi-objective planning for conjunctive use of surface and subsurface water using genetic algorithm and dynamics programming. Water Resource Management. DOI 10.1007/s11269-008-9281-5.

Evaluating the Impact of Drought Stresses on Groundwater System in Bagh-Malek Plain by Discharge Pattern Changes

R. Lalehzari^{1*} - S. Boroomand Nasab² - H. Moazed³ - A. Haghighi⁴

Received: 15-01-2014

Accepted: 21-10-2014

Introduction: Groundwater is the largest resource of water supplement and shortages of surface water supplies in drought conditions that requires an increase in groundwater discharge. Groundwater flow depends on the subsurface properties such as hydraulic gradient (water table gradient or head loss in artesian condition) and hydrodynamic coefficients. The flow treatment is analyzed with an accurate estimation of effective parameters in groundwater equation. This function is obtained using the continuous equation. Inlet and outlet flows of a cell are equal to storage amounts in the continuous equation. Analytical solution of this equation is complex, so numerical methods are developed including finite element and finite difference methods. For example, Feflow is a groundwater modeling tool that makes use of finite element method (Reynolds and Marimuthu, 2007). Modflow as a finite difference three-dimensional model simulated underground flow under steady and unsteady conditions in anisotropic and non-homogeneous porous media. Modflow is designed to simulate aquifer systems in which saturated-flow conditions exist, Darcy's Law applies, the density of groundwater is constant, and the principal directions of horizontal hydraulic conductivity or transmissivity do not vary within the system. In Modflow, an aquifer system is replaced by a discretized domain consisting of an array of nodes and the associated finite difference blocks. Groundwater modeling and water table prediction by this model have the acceptable results, because many different informations of water resource system are applied. Many people and organizations have contributed to the development of an effective groundwater monitoring system, as well as experimental and modeling studies (Lalehzari et al., 2013). The objective of this paper is investigation of hydraulic and physical conditions. So, a numerical model has to be developed by PMWIN software for Bagh-i Malek aquifer to calculate hydrodynamic coefficients and predict water table in the future.

Materials and Methods: Bagh-i Malek aquifer located in Khuzestan province is mainly recharged by inflow at the boundaries, precipitation, local rivers and return flows from domestic, industrial and agricultural sectors. The discharge from the aquifer is through water extraction from wells, springs, and qanats as well as groundwater outflow and evapotranspiration. In this study, conceptual model of Bagh-i Malek aquifer on the framework of finite difference numerical approach has been used in simulating groundwater flow treatment. Water table data of 8 piezometers was collected for the 10 year duration from 2002 to 2012. The study years are divided into 40 seasonal stress periods with daily time step. Hydraulic conductivity, specific yield and recharge were calibrated in these periods. Verification was made between the simulated and measured hydraulic heads in the next calibration year. To simulate the groundwater table elevation in this study area, the PMWIN model is used. Bagh-i Malek aquifer is considered as a single layered aquifer, and therefore only the horizontal hydraulic conductivity is estimated. Modflow was used to simulate both steady state and transient flow systems. In steady conditions it is assumed that the total of time simulation is a time period and it does not change inlet data in the modeling duration. In unsteady conditions, the duration of study is divided into some stress periods that data is changed in every period.

Results and Discussion: Estimation of hydraulic conductivity is the first step of calibration process at steady state conditions. The correct assignment of hydraulic conductivity has a main effect on other parameters accuracy. Hydraulic conductivity mapping indicated that the maximum values are in the Eastern North (6-7 m/day) of the aquifer. The twice calibrated parameter is specific yield in unsteady conditions. Specific yield mapping indicated that the values vary from 0.03 to 0.08 and are maximum in the Southern regions of the plain similar to hydraulic conductivity. The results confirm that the flow model has the tolerable simulation accuracy by variances of 3.1 and 3.84 in calibration and verification processes, respectively. The sensitivity of the flow

1 - Ph.D. Student, and Young Researchers and Elite Club, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2- Professor of Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

(* - Corresponding Author Email: lalehzari@hotmail.com)

3- Professor of Environment Department, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

4- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

model to decreasing the hydraulic conductivity is more than increasing it. 50 percentage declined into the hydraulic conductivity causes the increase of the variance from 3.1 of initial value to 44.

Conclusions: Mapping of calibrated hydraulic conductivity showed that the Eastern North of aquifer has the higher transmissivity and discharge capability in comparison to Southern parts. At last, the result show that the Bagh-i Malek aquifer model is sensitive to recharge, hydraulic conductivity and specific yield, respectively.

Keywords: Calibration, Finite difference, Hydrodynamic coefficients, Simulation