نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management Science & Engineering

سال سیزدهم- شماره ۴۶- پاییز ۱۳۹۸

Vol. 13, No. 46, Fall 2019

بررسی سناریوهای مدیریتی برای احیای آبخوان با استفاده از مدل‌سازی ریاضی (مطالعه موردی: آبخوان ابرکوه)

ساناز پورفلاح[۱]، محمدرضا اختصاصی[۲]، حسین ملکی‌نژاد[۳] و فاطمه برزگری[۴]

تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۰۱

چکیده

در بسیاری از کشورهای خشک از جمله ایران، ذخایر آب زیرزمینی اصلی‌ترین منبع تأمین آب است. افزایش بی‌رویه‌ی جمعیت، محدودیت منابع آبهای سطحی و بهره‌برداری بیش از اندازه از آبخوان‌ها سبب افت شدید سطح آب زیرزمینی در بسیاری از دشت‌های کشور شده است. لازمه مدیریت این وضعیت شناخت کامل آبخوان و میزان تغذیه و حجم آب قابل برداشت می‌باشد. در تحقیق حاضر آبخوان دشت ابرکوه به کمک مدل ریاضی Modflow در یک دوره سه ساله (سال ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۵) با ۳۶ گام زمانی شبیه‌سازی و مدل در دو حالت پایدار و ناپایدار واسنجی شد. سپس، مدل در یک دوره ۳۶ ماهه (مهر ۱۳۸۸ تا مهر ۱۳۹۱) مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. مقادیر جذر میانگین مربعات در دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب ۱/۰۴۲ و ۱/۱۰ بدست آمد. بعد از اطمینان از دقت مدل، سناریوهای مختلف مدیریتی بررسی گردید. نتایج نشان داد ادامه روند کنونی برداشت منابع آب زیرزمینی، منجر به افت متوسط سالانه ۱/۵ متر تراز سطح خواهد شد. برای کنترل این بحران، سناریوهای مدیریتی منتج از تغییر روش‌های آبیاری و الگوی کاشت و استفاده از روشهای کاهش تبخیر تعیین گردید. تمام سناریوهای اعمال شده به مدل نتایج قابل قبول در جهت مدیریت و بهبود شرایط آبخوان زیرزمینی دشت ابرکوه را نشان دادند. بنابراین پیشنهاد می‌شود با مدیریت بخش کشاورزی دشت ابرکوه به واسطه‌ی تغییر الگوی کشت به محصولات با نیاز آبی کمتر و تغییر سیستم آبیاری از سنتی به سیستم‌های نوین وضعیت آینده آبخوان را بهبود بخشید.

کلید واژه‌ها: *آب زیرزمینی، کاهش مصرف آب، مدیریت بهره‌برداری، دشت ابرکوه، MODFLOW*

مقدمه

ایران به علت قرار گرفتن در منطقه‌ی خشک و نیمه خشک، از نظر منابع آب، وضعیت نامطلوب‌تری نسبت به متوسط دنیا دارد. از این‌رو آب‌های زیرزمینی، منبع مهم تأمین آب مصرفی مردم در بخش‌های مختلف کشور است. استفاده‌ی بهینه از منابع آب زیرزمینی، مستلزم مدیریت صحیح در بهره‌برداری است، به‌ویژه بخش کشاورزی که بیش از ۹۰ درصد مصرف را به خود اختصاص داده باید مورد توجه قرار گیرد. مدل‌سازی آب زیرزمینی در سال‌های اخیر به‌عنوان ابزاری قدرتمند در مباحث مدیریتی، مطرح شده و در بهینه‌سازی مصرف و پیش‌بینی منابع آب زیرزمینی، به کمک مدیران و برنامه‌ریزان شتافته است [۱۴، ۲۴، ۱۲]. درصورتی که بتوان شبیه‌سازی یک آبخوان را انجام و با شرایط طبیعی تطبیق داد، به سهولت می‌توان با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف شرایط آینده را بر روی سفره پیش‌بینی کرده و اثر اعمال هر نوع مدیریت

بخش صنعت، تعادل بخشی آبخوان و عدم تزریق پساب صنعت به آبخوان موجب بهبود وضعیت منابع آبی می‌شود. نیکبخت و همکاران [۱۹]، در پژوهشی اثر افزایش راندمان آبیاری بر نوسانات سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت عجب‌شیر را با کمک Modflow بررسی کردند. در این پژوهش سطح آب زیرزمینی و بیلان آبخوان در دو حالت ادامه‌ی روند کنونی روش آبیاری (ثقلی) و تغییر سیستم‌های آبیاری به تحت‌فشار برای دوره‌ی زمانی آینده (افق ۱۴۰۰) پیش‌بینی شد. براساس نتایج، با ادامه‌ی روند کنونی آبیاری، بیلان آبخوان در انتهای دوره‌ی زمانی پیش‌بینی، ۲/۴۳- میلیون مترمکعب در سال خواهد بود. با تبدیل سیستم‌های آبیاری سنتی به تحت‌فشار و افزایش راندمان آبیاری، این مقدار به ۳/۹۹ میلیون مترمکعب در سال(۳/۲۳ میلیون مترمکعب افزایش در سال) خواهد رسید. هم‌چنین براساس نتایج این بررسی، با تغییر سیستم‌های آبیاری، سطح آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر در انتهای دوره‌ی زمانی پیش‌بینی، به‌طور متوسط ۴/۶۳ متر افزایش خواهد یافت.

جنوبی و همکاران [۱۱] در مطالعه‌ای به بررسی مدیریت سطح

۱- دانشجویی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه یزد
۲- نویسنده مسئول و استاد دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، پست الکترونیک: Mr_Ekhtesasi@yahoo.com
۳- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد
۴- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام نور

www.SID.ir

آب زیرزمینی از طریق تلفیق آب سطحی و زیر سطحی با استفاده از Modflow پرداختند. نتایج اعمال سناریوهای مدیریتی مختلف، نشان داد که استفاده از سناریوی کاهش ۲۵ درصدی پمپاژ و قطع پمپاژ در مناطق غربی دشت ارومیه، به‌ترتیب موجب بالا آمدن سطح آب زیرزمینی به اندازه ۰/۵ و ۴ متر، و افزایش ۵۰ درصدی پمپاژ در مناطق شرقی دشت، به‌ترتیب موجب افت سطح آب زیرزمینی به‌طور متوسط به‌مقدار ۱ و ۳/۵ متر می‌شود.

هم‌چنین مهدوی و همکاران [۱۵] با توجه به افت شدید منابع آب زیرزمینی دشت همدان، با استفاده از مدل PMWIN آبخوان دشت را شبیه‌سازی کردند و پس از آن دو گزینه مدیریتی از جمله ادامه روند فعلی بهره‌برداری بدون افزایش بارش و ادامه روند فعلی بهره‌برداری با افزایش ۲۰ درصدی در میانگین بارش متوسط، برای پنج سال آینده بر روی مدل اعمال گردید. نتایج نشان داد که در صورت ادامه روند فعلی برداشت از آبخوان حتی در صورت افزایش بارش، سطح ایستایی همچنان افت خواهد داشت. هم‌چنین حذف چاه‌های غیرمجاز، تغییر الگوی کشت و تغییر شیوه آبیاری، نتایج مثبتی بر وضعیت آینده آبخوان خواهند داشت.

در طی سال‌های اخیر روند افت منابع آب زیرزمینی، بیشتر بخش کشاورزی را تحت شعاع خود قرار داده است، به همین دلیل، به مطالعات زیادی در جهت تغییر الگوی آبیاری و کشت، کاهش تبخیر در راستای افزایش راندمان آبیاری صورت گرفته است.

بذرافشان [۳] به بررسی نیاز آبی بر اساس تغییر الگوهای آبیاری و تأثیر آن بر بیلان آبی دشت یزد–اردکان با استفاده از نرم‌افزار OPTIWAT پرداختند. نتایج نشان داد تغییر الگوی کشت میزان بهره‌برداری از آبخوان دشت را کاهش و به میزان ذخیره سفره‌های زیرزمینی می‌افزاید.

حسین و همکاران [۹] در جهت صرفه‌جویی آب در مناطق خشک، به بررسی اثرات آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرزمینی بر روی محصول گوجه فرنگی پرداختند. نتایج حاکی از این بود که با آبیاری زیرزمینی ۴۰ درصد از برداشت آب کاهش خواهد یافت.

مارتینز و همکاران [۱۶] به دلیل کمبود منابع آب در بخش کشاورزی، به ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی پرداختند، تا گزینه مناسب و کارآمد جهت صرفه‌جویی منابع آب معرفی گردد. در طی سه سال مطالعه، آبیاری زیرزمینی بالاترین عملکرد در تولید مرکبات و هم‌چنین کمترین حجم آبیاری را در پی داشت و موجب ۲۷/۹– ۲۲/۴ درصد صرفه‌جویی در منابع آب گردید.

بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که با شبیه‌سازی آبخوان‌های زیرزمینی و اعمال گزینه‌های مدیریتی می‌توان وضعیت آینده منابع آب زیرزمینی را بهبود بخشید. به همین دلیل در این مطالعه سعی شد ابتدا آبخوان دشت ابرکوه شبیه‌سازی گردد ولی با این تفاوت که سناریوهای مختلف مدیریتی در زمینه تغییر الگوی کشت، تغییر الگوی آبیاری و کاهش تبخیر مورد استفاده قرار گیرد.

باتوجه به مطالب ذکر شده، می‌توان راهکارهای مدیریتی متفاوتی را برای تقویت و تعادل‌بخشی آب آبخوان‌ها به‌منظور کنترل افت سطح آب زیرزمینی ارائه کرد. منطقه ابرکوه از جمله مناطق بحرانی از نظر وضعیت منابع آبی می‌باشد. توسعه فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و افزایش جمعیت، موجب استحصال بی‌رویه منابع آب زیرزمینی و تهدیدی جدی برای منطقه گردیده است. علی‌رغم این واقعیت تاکنون مطالعه جامعی در خصوص بررسی پتانسیل منابع آب زیرزمینی و آینده‌نگری وضعیت آبخوان و چاره‌جویی وضعیت موجود، انجام نشده است. در این پژوهش سعی برانیست تا آبخوان دشت ابرکوه با استفاده از نرم‌افزار GMS شبیه‌سازی گردد و بهترین و کاربردی‌ترین سناریوها متناسب با پتانسیل منطقه و در جهت کنترل بحران آب مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

– معرفی منطقه

منطقه مورد مطالعه دشت ابرکوه با وسعت۱۲۵۰ کیلومترمربع، جزئی از حوضه آبریز کویر ابرکوه–سیرجان می‌باشد. از نظر موقعیت جغرافیایی بین طول‌های "۲۰ '۳۹ °۵۲ تا "۵۷ '۳۰ °۵۳ شرقی و عرض‌های"۵۳ '۴۰ °۳۰ تا "۰۶ '۳۱ °۳۱ شمالی قرار گرفته است. این منطقه از شمال به حوضه طاقستان، از شرق به زیر حوضه نیر–دهشیر، از سمت جنوب و جنوب شرق به زیرحوضه مروست و از غرب به حوزه آباده–اقلید از استان فارس محدود می‌شود. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی آبخوان دشت ابرکوه را نشان می‌دهد.

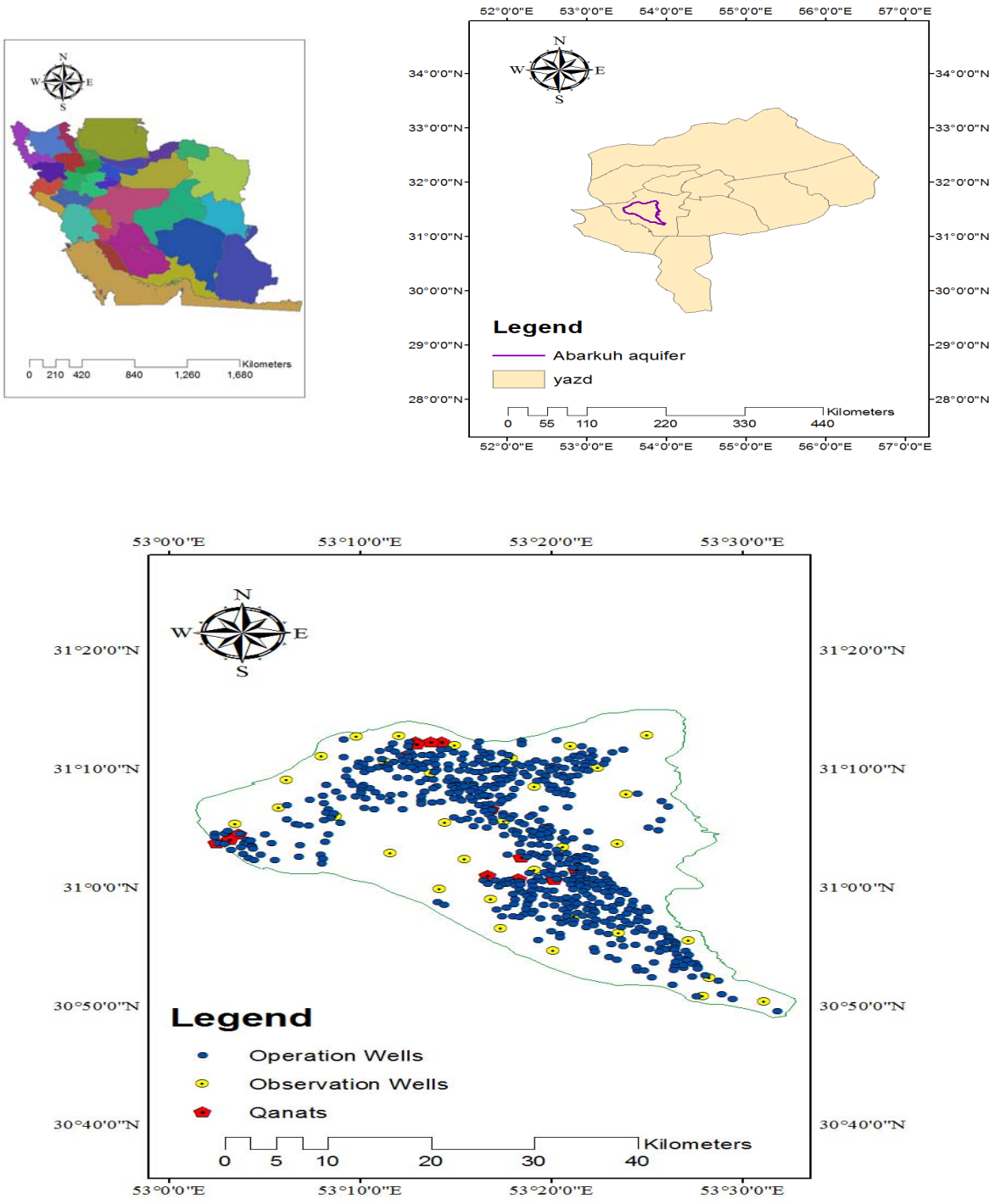
محدوده مورد بررسی به لحاظ ساختاری– رسوبی در زون ایران مرکزی واقع است و سنگ‌های آذرین و دگرگون شده پی‌سنگ منطقه را تشکیل می‌دهند. وجود کوه‌های میاندشتی در نواحی شرقی و جنوب شرقی شهر ابرکوه و در پهنه این دشت بیانگر اینست که سنگ کف در نواحی مختلف، از ارتفاع و شرایط توپوگرافی بسیار متغیری برخوردار است و این موضوع را گسل‌های بسیار متعدد و عمدتاً متقاطع نیز تأیید می‌نماید. آمار هیدرولوژی و هواشناسی نشان می‌دهد که اقلیم منطقه مذکور بر اساس روش دومارتن اصلاح شده از نوع سرد و خشک است، حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته معادل ۴۹ میلی‌متر و میانگین بارش سالانه ۵۸/۸ میلی‌متر است. هم‌چنین بیشترین درجه حرارت، ۴۶/۴ درجه سانتی‌گراد مربوط به مردادماه و حداقل دما ۱۴/۴– درجه‌سانتی‌گراد در دی‌ماه و هم‌چنین میانگین دمای سالانه ۱۸/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. تبخیر سالانه از سطح آزاد ۳۲۵۵ میلی‌متر و حداکثر تبخیر و تعرق منطقه مورد مطالعه در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور است [۲۰].

بر اساس اطلاعات حاصل از آماربرداری منابع آب در سال آبی ۱۳۸۹–۱۳۸۸ ، ۷۳۰ حلقه چاه بهره‌برداری و ۳۱ قنات در منطقه وجود دارند که اکثراً برای تأمین آب کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ۳۶ حلقه چاه مشاهده‌ای در زمان‌های مختلف جهت مطالعه و آماربرداری آبخوان، حفر گردیده است: که سه حلقه از

Archive of SID
www.SID.ir

آن‌ها خارج از محدوده مدل قرار می‌گیرد و سایر چاه‌ها در مباحث مدل‌سازی واسنجی و صحت‌سنجی مدل ریاضی مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۱ موقعیت مکانی چاه‌های بهره‌برداری، مشاهده‌ای و قنات‌های موجود در دشت ابرکوه را نشان می‌دهد.

Archive of SID

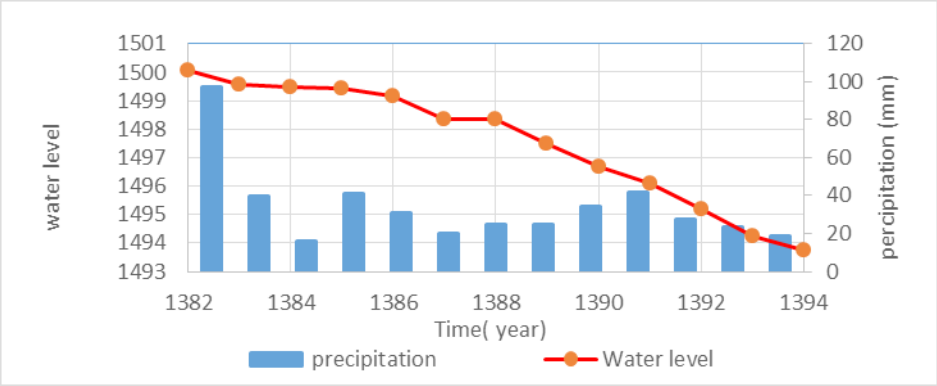


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخوان دشت ابرکوه به‌همراه موقعیت مکانی چاه‌های بهره‌برداری، مشاهده‌ای و قنات‌های موجود

Fig 1. General schematic view of Abarkuh Aquifer and the location of the exploitation wells, observation wells and qanat

www.SID.ir

Archive of S



شکل۲- تغییرات بارش و ارتفاع سطح آب زیرزمینی دشت ابرکوه

Fig 2. Precipitation Changes and Groundwater Fluctuations of Abarkuh Plain.

مدل‌سازی آبخوان:

در این تحقیق، به‌منظور بررسی وضعیت آبخوان، مدل Modflow از بسته نرم‌افزاری GMS 10.2 مورد استفاده قرارگرفت.

برای ساخت مدل مفهومی، اطلاعات مورد نیاز شامل تعیین مرز آبخوان، نوع و مواد تشکیل‌دهنده آبخوان، نحوه ارتباط آبخوان زیرزمینی با تشکیلات زمین‌شناسی پیرامون دشت و مجموعه‌های آب سطحی و حدود مرزهای هیدرولوژیکی، منابع تخلیه و تغذیه و سیستم جریان آب زیرزمینی با استفاده از مطالعات و داده‌های موجود در شرکت سهامی آب منطقه‌ای یزد تهیه گردید. در تهیه و استخراج این اطلاعات از داده‌های مختلف از جمله نقشه‌های توپوگرافی، اطلاعات ژئوفیزیک، آزمون‌های پمپاژ، داده‌های چاه‌های مشاهداتی و دبی برداشتی از چاه‌های بهره‌برداری استفاده شد. سپس از داده‌های مهر ماه ۱۳۸۸ برای ساخت مدل در شرایط پایدار استفاده شد. پس از اجرای مدل در حالت پایدار، برای کاهش اختلاف تراز آب محاسباتی و مشاهده‌ای نیاز به واسنجی پارامترهای مختلف هیدرولوژیکی است. ابتدا شرایط مرزی به‌صورت دستی و آزمون خطا واسنجی شد و در ادامه پارامترهای ضریب هدایت هیدرولیکی و تغذیه سطحی به‌صورت اتوماتیک و به کمک روش PEST که به نرم‌افزار GMS اضافه شده است، واسنجی گردید. مدل در شرایط پایدار با معیارهای میانگین خطا (ME[1])، میانگین قدر مطلق خطا (MAE[2]) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE[3]) مورد ارزیابی قرار گرفت. برای اصمینان از صحت مدل واسنجی شده در شرایط پایدار، مدل برای دوره مهرماه ۱۳۸۹ اجرا و از نتایج آن جهت صحت‌سنجی استفاده گردید. بدین منظور نیز از معیارهای ME, MAE و RMSE استفاده شد.

پس از تأیید مدل در حالت پایدار، جهت بررسی وضعیت آبخوان دشت ابرکوه مدل در شرایط ناپایدار برای ۳۶ دوره تنش ساخته شد. برای بدست آوردن نتایج بهتر سعی شد از جدیدترین و کامل‌ترین اطلاعات آماری که مربوط به سال‌های آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۵ استفاده گردد. مدل در حالت ناپایدار هم مورد واسنجی قرار گرفت و مقادیر آبدهی ویژه و تغذیه از سطح، به روش PEST واسنجی شدند و معیارهای خطای RMSE، MEA و ME مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت برای اطمینان از صحت شبیه‌سازی آبخوان دشت ابرکوه، با استفاده از داده‌های سال‌های آبی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۱ به صورت ۳۶ دوره تنش، صحت‌سنجی مدل در حالت ناپایدار انجام گرفت.

با اطمینان خاطر از مدل شبیه‌سازی شده آبخوان دشت ابرکوه در محیط مدل Modflow سناریوهای مدیریتی مختلفی در جهت تعادل‌بخشی آبخوان بر روی مدل اعمال شد و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

ترسیم هیدروگراف تغییرات آب زیرزمینی منطقه به همراه متوسط بارش از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۴ (شکل ۲) بیانگر این است که روند کلی تراز آب زیرزمینی منطقه نزولی می‌باشد و به عبارتی ذخایر آب زیرزمینی منطقه در حال کاهش است که عوامل خشکسالی و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در این روند تأثیرگذارند، منتهی اهمیت برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی دشت ابرکوه نسبت به کاهش بارندگی قابل مشاهده است.

- مدل‌سازی آبخوان دشت ابرکوه

مدل پایدار آبخوان

نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی مدل در شرایط پایدار در جدول ۱ آمده است. نتایج به‌دست آمده از این ارزیابی بیانگر میزان دقت مدل در شرایط پایدار است.

یکی از اهداف اجرای مدل در شرایط پایدار، واسنجی پارامتر هدایت هیدرولیکی است. دقت در تعیین این پارامتر تأثیر زیادی در دقت سایر عوامل دارد و نتایج بدست آمده در شبیه‌سازی مدل ناپایدار مورد استفاده قرار خواهد گرفت. نتایج حاصل از واسنجی هدایت هیدرولیکی در شکل ۳ آمده است، براساس نتایج واسنجی در حالت پایدار، میزان این پارامتر بین ۲/۲ متر در روز و ۷/۷ متر در روز متغیر می‌باشد.

1- Mean Error
2- Mean Abolute Error
3- Root Mean Squared Error

www.SID.ir

جدول۱- دقت مدل در حالت پایدار

Table 1. Model accuracy in steady state

RMSE	MEA	ME	Parameter
0.31	0.73	0.04	Calibration values
1.10	0.94	-0.11	Validation Values

جدول۲- دقت مدل در حالت ناپایدار

Table 2. Model accuracy in Transient state

RMSE	MEA	ME	Parameter
1.042	0.91	0.1	Calibration values
1.10	0.97	0.13	Validation Values

مدل ناپایدار آبخوان

نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی مدل ناپایدار با استفاده از آماره‌های ME, MEA, RMSE در جدول ۲ ارائه شده است. باتوجه به نتایج موجود در جدول ۲ می‌توان دریافت که شبیه‌سازی ابخوان دشت ابرکوه توسط مدل Modflow از قابلیت اطمینان کافی برخوردار است. از طرفی بر اساس نتایج واسنجی در شرایط ناپایدار، میزان آبدهی ویژه برابر با ۰/۰۰۳۱ تا ۰۰/۰۲۷ متغیر می‌باشد. مقادیر آبدهی ویژه متوسط با استفاده از داده‌های لوگ چاه‌های اکتشافی موجود در منطقه مورد مطالعه، ۲/۷۵ درصد به دست آمده است که با نتایج به‌دست آمده از مرحله واسنجی مدل ناپایدار مشابه می‌باشد.

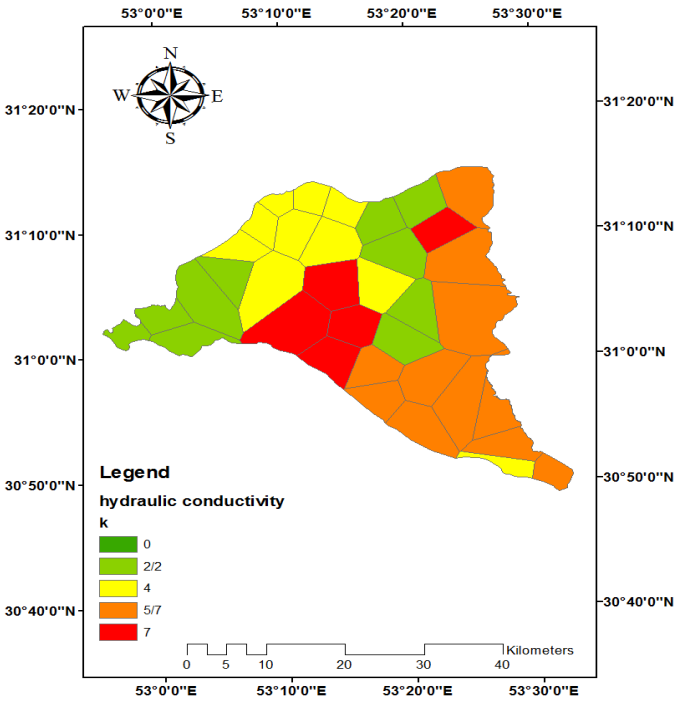
با توجه به نتایج فوق می‌توان گفت که مدل واسنجی شده از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و مدل ریاضی می‌تواند به خوبی شرایط طبیعی حاکم بر آبخوان دشت ابرکوه را شبیه‌سازی کند، که با نتایج درگوانی و همکاران [۵]، چیت‌سازان و همکاران [۴] هم‌خوانی دارد.

بعد از مرحله صحت‌سنجی مدل ناپایدار و اطمینان از عملکرد مناسب مدل، می‌توان از نتایج آن برای پیش‌بینی وضعیت آبخوان در آینده استفاده کرد. درواقع هدف اصلی اکثر مدل‌سازی‌ها پیش‌بینی است. در این مرحله تعیین مدت زمانی که مدل بتواند با دقت زیاد آن را پیش‌بینی نماید مهم است که بسته به اهداف مختلف متفاوت است. با بررسی و مطالعات انجام شده در این زمینه و هم‌چنین تشکیل جلسات متعدد توسط خبرگان آگاه به مسائل منابع آب و کشاورزی، به‌منظور پیش‌بینی وضعیت آبخوان در آینده، پس از واسنجی و صحت سنجی مدل، شش سناریو تدوین و عکس‌العمل سیستم نسبت به این سناریوها مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در نمودار تغییرات بارش دشت ابرکوه قابل مشاهده است، کاهش بارش یک روند طبیعی را دربی دارد و در راستای بهبود وضعیت آبخوان دشت ابرکوه، سناریوهای مدیریتی با محوریت کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی در نظر گرفته که به شرح ادامه می‌باشند:

تعریف سناریوهای مدیریتی

۱- ادامه روند کنونی در بهره‌برداری به صورت یک ساله.

در این سناریو فرض شده است که روند کنونی بهره‌برداری از



شکل۳- مقادیر واسنجی شده هدایت هیدرولیکی در مرحله پایدار

Fig 3. Calibrated hydraulic conductivity values in steady state

Archive of SID
www.SID.ir

چاه‌ها در دوره آتی ادامه می‌یابد. سایر شرایط از قبیل شرایط مرزی آبخوان و تغییرات اقلیمی نیز مانند قبل در نظر گرفته شده است. شکل ۴ تغییرات متوسط سطح آب زیرزمینی تعدادی ازچاه‌های مشاهده‌ای دشت ابرکوه را در دوره آتی را نسبت به دوره‌ی فعلی نشان می‌دهد.

ادامه روند کنونی برداشت از آبخوان منجر به افت سالانه ۱/۵ متر در آبخوان خواهد شد. چاه‌های مشاهده‌ای در شمال و شمال‌غرب آبخوان دشت ابرکوه بعد از اعمال سناریوی فوق، به افت شدید سالانه ۳ متر خواهند رسید که این نتایج بحرانی بودن وضعیت منابع آب شمال و شمال‌غرب آبخوان را نشان می‌دهد و با یافته‌های فاتحی مرج [۶]، و حافظی [۸] و دراگونی و همکاران [۳] مبنی بر افت شدیدتر حادث شده از اعمال تنش‌های مختلف، در بخش‌های با تراکم بیشتر چاه‌های بهره‌برداری هم‌خوانی دارد.

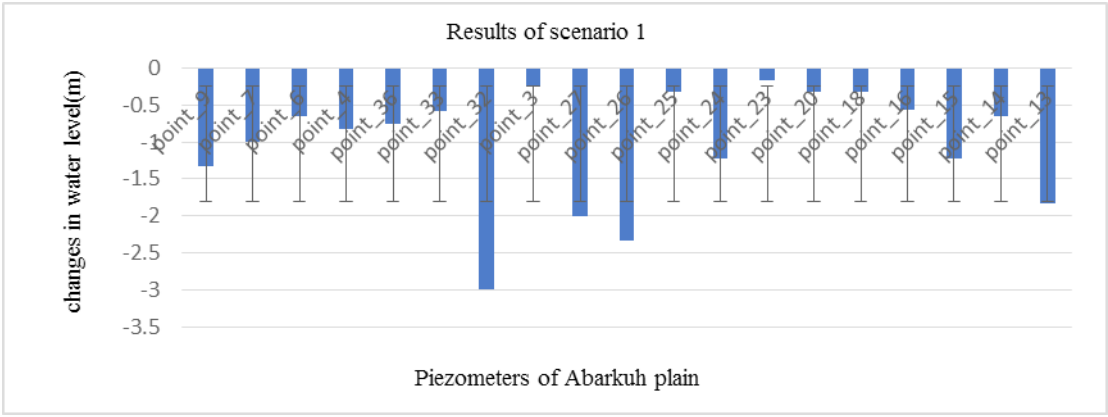
۲- تغییر شیوه آبیاری از روش‌های سطحی به روش‌های تحت فشار با دور بالا که منجر به کاهش برداشت تا ۳۰ درصد خواهد شد.

همان‌طور که با اعمال سناریوی ادامه روند کنونی مشخص شد، منطقه با افت شدید سطح آب در آبخوان روبه‌رو است. لذا برای مدیریت مصرف، نیاز به سناریوهایی هست که مانع چنین افتی شود. یکی از سناریوهای مدیریتی و اجرایی موردنظر، تغییر شیوه آبیاری از روش‌های سطحی به روش‌های تحت فشار با دور بالا است. مجموع اراضی زیرکشت باغی در دشت ابرکوه ۶۲۴۴ هکتار، اراضی زراعی ۷۶۸۳ هکتار و اراضی صیفی و گلخانه ۱۰/۹ هکتار می‌باشد. بیشتر اراضی مذکور به شیوه سنتی آبیاری می‌شود که به دلیل راندمان پایین موجب اتلاف آب، کاهش تولید و برداشت بیشتر و فشار به مخازن زیرزمینی می‌شود [۲۱]. برای کلیه سناریوهای تغییر الگوی آبیاری بر وضعیت آبخوان، از الگوهای پیشنهادی توسط کارشناسان زراعی جهاد کشاورزی استان استفاده شد [۲۱]. شکل ۵ نتایج حاصل از اعمال این سناریو را در تعدادی ازچاه‌های مشاهده‌ای را نشان می‌دهد.

بعد از اعمال این سناریو افت آبخوان در یک دوره سه ساله به ۳ متر خواهد رسید. به عبارتی، سالانه ۰/۷۵متر افت را خواهیم داشت.

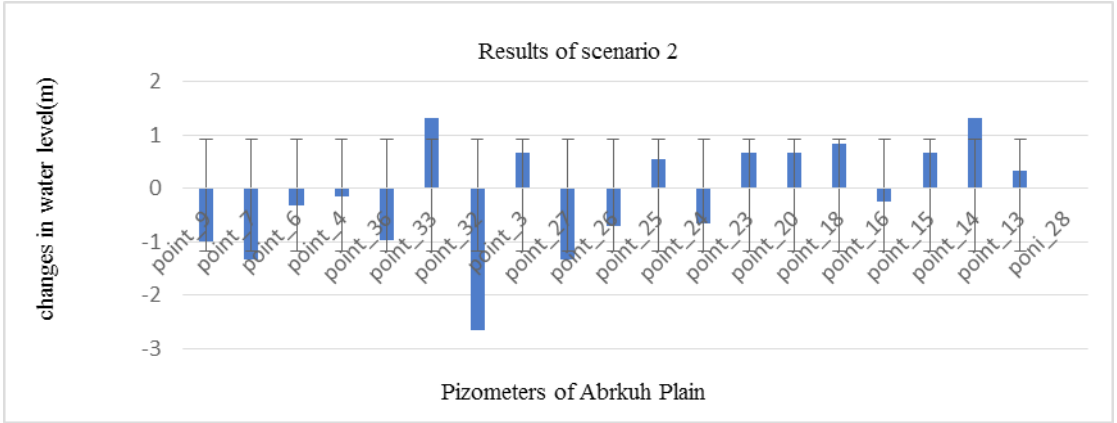
۳- تغییر الگوی آبیاری از روش‌های سطحی به روش‌های آبیاری زیرزمینی که باعث کاهش برداشت تا ۵۰ درصد خواهد شد.

الگوی آبیاری از روش‌های سطحی به روش‌های آبیاری زیرزمینی که باعث کاهش برداشت ۵۰ درصدی خواهد.. براساس اطلاعات موجود در شکل ۶ بعد از اجرای این سناریو افت متوسط سالانه آبخوان به ۰/۵ متر خواهد رسید. به عبارتی هرچند هنوز بیلان منفی می‌باشد ولی در مقایسه با سناریوهای قبلی، آبخوان با افت کمتری مواجه است.



شکل ۴- افت سطح آب در دوره آتی نسبت به حالت ناپایدار در تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای بعد از اعمال سناریو یک

Fig 4. Decreas in the water level in a number of piezometers in the future period considering scenario one

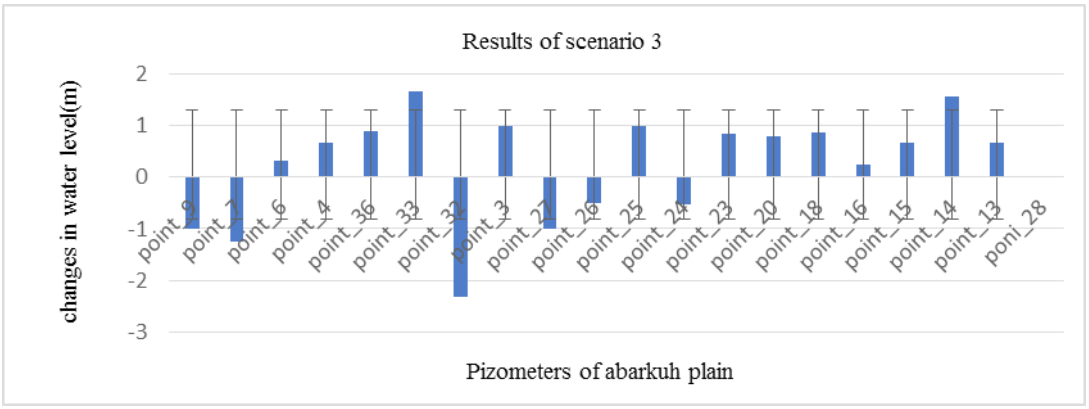


شکل ۵- افت سطح آب در دوره آتی نسبت به حالت ناپایدار در تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای بعد از اعمال سناریو دو

Fig 5. Decreas in the water level in a number of piezometers in the future period considering scenario two.

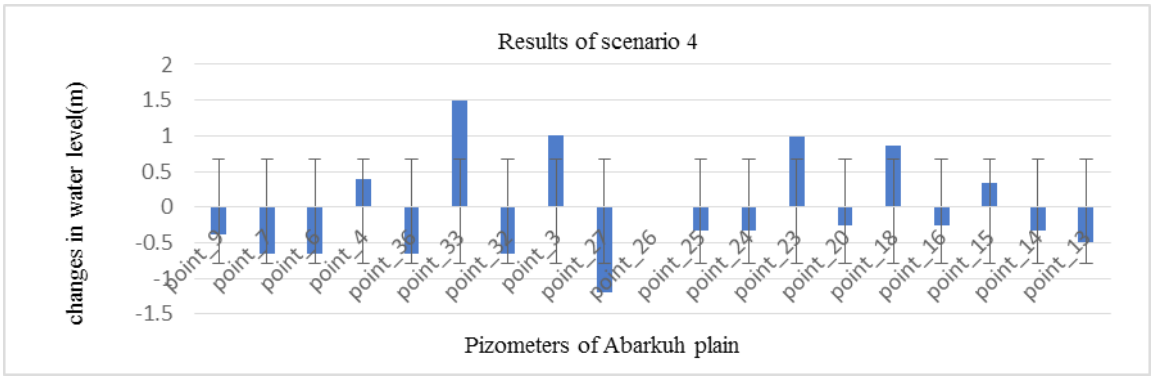
Archive of SID
www.SID.ir

Archive



شکل ۶- افت سطح آب در دوره آتی نسبت به حالت ناپایدار در تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای بعد از اعمال سناریو سه

Fig 6. Decreas in the water level in a number of piezometers in the future period considering scenario three.



شکل ۷- افت سطح آب در دوره آتی نسبت به حالت ناپایدار در تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای بعد از اعمال سناریو چهارم

Fig 7. Decreas in the water level in a number of piezometers in the future period considering scenario four

۴- تغییر الگوی کاشت از درخت زردآلو به پسته کاری

با توجه به این‌که یکی از اهداف تحقیق، دست‌یابی به تعادل آبخوان در دوره‌های آتی است؛ برای رسیدن به این مهم، در این سناریو فرض شده است که باغاتی که در شرایط فعلی زردآلو کشت می‌کنند، باتوجه به این‌که نیاز آبی درخت زردآلو و پسته به‌ترتیب ۱۴۷۷/۶۳ و ۱۰۲۹/۳۳ مترمکعب در هکتار است. تغییر الگوی کشت داده و به کشت درخت پسته با نیاز آبی کمتر از زردآلو بپردازند. این باغات در قسمت شمال غربی آبخوان قرار دارند و در تمام سناریوهای اعمال شده هم‌چنان با افت شدیدتر روبه‌رو می‌باشند. شکل ۱۵ تغییرات متوسط سطح تعدادی از پیزومترها را بعد اجرای این سناریو نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی آبخوان با این سناریو، به‌طور متوسط افت در این شرایط در مناطق موردنظر از ۶ متربه ۴ متر خواهد رسید.

۵- استفاده از پوشش‌های یونولیت و توپ‌های سیاه پلاستیکی[1] در راستای کاهش ۲۰-۲۵ درصدی برداشت

از آن‌جایی که شیوه آبیاری رایج در منطقه مورد مطالعه، آبیاری سطحی (غرقابی) است و به ازای هر چاه بهره‌برداری یک استخر جهت پمپاژ و جمع‌آوری منابع آب زیرزمینی احداث گردیده است. مساحت استخرهای موجود تقریبا ۹۰ مترمربع می‌باشد و از طرفی، تبخیر سالانه دشت ابرکوه از سطح آزاد ۳۲۵۵ میلی‌متر است. سناریوی تحت استفاده از پوشش‌های یونولیت و توپ‌های سیاه پلاستیکی که کاهش برداشت به میزان ۲۰ تا ۲۵ درصد را در پی خواهد داشت، به مدل معرفی شد. قابل ذکر است مطالعه‌ی افخمی و همکاران [۱] در مجتمع مس سرچشمه، با هدف کاهش تبخیر از مخازن آبی و سد رسوب‌گیر مجتمع از پوشش شناور یونورینگ با استفاده از لاستیک‌های فرسوده مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که تبخیر تا ۷۷/۸۷ درصد کاهش یافته است. این مطالعه نقش به‌سزای در انتخاب سناریوی فوق داشت. شکل ۸ شامل نتایج مربوط به اعمال این سناریو در پیزومترهای دشت ابرکوه می‌باشد. با توجه به شکل۸ به طور متوسط افت آبخوان در یک دوره سه ساله به ۳/۵ متر و سالانه ۰/۸۷ متر خواهد رسید.

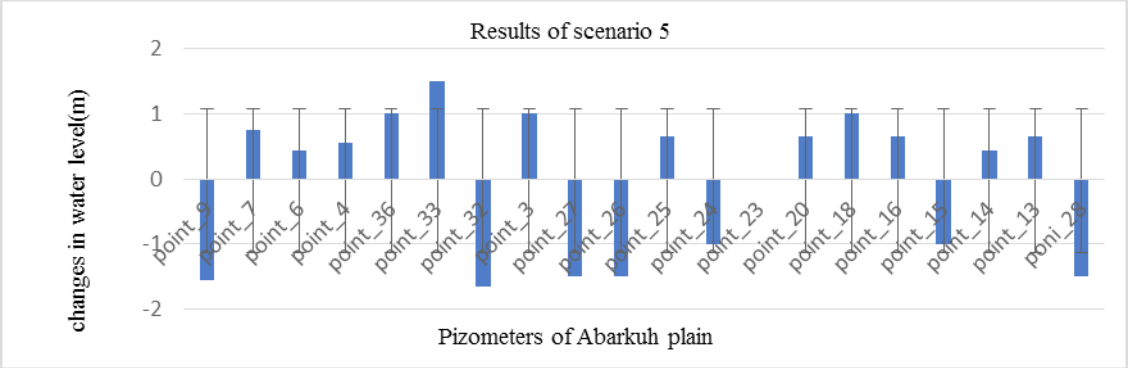
۶- کاهش برداشت با توجه به، استفاده از بادشکن‌های غیر زنده (دیوارهای گلی) با فاصله ۳۰ متر و ارتفاع ۲ متر در منطقه، شیدهای سایبان به همراه به کارگیری آبیاری زیرزمینی که کاهش ۶۰ درصدی در برداشت را خواهد داشت.

شرایط اقلیمی منطقه بیانگر این است که در سال‌های اخیر تبخیر بالا و خسارات ناشی از اثرات مکانیکی باد، کشاورزان را با مشکلات عمده‌ای مواجه کرده است. در این راستا سناریوی مدیریتی تحت عنوان کاهش برداشت با توجه به، استفاده از بادشکن‌های غیر

1- SHADEBALL

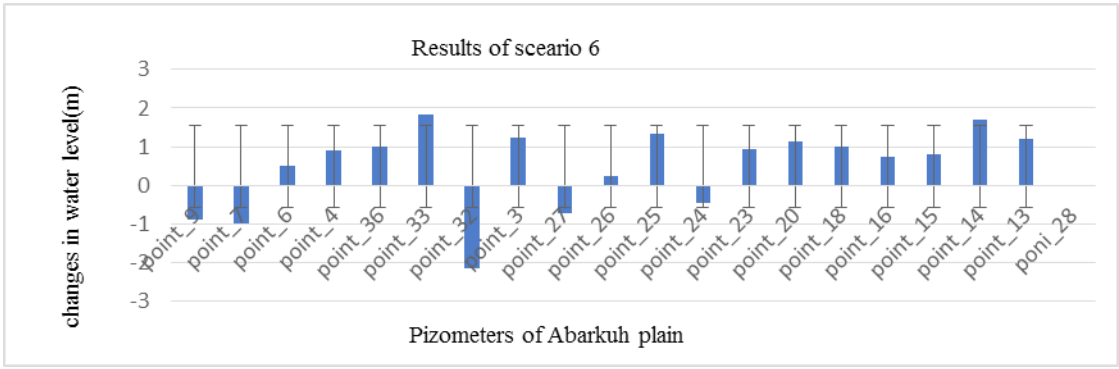
www.SID.ir

Archive



شکل ۸- افت سطح آب در دوره آتی نسبت به حالت ناپایدار در تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای بعد از اعمال سناریو پنجم

Fig 8. Decreas in the water level in a number of piezometers in the future period considering scenario five.



شکل ۹- افت سطح آب در دوره آتی نسبت به حالت ناپایدار در تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای بعد از اعمال سناریو ششم

Fig 9. Decreas in the water level in a number of piezometers in the future period considering scenario six

زنده (دیوارهای گلی) با فاصله ۳۰ متر و ارتفاع ۲ متر در منطقه، هم‌چنین استفاده از توری شید سایبان (شید کشاورزی) تعریف شد این توری‌ها از هجوم آفات و حشراتی که بر روی درختانی همچون زردآلو و پسته جلوگیری می‌کنند، هم‌چنین در مناطق نیمه‌خشک و با تبخیر بالا، باعث کاهش تبخیر و افزایش تولید می‌شوند، که می‌توان بر روی بادشکن‌های غیر زنده نصب کرد. این روش‌ها به همراه تغییر شیوه آبیاری یکی از بهترین سناریوها می‌باشد، نتایج اعمال این سناریو در شکل ۹ آمده است.

همان‌طور که در شکل۹ قابل مشاهده است، با اعمال این سناریو به‌طور متوسط سطح زیادی ازآبخوان نه تنها با افت مواجه نیست بلکه تا ۱/۵ متر افزایش سطح آب را خواهیم داشت.

بحث و نتیجه‌گیری

مبحث مدیریت منابع آب زیرزمینی به دلیل تأثیر پارامترهای متعدد بر روی نوسانات سطح ایستایی، یکی از مباحث پیچیده مدیریتی بشمار می‌رود. مدیریت آبخوان در واقع عبارت است از مجموعه عملیات و تدابیری که طی آن می‌توان به نحو مطلوبی از امکانات و ظرفیت‌های موجود در راستای بهره‌برداری بهینه از آبخوان مورد نظر استفاده کرد [۲۲].

آبخوان دشت ابرکوه منبع تأمین‌کننده آب مورد نیاز بخش‌های مختلف مصرف در شهرستان ابرکوه می‌باشد که متاسفانه در سال‌های اخیر به دلیل برداشت بی‌رویه، خشکسالی و عدم مدیریت مناسب، دچار افت و کاهش منابع آب زیرزمینی شده است و در نتیجه لطمه به بخش

کشاورزی را در پی خواهد داشت. لذا تجدیدنظر در روش‌های بهره‌برداری از منابع آب منطقه از جمله موضوع‌های مهم است که باید مورد توجه قرار گیرد. به‌منظور بررسی سناریوهای مدیریتی بر وضعیت آینده آبخوان از مدل Modflow استفاده شد. آبخوان دشت ابرکوه برای یک دوره سه ساله (۱۳۹۲- ۱۳۹۵) شبیه‌سازی شد . پس از واسنجی، مدل برای یک دوره ۳۶ ماهه (۱۳۸۸- ۱۳۹۱) مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. نتایج حاکی از این بود که مقادیر RMSE، ME، MAE در حالت صحت‌سنجی به‌ترتیب ۱/۱۰، ۰/۹۷، ۰/۱۳ حاصل شد که باتوجه به نتایج فوق می‌توان گفت مدل از دقت قابل قبولی برخوردار است و در نهایت راه‌کارهایی در جهت تعادل‌بخشی آبخوان با توجه به نظرات خبرگان آگاه به مسائل منابع آب و کشاورزی و شرایط محیطی منطقه پیشنهاد شد. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد، در صورت ادامه روند بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی دشت ابرکوه، آبخوان با افت سالانه ۱/۵ متر روبه‌رو خواهد شد و تأمین آب مورد نیاز بخش‌های مختلف به‌ویژه بخش

www.SID.ir

کشاورزی که به‌طور کامل به این منابع وابسته است دچار مشکلات فراوان خواهد شد. با توجه به این‌که میزان تلفات آبیاری در منطقه زیاد و راندمان کشاورزی بسیار پایین می‌باشد، سناریوی تحت تغییر شیوه آبیاری، از آبیاری سطحی به آبیاری تحت فشار با دور بالا اعمال شد که نتایج نشان داد باعث بهبود وضعیت نسبی آبخوان در مقایسه با سناریوی قبل شده، به‌طوری که متوسط سالانه افت، ۰/۷۵ متر محاسبه شد.

از آن‌جایی که منطقه مورد مطالعه پتانسیل اعمال سناریو تغییر شیوه آبیاری از سطحی به زیرزمینی را دارد با اعمال این سناریو افت سطح تراز منابع آب زیرزمینی منطقه به سالانه ۰/۵ متر خواهد رسید.

قسمت‌هایی از منطقه افت شدیدتری نسبت به دیگر قسمت‌ها دارند، کشت غالب این مناطق درخت زردآلو است، به‌همین دلیل سناریویی در جهت تغییر نوع کشت از زردآلو به پسته معرفی گردید و نتایج نشان داد با اعمال این تغییرات می‌توان افت آبخوان را از دو متر در سال به یک متر در سال رساند.

بحرانی بودن شرایط سفره‌های آب زیرزمینی دشت ابرکوه، و عدم تعادل آن با سناریوهای گفته شده، و هم‌چنین دارا بودن پتانسیل‌های لازم در منطقه جهت اعمال سناریوهای مدیریتی در جهت رسیدن به تعادل بخشی آبخوان، شرایط را مهیا می‌کند که تعدادی سناریوها را در کنار هم اعمال کنیم، تغییر شیوه آبیاری به آبیاری زیرزمینی، استفاده از بادشکن‌های غیر زنده و اجرای شیدهای سایبان می‌توانند ۶۰ تا ۶۵ درصد برداشت کاهش دهند. با تعریف این سناریو بیشتر مساحت منطقه مورد مطالعه نه تنها دیگر با افت مواجه نیست بلکه آبخوان به‌طور متوسط افزایش ۱/۵ متری را خواهد داشت.

منابع

1.Afkhami, H. Malekinezhad, H. Esmailzade, A. 2017. Designing a floating unloading coating using worn tires to reduce evaporation from open water resources. Journal of Water Resources Research. 3(41), 214-219. (In persina)

2.Barzgari, F Maleki Nejad, h. 2016. Optimal allocation of water resources using appropriate optimization methods (Yazd-Ardakan plain), dissertation for obtaining a doctoral degree, Natural Resources and Desertification Faculty, Yazd University.

3. Bazrafshan, A. 2017. Investigating and presenting a comprehensive water demand management plan based on appropriate cropping patterns and water requirements. Masters Dissertation. Department of natural resources. Yazd university. (In Persian)

4.Chitsazan, M. 2010. Drought Effects on Quantitative Reduction of Meidwater Plain Underground Waters Using Mathematical Model, Second National Conference on Drought Effects and its Management Solutions, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center(In Persian).

5.Dragoni, W., Mottola, A., & Cambi, C. 2013. Modeling the effects of pumping wells in spring management: the case of Scirca spring (central Apennines, Italy). Journal of Hydrology, 493, 115-123.

6.Fatehi marj, A. 2009. Evaluation of artificial nutrition by flood spreading using a mathematical model in Bam Plain Water Plain (Kerman Province). Final report of research project, Soil Conservation and Watersheds Research Center, 136 pages.(In Persian).

7.Ghodrati, m. saabani, a. 2013. Mathematical Models of Groundwater, Sina Danesh Publication. 203 p. .(In Persian)

8.Hafezi, S. 2005. Application of Modflow in Groundwater Management and Evaluation of Artificial Recharge Project of Ab-barik Aquifer. Journal of Water and Sewage, 15: 2. 45-58(In Persian).

9.Hussein, M. Ghobari, A. Ahmad, Z. 2018. Integrating deficit irrigation into surface and subsurface drip irrigation as a strategy to save water in arid regions. Agricultural Management. 209. 55-61.

10. Javadi, S. 2010. Forecasting and determining the risk of contamination of groundwater aquifers using the Rated-Analytical Method and Monte Technique. Phd dissertation. Tarbiat Modares University. (In persina)

11.Jonobi, R. Rezai, H. Bahmanesh, J.2014. Groundwater level through a combination of surface and subsurface water management using the Modflow model. Journal of Water Management and Irrigation. 3:1.49-68(In Persian).

12.Jusseret, S. Tam, V.T. Dassargues.A. 2009. Groundwater flow modelling in the central zone of Hanoi, Vietnam. Hydrogeology Journal 17: 915-934.

13.Lachaal, F. Mlayah, A. Bedir, M. Tarhouni, J. Leduc, C. 2012. Implementation of a 3-D groundwater flow model in a semi-arid region using MODFLOW and GIS tools: The Zeramdine- Beni Hassen Miocene aquifer system (east-central Tunisia). Computers.

14. Larroque,F. Treichel, W. Dupuy,A. 2008. Use of unit response functions for management of regional

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

multilayered aquifers; application to the North Aquitanie Tertiary system. Hydrogeology Journal. 16: 215-233.

15.Mahdavi, M. Farokhzad, B. Salajeghe, A. Malekiyan, A. Sori, M. 2013. Simulation of the aquifer of Hamedan-bahar Plain with the review of management scenarios with the PMWIN model. Journal of Watershed Research. 98. 108-116. (In persina)

16. Martinez-Gimeno, M.A. Bonet, L. Provenzano, G. Badal, E. 2018. Assessment of yield and water productivity of clementine trees under surface and subsurface drip irrigation. Agricultural Water Management. 206. 209-216.

17. Mohtasham, M. Dehghani, AA. Akbarpour, A. Moftah, M. 2012. Estimation of water level in aquifer using GMS software. Fourth Iranian Water Resources Management Conference. .(In Persian)

18. Narula, K. K., & Gosain, A. K. 2013. Modeling hydrology, groundwater recharge and non- point nitrate loadings in the Himalayan Upper Ymuna basin. Science of the Total Environment, 468, S102-S116.

19. Nikbakht, J. Najib, Z. 2015. Effect of increasing irrigation efficiency on groundwater fluctuations. Journal of Water Management and Irrigation. 5(1). 116-127. (In persina)

20.Yazd Regional Water Organization, (2009). Geohydrology study of the Abarkouh plain. (In Persian)

21. Yazd Agriculture Jahad Departement, (2016). Statistics and information from Abarkuh Plain.(In Persian)

22.Sharifi, F. and Ghafouri. 1997. Floodwater spreading in Iran an integrated approach. Raindrope . 2(7). .(In Persian)

23. Surinaidu, L. Gurunadha, V.V.S. Rao, S. Srinu, S. 2014. Hydrogeological and groundwater modeling studies to estimate the groundwater inflows into the coal mines at different mine development stages using MODFLOW, Andhra Pradesh, India. Water Resources and Industry. 7(8): 49-65

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

www.SID.ir

نشریه علمی- پژوهشی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering
Vol. 13, No. 46, Fall 2019
سال سیزدهم- شماره ۴۶- پاییز ۱۳۹۸

Investigation of the Management Scenarios for the Aquifer Recovery Using Mathematical Modeling (Case Study: Abarkuh Aquifer)

S. Pourfallah[1], M.R. Ekhtesasi[2], H. Malekinezhad[3] and F. barzegari[4]
Received:05-05-2018 Accepted:22-11-2018

Abstract

Ground waters are considered as substantial water resources in many parts of the world, especially in arid and semi-arid area such as Iran. The population growth, the intensive use of surface water and groundwater resources has often affected ground water levels. Meeting water management objectives, it is essential to have a comprehensive study on the aquifer recharge and ground water withdrawal. In this paper, 3-D analysis MODFLOW model served to simulate Abarkuh aquifer for a three-year period (2013-2015) with 36-time steps. MODFLOW model was calibrated in two steady and Transient states. The model validation was measured using 36-month time steps (October 2009 to September 2012). Root Mean square (RMS) error was used to evaluated the accuracy of the calibrated and validated models. RMS error of the calibrated and validated models were 1.046 and 1.10, respectively. The results showed that continuing current policies for managing water will only widen and deepen water crisis, this condition will reduce aquifer storage and result in decreasing hydraulic head by -1.5 m year-. To control this crisis, different scenarios were simulated to represent the effects of ground water management on the aquifer. These scenarios including changes in irrigation methods, using of evaporation reduction methods and changes in cropping patterns. Results showed that all scenarios are capable to restore and protect the groundwater resources in Abarkuh aquifer. Therefore, adjusting crop farming structures and improving irrigation system have been important means of protecting groundwater resources in this region.

Keywords: Groundwater, Reducing Water Consumption, Operational Management, Abarkuh Plain, MODFLOW.

1. Student Master of Watershed Management, Yazd University
2. Corresponding Author and Professor, Faculty of Natural Resources and Desertification, Yazd University, Email: Mr_Ekhtesasi@yahoo.com
3. Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Desertification, Yazd University
4. Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Payame Noor University

www.SID.ir