



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۴

صفحه‌های ۱۱۵-۱۲۷

اثر افزایش راندمان آبیاری بر نوسانات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت عجب‌شیر - آذربایجان شرقی)

جعفر نیکبخت^{۱*} و زهرا نجیب^۲

۱. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲. کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۱۷

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۱۹

چکیده

برداشت بیش از اندازه از آب‌های زیرزمینی و کاهش نزولات جوی در سال‌های اخیر، سبب افت سطح این آب‌ها شده است. بنابراین، لازم است با مدیریت بهینه، از وارد آمدن خسارت به آن جلوگیری شود. هدف از این پژوهش، بررسی اثر افزایش راندمان آبیاری بر نوسانات سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت عجب‌شیر است. با کمک نرم‌افزار Visual MODFLOW 3.1، آبخوان منطقه شبیه‌سازی شد. از آمار مهر ۱۳۸۳ برای واسنجی مدل در شرایط ماندگار و از دوره آماری مهر ۱۳۷۸ تا شهریور ۱۳۸۴، برای واسنجی مدل در شرایط غیرماندگار استفاده شد. در نهایت، سطح آب زیرزمینی و بیلان آبخوان در دو حالت ادامه روند کنونی روش آبیاری (ثقلی) و تغییر سیستم‌های آبیاری به تحت فشار برای دوره زمانی پاییز ۱۳۸۴ تا تابستان ۱۴۰۰ پیش‌بینی شد. بر اساس نتایج، با ادامه روند کنونی آبیاری، بیلان آبخوان در انتهای دوره زمانی پیش‌بینی، ۲/۴۳- میلیون مترمکعب در سال خواهد بود. با تبدیل سیستم‌های آبیاری سنتی به تحت فشار و افزایش راندمان آبیاری، این مقدار ۳/۹۹ میلیون مترمکعب در سال به دست آمد (۳/۲۳ میلیون مترمکعب در سال افزایش). همچنین بر اساس نتایج، با تغییر سیستم‌های آبیاری، سطح آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر در انتهای دوره زمانی پیش‌بینی، به‌طور متوسط ۴/۶۳ متر افزایش خواهد یافت.

کلیدواژه‌ها: آبخوان دشت عجب‌شیر، آبیاری تحت فشار، آبیاری سطحی، بیلان آب آبخوان، مدل ریاضی آبخوان.

مقدمه

کمک MODFLOW مدل‌سازی شد. نتایج اجرای مدل نشان داد که با ادامه روند فعلی بهره‌برداری از آبخوان منطقه، بعد از هفت سال، سطح آب زیرزمینی ۳۰ متر افت خواهد کرد (۱۵).

با توجه به مطالب ذکر شده، می‌توان راهکارهای مدیریتی متفاوتی را برای تقویت و تعادل بخشی آب آبخوان‌ها به منظور کنترل افت سطح آب زیرزمینی ارائه کرد. اجرای طرح‌های پخش سیلاب، تغذیه مصنوعی آبخوان و مدیریت مصرف صحیح آب در بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی از این راهکارهاست. در بخش کشاورزی، افزایش راندمان انتقال و مصرف آب در اراضی تحت آبیاری، سبب کاهش برداشت آب از منابع آب خواهد شد. با توجه به افت سطح آب زیرزمینی در دشت همدان - بهار در سال‌های اخیر، طی پژوهشی با شبیه‌سازی آبخوان دشت با استفاده از نرم‌افزار PMWin، تأثیر تغییر الگوی کشت دشت و افزایش راندمان آبیاری بر سطح آب زیرزمینی برای دوره‌ای پنج‌ساله (۱۳۸۸-۱۳۹۳) بررسی شد. بر اساس نتایج، در صورت ادامه روند حاضر در بهره‌برداری از آب آبخوان، در انتهای دوره شبیه‌سازی، میزان افت سطح آب زیرزمینی ۴/۵ متر افزایش خواهد یافت که این مقدار معادل ۹۸ میلیون مترمکعب کسری در حجم آب مخزن است. با تغییر الگوی کشت دشت از شرایط حاضر به الگوی کشت بهینه، از نظر اقتصادی، مصرف آب آبخوان ۱۸/۲ میلیون مترمکعب در سال کاهش خواهد یافت. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد با تغییر روش آبیاری از ثقلی به تحت فشار و افزایش راندمان آبیاری، مقدار کاهش برداشت آب از آبخوان ۱۴۱/۹۶ میلیون مترمکعب در سال خواهد بود. بنابراین، در صورت تغییر الگوی کشت و افزایش راندمان آبیاری، سطح آب زیرزمینی دشت بهار افزایش خواهد یافت (۶). هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر افزایش راندمان

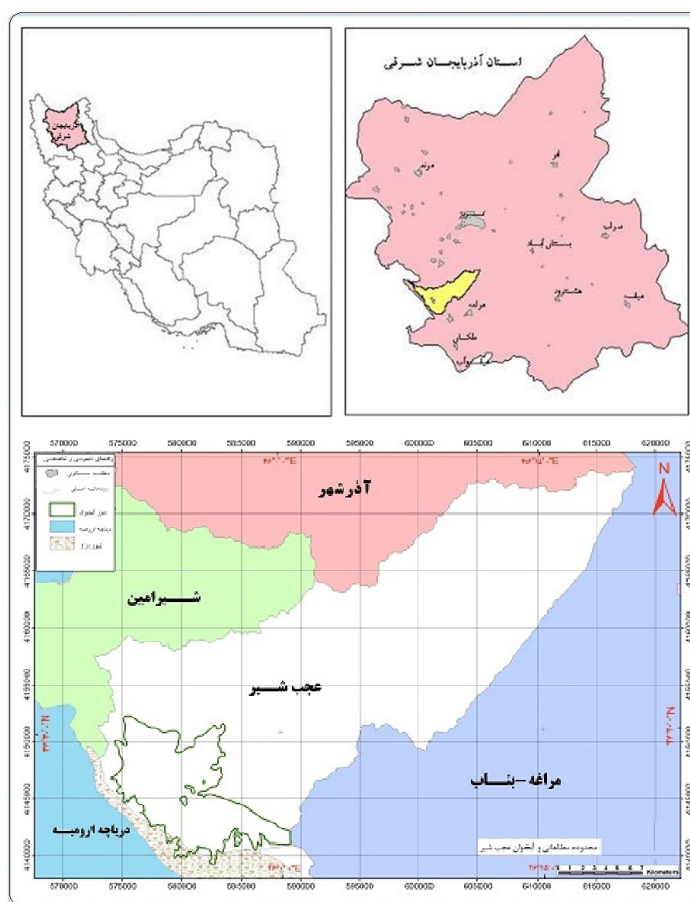
در دهه‌های اخیر، متوازن نبودن میزان آب برداشتی از آبخوان با میزان تغذیه آن، سبب افت کمی و کیفی آب این منبع در اکثر دشت‌های کشور شده است (۶). بنابراین، ضرورت دارد با مدیریت صحیح، در حفظ و نگهداری این منبع پرارزش کوشید. مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی، به شناخت وضعیت سفره در شرایط طبیعی و پیش‌بینی اثر تغذیه یا برداشت در آینده نیازمند است (۱۱، ۵). در پژوهشی، با کمک مدل MODFLOW و داده‌های دی ۱۳۸۲ تا دی ۱۳۸۳، آبخوان دشت لادیز، واقع در استان سیستان و بلوچستان شبیه‌سازی و مدل‌سازی شد. سپس سطح آب سفره برای دو سال آبی آینده (۱۳۸۶-۱۳۸۷ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸) پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد که ادامه شرایط کنونی، سبب افت سطح ایستایی دشت در آینده خواهد شد (۴).

در تحقیقی دیگر، به منظور شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی در دشت شمال چین، از MODFLOW و GIS استفاده شد. بر اساس نتایج این تحقیق، در طول دوره محاسباتی (۱ ژانویه ۲۰۰۲ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۳)، کمبود ذخیره آبخوان $7/156 \times 10^6$ مترمکعب و نشان‌دهنده بحران جدی در منطقه مورد مطالعه بود (۱۴). در پژوهشی دیگر با استفاده از مدل MODFLOW، اثر کاهش تغذیه آبخوان به میزان ۵۰ درصد فعلی، بر سطح آب زیرزمینی در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی دشت زرينه رود واقع در ارومیه بررسی شد. نتایج نشان داد در اثر کاهش تغذیه، سطح آب زیرزمینی دشت، به طور متوسط حدود ۱/۳۱ متر افت خواهد کرد. این مسئله، نویدبخش برطرف شدن خطر شوری و زه‌دارشدن اراضی محدوده شبکه آبیاری و زهکشی است (۹). به منظور مدیریت و استفاده بهینه از آبخوان المرقا، منطقه وادی الفریق واقع در صحرای غربی مصر، طی پژوهشی، جریان آب زیرزمینی این آبخوان با

مواد و روش‌ها

دشت عجب‌شیر با وسعت ۸۸/۱۲ کیلومتر مربع، از دشت‌های مهم استان آذربایجان شرقی است که در جنوب غربی استان و در ۹۲ کیلومتری جنوب شهر تبریز قرار گرفته است. این دشت، قسمتی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه است (شکل ۱). بر اساس آمار ۳۱ ساله (۱۳۸۷-۱۳۵۷) ثبت شده در منطقه، میانگین سالانه بارندگی در دشت و بخش کوهستانی عجب‌شیر، به ترتیب ۲۷۶ و ۳۴۳ میلی‌متر در سال و متوسط سالانه بلندمدت دمای هوا و تبخیر از سطح تشت به ترتیب ۱۳/۳ درجه سانتی‌گراد و ۱۶۹۸/۹۵ میلی‌متر است. همچنین اقلیم حاکم بر منطقه از نوع نیمه‌خشک تعیین شده است (۳).

مصرف آب در مزرعه با تغییر سیستم‌های آبیاری از ثقلی به تحت فشار بر سطح آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر - آذربایجان شرقی بود. آبخوان این دشت، منبع اصلی آب کشاورزی منطقه است. در سال‌های اخیر، از طرفی، افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری و میزان تخلیه آب از آبخوان و از طرف دیگر، کاهش نزولات جوی و بروز پدیده خشک‌سالی، سبب افت سطح آب زیرزمینی در این دشت شده است. به این دلیل، از سال ۱۳۷۰، توسعه بهره‌برداری از آبخوان این دشت ممنوع اعلام شد و از آن تاریخ تاکنون، همه‌ساله ممنوعیت آن تمدید می‌شود (۳). در سیستم‌های آبیاری تحت فشار (سیستم آبیاری بارانی و قطره‌ای) به دلیل کاهش تلفات نفوذ عمقی و رواناب سطحی آب، میزان آب برداشتی از آب‌های سطحی و آبخوان کاهش می‌یابد (۶).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت عجب‌شیر

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۴

با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و به کمک نرم‌افزار ArcGIS 9.3 ضخامت لایه آبرفت محاسبه شد. همچنین با استفاده از نتایج آزمایش پمپاژ در زمان حفر چاه‌های اکتشافی و بهره‌برداری در طی ۱۵ سال اخیر، نقشه هم‌قابلیت انتقال آبخوان (T) ترسیم گردید. در مرحله بعد، با تلفیق نقشه‌های هم‌تراز آب زیرزمینی (مربوط به مهر ۱۳۸۳) و سنگ بستر، نقشه هم‌ضخامت لایه آب‌دار (b) استخراج شد. در نهایت، با استفاده از رابطه $T=kb$ ، مقدار هدایت هیدرولیکی آبخوان (K) در نقاط مختلف دشت تعیین و وارد نرم‌افزار گردید. به روش مشابه، مقدار آب‌دهی ویژه در نواحی مختلف آبخوان تعیین و وارد نرم‌افزار شد.

به منظور تعیین میزان تغذیه آبخوان از طریق بارندگی، از اطلاعات به دست آمده از لوگ چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی حفاری شده در کل آبخوان دشت عجب‌شیر استفاده شد. براین اساس، رسوبات در مرکز دشت و اطراف رودخانه جاری در آن (قلعه‌چای) دانه‌درشت است؛ اما در نواحی خروجی دشت که شامل نواحی شوره‌زارهای دریاچه ارومیه می‌شود، دانه‌ریزتر می‌شوند که عملاً مقادیر نفوذپذیری را کم می‌کند. بنابراین، با در نظر گرفتن این مسئله و میزان شوری آب در لایه‌های خاک در این منطقه، مقدار تغذیه آبخوان در اثر نفوذ بارندگی در آبخوان اصلی دشت ۲۰ درصد، در نوار کناری شوره‌زارها ۱۵ درصد و در شوره‌زارهای ساحلی ۱۰ درصد منظور گردید (۱۰). عمق تأثیر تبخیر دو متر لحاظ شد (۹). آمار مقادیر ماهانه بارندگی و تبخیر از تشت ثبت شده در ایستگاه بناب نیز استخراج و وارد مدل شد. بر اساس اطلاعات دوره چندین ساله (۱۳۷۸-۱۳۸۴)، ویژگی‌های فیزیکی رودخانه شامل تراز سطح آب و تراز بستر رودخانه از مقاطع و پروفیل‌های تهیه شده در محیط GIS برای هر سلول، تهیه و وارد مدل شد. مقادیر هدایت هیدرولیکی بستر رودخانه، با

برای حل مسائل آب زیرزمینی باید رفتار فیزیکی محیط متخلخل بررسی و شناسایی شود. رابطه ۱، معادله عمومی سه‌بعدی حاکم بر جریان آب زیرزمینی را در شرایط جریان غیرماندگار در محیطی غیر همگن و غیر هم‌روند (غیر ایزوتروپ) نشان می‌دهد. اگر محیط جریان همگن و هم‌روند در نظر گرفته شود، K مستقل از x، y و z است و رابطه ۱ به رابطه ۲ تبدیل خواهد شد که معادله لاپلاس نامیده می‌شود. چنانچه جریان ماندگار باشد و در فاصله دو مقطع انتخاب شده برای بررسی، تخلیه و تغذیه وجود نداشته باشد، رابطه ۲ به صورت رابطه ۳ خلاصه می‌شود که به آن معادله لاپلاس در شرایط جریان ماندگار نیز گفته می‌شود (۱۱، ۷).

(۱)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \pm R$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_y}{K} \frac{\partial h}{\partial t} \pm R \quad (۲)$$

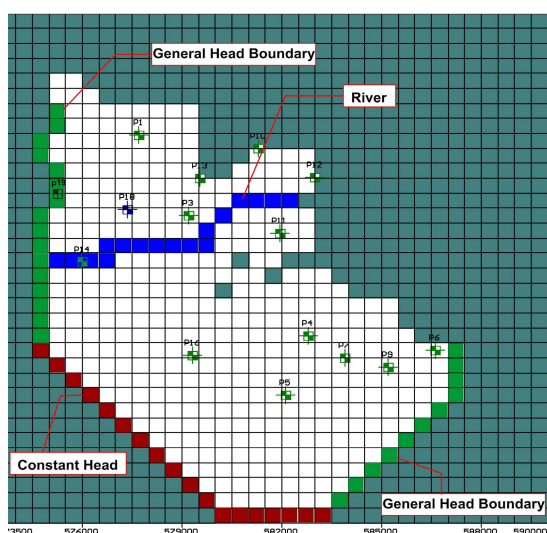
$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (۳)$$

که در آن، K_x ، K_y و K_z به ترتیب مقادیر هدایت هیدرولیکی در جهات سه‌گانه مختصات کارتیزین (LT^{-1})، S_y آب‌دهی ویژه مواد متخلخل (درصد)، R مقدار جریان ورودی یا خروجی از آبخوان ($L^3T^{-1}L^{-2}$) و h بار هیدرولیکی آب (L) است.

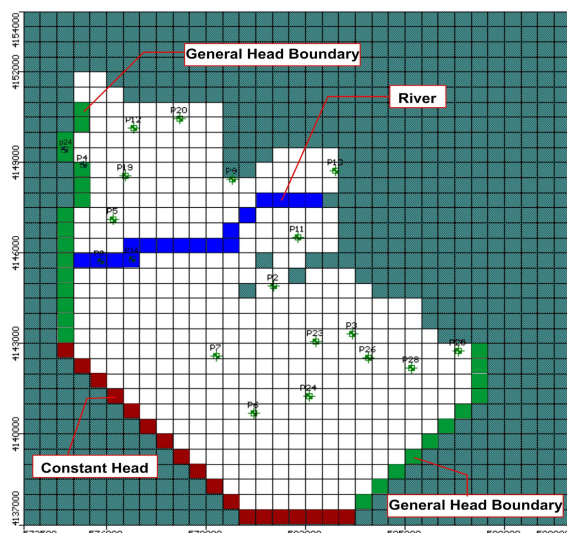
در این پژوهش، به منظور مدل‌سازی آبخوان دشت عجب‌شیر، از نسخه ۳/۱ نرم‌افزار Visual Modflow استفاده شد. به منظور مدل‌سازی، ابتدا با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه، محدوده دریاچه ارومیه و نقشه هم‌تراز سطح آب زیرزمینی و مرزهای آبخوان مشخص و وارد نرم‌افزار شد. سپس محدوده منطقه مورد مطالعه به سلول‌های مربعی به ابعاد ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر تقسیم شد. با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، سطح زمین و سنگ کف

گرفته شد (۸). با توجه به موارد ذکر شده، میزان آب برداشت شده از آبخوان توسط چاه، چشمه و قنات برآورد و بر اساس موقعیت آن‌ها در داخل محدوده، وارد مدل شد. نواحی نفوذپذیر شامل ناحیه اتصال آبخوان دشت عجب‌شیر با آبخوان دشت مراغه - بناب و دشت آذرشهر و دریاچه ارومیه (قسمت خروجی دشت) و قسمت نفوذناپذیر دشت شامل قسمت‌های مجاور به کوه‌های اطراف، بر اساس نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه تعیین و وارد نرم‌افزار شد. در نهایت، پس از وارد کردن تمامی اطلاعات اولیه به نرم‌افزار، بر اساس دوره آماری قابل دسترس، کل چاه‌های مشاهده‌ای موجود در محدوده بیان آب زیرزمینی منطقه در شرایط حاضر (۲۲ عدد)، از آمار ماهانه ۲۰ عدد چاهک مشاهده‌ای برای تنظیم مدل در حالت ماندگار و از آمار ۱۵ حلقه چاه مشاهداتی (با دوره آماری طولانی‌تر) برای تنظیم مدل در حالت غیرماندگار استفاده شد. شکل‌های ۲ و ۳، موقعیت چاه‌های مشاهداتی را در هر مرحله از تنظیم نشان می‌دهد.

توجه به ویژگی‌های مواد بستر رودخانه و در نظر گرفتن مقادیر تغذیه از طریق رودخانه، برآورد و در مدل ثبت شد. با توجه به اهداف پژوهش حاضر، مقدار آب برداشتی از آبخوان و آب برگشتی به آن، از طریق بخش کشاورزی در دو حالت ثقلی و تحت فشار برآورد شد. با توجه به راندمان آبیاری سنتی در منطقه مورد مطالعه و دانه‌بندی بخش اعظم زمین‌های کشاورزی دشت (دانه‌بندی نسبتاً درشت)، در شرایط آبیاری سنتی ۲۵ درصد آب برداشت شده از آبخوان به‌عنوان آب برگشتی لحاظ شد (۸، ۱۲). در شرایط آبیاری تحت فشار برای روش آبیاری قطره‌ای، ابتدا میزان آب برداشتی از آبخوان با اعمال هیدرومدول ۰/۵ کاهش یافت. در مرحله بعد، با فرض ۹۵ درصد راندمان برای آبیاری قطره‌ای، ۵ درصد آب برداشت شده به‌عنوان آب برگشتی لحاظ شد. همچنین برای روش آبیاری بارانی، هیدرومدول ۰/۸ و راندمان آبیاری ۷۵ درصد فرض شد (۱۳). میزان آب برگشتی از طریق مصارف صنعتی و شرب (فاضلاب) نیز ۶۰ درصد در نظر



شکل ۳. موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای استفاده شده در مدل در شرایط غیرماندگار



شکل ۲. سلول‌بندی آبخوان دشت عجب‌شیر و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای استفاده شده در مدل در شرایط ماندگار

پس از وارد کردن اطلاعات لازم به نرم‌افزار، با استفاده از آمار و اطلاعات مهر سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ و اجرای مدل در شرایط ماندگار، مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی آبخوان واسنجی شد. همچنین بر اساس اطلاعات ماهانه دوره آماری ۱۳۷۸-۱۳۸۴ (۷۲ ماه) و اجرای مدل در شرایط غیرماندگار، مقادیر آب‌دهی ویژه آبخوان واسنجی شد (۱). پس از تطبیق مدل تدوین‌شده بر آبخوان در حالت‌های ماندگار و غیرماندگار، سطح آب زیرزمینی و بیلان آب آبخوان برای دوره آماری ۱۴۰۰-۱۳۸۴، برای گام‌های زمانی فصلی در دو شرایط پیش‌بینی شد. شرایط اول، ادامه روند کنونی بهره‌برداری و کاربرد آب آبخوان در بخش کشاورزی (روش ثقلی) و شرایط دوم، تغییر روش آبیاری از ثقلی به تحت فشار بود.

نتایج و بحث

شکل ۴، مقادیر سطح آب زیرزمینی مشاهده‌شده را نسبت به مقادیر محاسباتی پس از واسنجی مدل در شرایط ماندگار (مهر سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۳) و مقایسه آماری بین مقادیر نشان می‌دهد. آنچه بیان‌کننده واسنجی و مطابقت خوب مقادیر هدایت هیدرولیکی در مدل ریاضی تهیه‌شده برای آبخوان در شرایط ماندگار است، عبارت است از: مقادیر ضریب تعیین (۹۸ درصد)، شیب بهترین خط عبوری از بین نقاط ($a=0/9728$) و $RMSE$ (۱/۰۴۲۴۳ متر) بین مقادیر سطح آب زیرزمینی مشاهداتی و محاسباتی و توزیع و پراکندگی خوب و با فاصله اندک نقاط در اطراف خط ۱:۱.

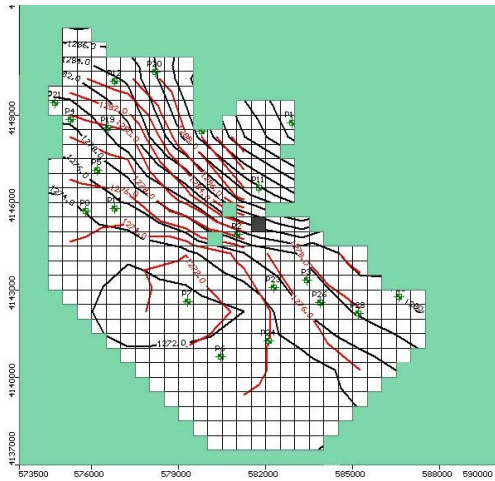
شکل ۵، نقشه خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی محاسباتی و واقعی را بعد از واسنجی مقادیر هدایت هیدرولیکی و در شرایط ماندگار نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی محاسباتی و واقعی، انطباق خوب و مناسبی با هم دارند. این مسئله نیز مؤید واسنجی و تخمین مناسب مقادیر K آبخوان در مراحل واسنجی مدل در شرایط

ماندگار است. همان‌طور که بیان شد، پس از واسنجی مدل در شرایط ماندگار، به‌منظور تخمین و واسنجی مقادیر آب‌دهی ویژه در آبخوان، مدل در شرایط غیرماندگار واسنجی شد. شکل‌های ۶ و ۷، برای نمونه، تغییرات سطح آب زیرزمینی واقعی و محاسباتی را در چاهک‌های مشاهده‌ای شماره ۱ و ۱۲، پس از واسنجی مدل در شرایط غیرماندگار نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌ها، مطابقت خوبی بین سطح آب زیرزمینی محاسباتی با واقعی در بیشتر طول دوره استفاده‌شده برای واسنجی وجود داشت. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مدل شبیه‌سازی شده، به‌خوبی بر آبخوان منطقه مطابقت دارد و نشان‌دهنده سیستم آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر است. همچنین قادر خواهد بود واکنش‌های تغییرات تغذیه یا بهره‌برداری از آبخوان دشت و اثر دوره‌های مختلف هیدرولوژیکی را در نوسانات سطح آب زیرزمینی پیش‌بینی کند.

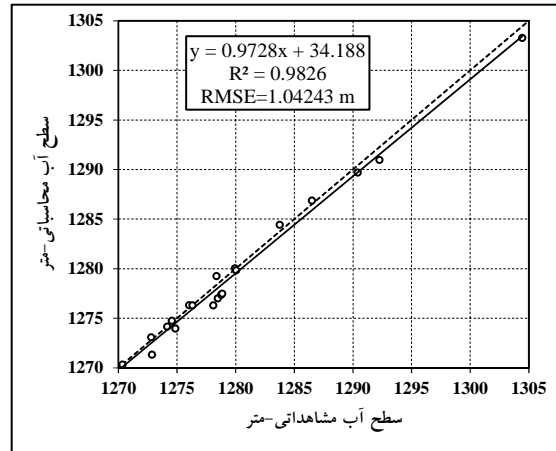
پس از واسنجی مدل در شرایط ماندگار و غیر ماندگار، مقادیر اجزای بیلان آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر استخراج شد. جدول ۱، مقادیر اجزای بیلان آب زیرزمینی محاسبه‌شده توسط مدل آبخوان دشت عجب‌شیر را در اولین و آخرین گام زمانی واسنجی مدل در شرایط غیرماندگار (پاییز ۱۳۷۸ و تابستان ۱۳۸۴) نشان می‌دهد. با توجه به جدول، ملاحظه می‌شود که مقدار بیلان خالص آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر از ۰/۵۴- میلیون مترمکعب در سال در اولین گام زمانی محاسبات، به ۰/۷۶ میلیون مترمکعب در سال در آخرین گام زمانی محاسبات افزایش یافت. ادامه سیاست توسعه‌ندادن بهره‌برداری از آبخوان دشت عجب‌شیر از سال ۱۳۷۰ می‌تواند دلیلی بر مثبت شدن میزان بیلان منفی آبخوان در انتهای گام زمانی محاسبه شده باشد.

مدیریت آب و آبیاری

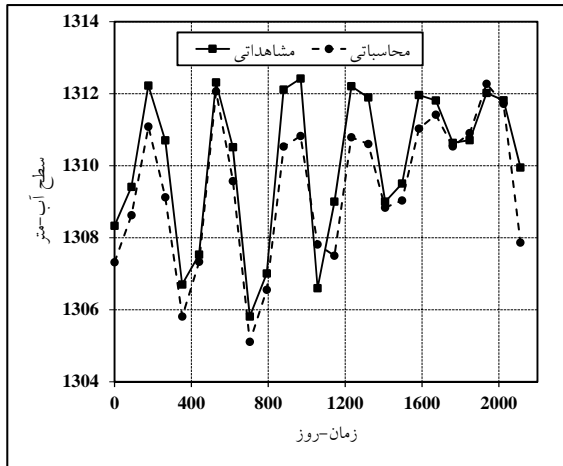
اثر افزایش راندمان آبیاری بر نوسانات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت عجب‌شیر- آذربایجان شرقی)



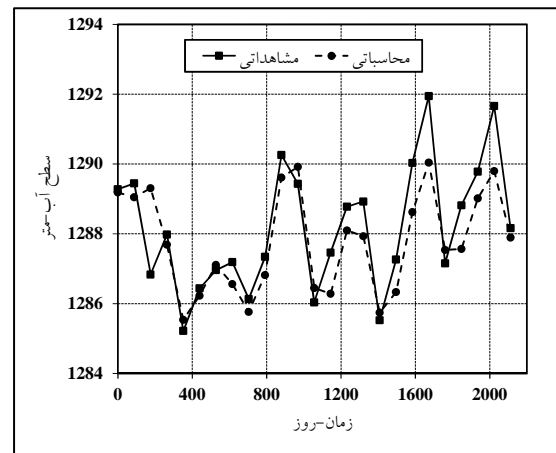
شکل ۵. نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی واقعی و محاسباتی در دشت عجب‌شیر، بعد از واسنجی در حالت ماندگار



شکل ۴. مقادیر سطح آب زیرزمینی واقعی و محاسباتی در دشت عجب‌شیر، بعد از واسنجی مدل در حالت ماندگار



شکل ۷. هیدروگراف واقعی و محاسبه‌شده سطح آب زیرزمینی برای سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۷۸ در چاهک مشاهده‌ای شماره ۱۲



شکل ۶. هیدروگراف واقعی و محاسبه‌شده سطح آب زیرزمینی برای سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۷۸ در چاهک مشاهده‌ای شماره ۱

شرایط کنونی، سبب کاهش بیلان آب از ۰/۷۶ میلیون مترمکعب در سال در آخر تابستان ۱۳۸۴، به ۲/۴۳- میلیون مترمکعب در سال در انتهای دوره پیش‌بینی (آخر شهریور ۱۴۰۰) خواهد گردید. از دلایل تغییر بیلان آب آبخوان از مثبت به منفی در انتهای دوره پیش‌بینی عبارت‌اند از: کم‌بودن راندمان آبیاری و هدررفت بخش زیادی از آب استخراج‌شده از آبخوان به همراه وقوع شرایط نامناسب اقلیمی از جمله کاهش نزولات جوی و وقوع خشک‌سالی (بنابراین افزایش برداشت آب از آبخوان)، نباریدن برف

همان‌گونه که بیان شد، پس از واسنجی مدل، به‌منظور بررسی تأثیر ادامه روند کنونی بهره‌برداری از آب آبخوان بر پارامترهای مؤثر بر آن و کاهش بهره‌برداری از آب آبخوان با ارتقای راندمان آبیاری از طریق تبدیل سیستم‌های آبیاری از تقلی به تحت فشار (سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای)، مدل تا آخر تابستان ۱۴۰۰ اجرا و نتایج آن استخراج شد. این نتایج در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به جدول ۲ و مقایسه مقادیر آن با مقادیر جدول ۱، ملاحظه می‌شود که ادامه روند برداشت از آب آبخوان با

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۴

کافی در زمستان و تغییر نزولات جوی از حالت جامد به مایع در این فصل، افزایش دوره برداشت آب از آبخوان به دلیل شروع زود هنگام دوره گرم سال و اتمام دیر هنگام آن به دلیل وقوع تغییر اقلیم جهانی.

جدول ۱. مقادیر اجزای بیلان آب زیرزمینی محاسبه شده توسط مدل آبخوان دشت عجب شیر، در اولین و آخرین گام زمانی واسنجی مدل در شرایط غیرماندگار (میلیون مترمکعب در سال)

مهر ۱۳۷۸			شهریور ۱۳۸۴		
ذخیره	۱۱۱۷/۱۴	۲۱۹۵/۴۲	ذخیره	۷۷۶/۲۰	۲۸۷۰۹/۷۲
آبخوان‌های مجاور	۲۱/۷۴	۹۸۰/۶۸	آبخوان‌های مجاور	۰/۵۶	۲۸/۰۷
چاه‌ها	۱۰۰/۵۶	۵۳۰۲۸/۵۳	چاه‌ها	۹۸۹/۳۸	۲۳۶۸۶/۳۵
زه‌کشی توسط رودخانه	۰/۰۰	۰/۰۰	نفوذ از رودخانه	۲۶/۰۴	۹۷۳۲/۱۳
تبخیر- تعرق	۱۱۷/۸۸	۲۵۸۲/۳۲	تبخیر- تعرق	۰/۰۰	۰/۰۰
زه‌کشی به دریاچه ارومیه	۷۹/۵۷	۲۴۵۸/۸۷	ورودی از دریاچه ارومیه	۱/۰۸	۸۱/۹۸
تغذیه از بارندگی	۰/۰۰	۰/۰۰	تغذیه از بارندگی	۵۴۸/۱۰	۱۸۷۶۷/۱۰
مجموع کل	۲۳۴۱/۹۱	۸۱۰/۰۵	مجموع کل	۲۳۴۱/۳۶	۸۱۰۰۵/۳۶
بیلان خالص آبخوان (ورودی- خروجی)			بیلان خالص آبخوان (ورودی- خروجی)		
۰/۷۶			-۰/۵۴		

ثانیاً حفظ و نگهداری آن در آینده توسط خود زارع صورت می‌گیرد و هزینه‌ای برای متولیان آب نخواهد داشت. علاوه بر آن، با توجه به گستره اجرای آن (کل سطح دشت) در مقایسه با طرح‌های تغذیه مصنوعی که در نقطه خاصی از دشت اجرا می‌شود و با در نظر گرفتن سرعت بسیار اندک حرکت آب در خاک، در این شرایط اثر مثبت آن بر سطح آب آبخوان به‌طور یکنواخت و به‌سرعت مشاهده می‌شود.

نتایج اجرای مدل در شرایط کاهش برداشت از آبخوان به دلیل تغییر سیستم‌های آبیاری از سطحی به تحت فشار (بارانی و قطره‌ای) در سال هدف (۱۴۰۰) در جدول ۲ آورده شده است. با مقایسه مقادیر جدول‌های ۱ و ۲، ملاحظه می‌شود مقدار بیلان آب زیرزمینی پیش‌بینی شده برای آبخوان در شرایط اجرای سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای در مزارع و باغ‌های دشت عجب شیر، از ۰/۷۶ میلیون مترمکعب در سال در شهریور ۱۳۸۴ به

افزایش عمق آب زیرزمینی سبب افزایش هزینه‌های برداشت آب، کاهش سطح تماس دیواره چاه با بخش آب‌ده آبخوان و کاهش دبی برداشت آب می‌شود. این مسئله سبب کاهش سود خالص کشاورزی می‌شود و زارعان و باغداران را به ترک روستاها و مهاجرت به شهرها مجبور می‌کند (۸). از پیامدهای دیگر افت سطح آب زیرزمینی، نشست زمین و تبعات ناشی از آن است که در بسیاری از دشت‌هایی که آبخوان‌های آن‌ها دچار افت شده‌اند، وجود دارد (۲). با توجه به مطالب اخیر، لازم است با اجرای طرح‌های تعادل بخشی در آبخوان دشت عجب شیر، به بازگرداندن شرایط از دست رفته آن اقدام کرد. یکی از طرح‌هایی که در این زمینه می‌توان اجرا کرد، کاهش بهره‌برداری از آبخوان با افزایش راندمان کاربرد آب در مزرعه با تغییر سیستم آبیاری است. اجرای این حالت، اولاً هزینه بسیار زیادی بر متولیان امور آب ندارد؛ چراکه بخشی از هزینه‌های اجرای آن را زارع پرداخت می‌کند.

مدیریت آب و آبیاری

اثر افزایش راندمان آبیاری بر نوسانات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت عجب‌شیر - آذربایجان شرقی)

ممنوعیت توسعه بهره‌برداری از آبخوان و صدور پروانه حفر چاه برای متقاضیان جدید شود. این شرایط، علاوه بر رونق‌دادن به بخش کشاورزی در منطقه، از ایجاد مشکلات زه‌دارشدن اراضی در آینده به دلیل خیز سطح ایستابی پیشگیری می‌کند.

شکل‌های ۸ تا ۱۱، تأثیر افزایش راندمان آبیاری بر سطح آب زیرزمینی را در ۴ عدد از ۱۵ عدد چاهک مشاهده‌ای استفاده‌شده در این پژوهش، در دوره پیش‌بینی نشان می‌دهند. با توجه به این شکل‌ها و مقدار شیب بهترین خط عبوری از بین تغییرات سطح ایستابی، ملاحظه می‌شود که شیب بهترین خط برای شرایط آبیاری ثقلی منفی است. این نتیجه، بیان‌کننده افت سطح آب زیرزمینی در صورت ادامه روند کنونی در برداشت و استفاده از آب آبخوان دشت عجب‌شیر است. با تغییر سیستم‌های آبیاری و افزایش راندمان کاربرد آب در مزرعه، شیب بهترین خط عبوری از بین تغییرات سطح ایستابی مثبت شد. این مسئله اثبات‌کننده اثر مثبت افزایش راندمان آبیاری بر خیز سطح آب زیرزمینی در کل دشت عجب‌شیر است.

۳/۹۹ میلیون مترمکعب در سال در آخر تابستان ۱۴۰۰ افزایش خواهد یافت (۳/۲۳ میلیون مترمکعب در سال افزایش). همچنین با توجه به مقدار بیلان خالص آبخوان در جدول ۲، در صورت تبدیل کل سیستم‌های آبیاری دشت از ثقلی به تحت فشار، بیلان آب زیرزمینی در انتهای دوره پیش‌بینی (انتهای تابستان ۱۴۰۰) در ادامه شرایط موجود، حدود ۶/۴۲ میلیون مترمکعب در سال بیشتر خواهد شد (به‌طور متوسط ۱/۶۰ میلیون مترمکعب در سال برای ۱۲ سال دوره پیش‌بینی). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت افزایش راندمان مصرف آب آبیاری در کل دشت، مانند اجرای طرح تعادل‌بخشی با روزانه به‌طور متوسط ۱/۶۰ میلیون مترمکعب در سال تغذیه مصنوعی آبخوان دشت عجب‌شیر، اما در گستره کل سطح آن است.

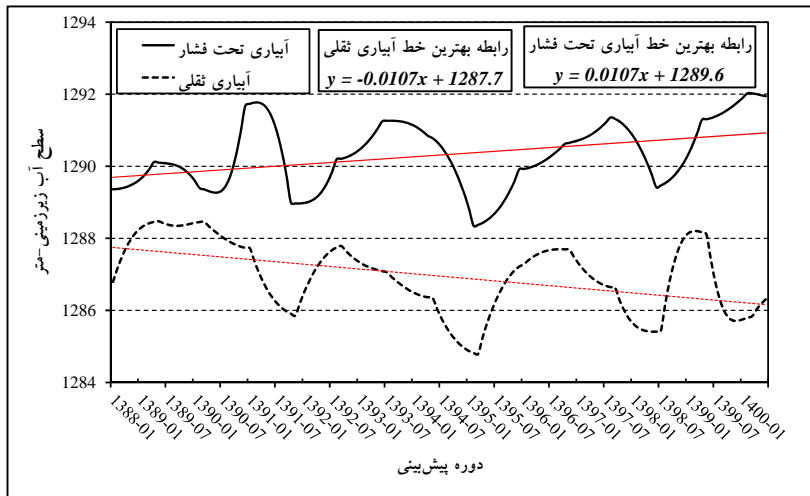
رخداد این شرایط در آب زیرزمینی منطقه، علاوه بر جبران کسری مخزن در سال‌های گذشته، از طریق پیشروی آب شور دریاچه ارومیه به درون دشت و نشست اراضی بالای آبخوان، مانع واردآمدن خسارت به آن می‌شود. همچنین مثبت‌شدن بیلان آبخوان می‌تواند سبب حذف

جدول ۲. مقادیر اجزای بیلان آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر در انتهای گام زمانی پیش‌بینی (تابستان ۱۴۰۰) برای شرایط آبیاری ثقلی و تحت فشار (میلیون مترمکعب در سال)

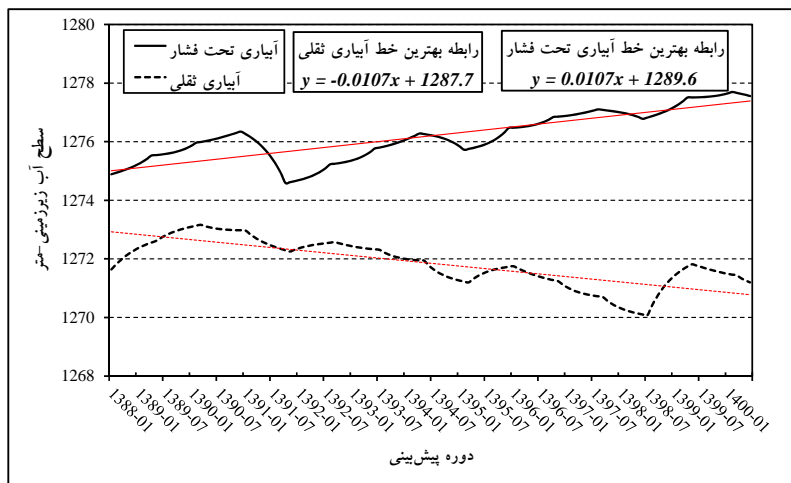
آبیاری تحت فشار	آبیاری ثقلی		آبیاری تحت فشار	آبیاری ثقلی	
۲۷۹۲/۵۷	۱۸۳۶۶/۰۵	ذخیره	۳۶۵۳/۲۵	۲۲۷۴۲/۴۵	ذخیره
۱۲۴/۷۴	۱۰۷۰/۳۳	آبخوان‌های مجاور	۳/۵۷	۱۵۸/۴۱	آبخوان‌های مجاور
۶۷۴۵/۲۳	۳۹۲۴۷/۷۸	چاه‌ها	۳۰۱۴/۰۴	۲۲۰۱۲/۳۱	چاه‌ها
۰/۰۰	۰/۰۰	زه‌کشی توسط رودخانه	۱۲۳۸/۳۹	۶۴۶/۲۷	نفوذ از رودخانه
۳۲۸/۴۷	۲۲۰۰/۴۵	تبخیر - تعرق	۰/۰۰	۰/۰۰	تبخیر - تعرق
۳۱۲/۷۷	۱۹۹۲/۶۳	زه‌کشی به دریاچه ارومیه	۱۰/۴۳	۳/۷۸	ورودی از دریاچه ارومیه
۰/۰۰	۰/۰۰	تغذیه از بارندگی	۲۳۸۸/۰۸	۱۷۳۱۱/۵۹	تغذیه از بارندگی
۱۰۳۰۳/۷۸	۶۲۸۷۷/۲۴	مجموع کل	۱۰۳۰۷/۷۷	۶۲۸۷۴/۸۱	مجموع کل
۳/۹۹		بیلان خالص آبخوان (ورودی - خروجی)	-۲/۴۳		بیلان خالص آبخوان (ورودی - خروجی)

مدیریت آب و آبیاری

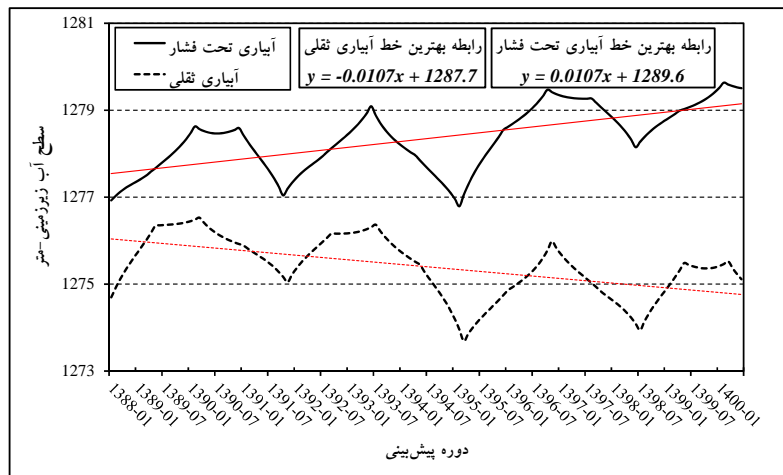
دوره ۵ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۴



شکل ۸. هیدروگراف سطح آب محاسبه‌شده برای چاهک مشاهده‌ای شماره P1 در شرایط ثقلی و تحت فشار



شکل ۹. هیدروگراف سطح آب محاسبه‌شده برای چاهک مشاهده‌ای شماره P5 در شرایط ثقلی و تحت فشار

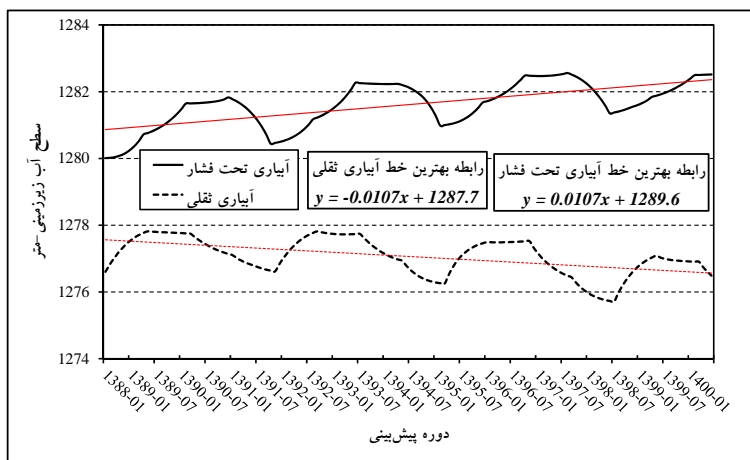


شکل ۱۰. هیدروگراف سطح آب محاسبه‌شده برای چاهک مشاهده‌ای شماره P14 در شرایط ثقلی و تحت فشار

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۴

اثر افزایش راندمان آبیاری بر نوسانات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت عجب‌شیر - آذربایجان شرقی)



شکل ۱۱. هیدروگراف سطح آب محاسبه‌شده برای چاهک مشاهده‌ای شماره P18 در شرایط ثقلی و تحت فشار

بیشترین خیز سطح آب زیرزمینی به میزان ۶/۶۴ متر در چاهک P10 و کمترین خیز به میزان ۱/۴۷ متر در چاهک P7 حاصل شد. بر اساس نتایج این پژوهش، در صورت افزایش راندمان آبیاری، به‌طور متوسط سطح آب زیرزمینی در آخر تابستان ۱۴۰۰، به میزان ۴/۶۳ متر در کل دشت افزایش خواهد یافت.

جدول ۳، نشان‌دهنده مقادیر سطح آب زیرزمینی در چاهک‌های مشاهده‌ای مورد بررسی در آخر تابستان ۱۴۰۰ (گام زمانی نهایی پیش‌بینی) در شرایط آبیاری ثقلی و آبیاری تحت فشار (بارانی و قطره‌ای) و اختلاف آن‌ها با یکدیگر است. با توجه به جدول ۳، در صورت تغییر سیستم آبیاری و افزایش راندمان، در تمامی چاهک‌های مشاهده‌ای، افزایش سطح آب زیرزمینی رخ خواهد داد.

جدول ۳. سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای در آخر تابستان ۱۴۰۰

نام چاهک مشاهده‌ای	آبیاری ثقلی (m)	آبیاری تحت فشار (m)	اختلاف (m)	نام چاهک مشاهده‌ای	آبیاری ثقلی (m)	آبیاری تحت فشار (m)	اختلاف (m)
P1	۱۲۸۵/۸۰	۱۲۹۰/۳۶	۴/۵۶	P11	۱۲۸۶/۰۸	۱۲۹۲/۳۰	۶/۲۲
P3	۱۲۸۴/۴۸	۱۲۹۰/۷۳	۶/۲۵	P12	۱۲۹۳/۳۰	۱۲۹۹/۵۴	۶/۲۴
P4	۱۲۷۵/۰۸	۱۲۷۸/۴۲	۳/۳۴	P13	۱۲۸۳/۶۴	۱۲۸۸/۸۷	۵/۲۴
P5	۱۲۷۰/۳۷	۱۲۷۶/۱۷	۵/۸۰	P14	۱۲۷۳/۸۲	۱۲۷۷/۸۰	۳/۹۸
P6	۱۲۷۸/۵۴	۱۲۸۱/۲۲	۲/۶۸	P16	۱۲۷۰/۹۰	۱۲۷۵/۶۷	۴/۷۷
P7	۱۲۷۹/۲۰	۱۲۸۰/۶۶	۱/۴۷	P18	۱۲۷۵/۲۷	۱۲۸۱/۳۴	۶/۰۷
P9	۱۲۷۷/۹۱	۱۲۸۱/۱۱	۳/۲۰	P19	۱۲۷۷/۰۶	۱۲۸۰/۰۱	۲/۹۵
P10	۱۲۹۰/۲۶	۱۲۹۶/۹۰	۶/۶۴	میانگین	۱۲۸۰/۲۱	۱۲۸۵/۰۸	۵/۰۷
میانگین کل چاهک‌ها	۱۲۸۰/۲۱	۱۲۸۴/۴۵	۴/۲۴	میانگین	۱۲۸۰/۰۱	۱۲۸۵/۰۸	۵/۰۷
آبیاری ثقلی ۱۲۸۰/۱۱ متر		آبیاری تحت فشار ۱۲۸۴/۷۴ متر		اختلاف ۴/۶۳ متر			

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۴

نتیجه گیری

به منظور بررسی اثر افزایش راندمان کاربرد آب آبیاری بر سطح آب زیرزمینی، پژوهش حاضر بر روی آبخوان دشت عجب شیر انجام گرفت. به این منظور، ابتدا آبخوان با کمک نرم افزار Visual Modflow 3.1 شبیه سازی شد. پس از واسنجی مدل در دو حالت جریان ماندگار و غیر ماندگار، تغییرات سطح آب زیرزمینی از مهر ۱۳۸۸ تا آخر شهریور ۱۴۰۰ پیش بینی شد. بر اساس نتایج، در صورت افزایش راندمان آبیاری، سطح آب زیرزمینی در مقایسه با شرایط کنونی، به طور متوسط ۴/۶۳ متر در تمامی چاهک های مشاهده ای موجود در سطح دشت افزایش خواهد یافت. همچنین بیان آب زیرزمینی در انتهای دوره پیش بینی در مقایسه با شرایط موجود، حدود ۶/۴۲ میلیون مترمکعب در سال بیشتر خواهد شد (به طور متوسط ۱/۶۰ میلیون مترمکعب در سال برای ۱۲ سال دوره پیش بینی). در نتیجه، افزایش راندمان مصرف آب در کل دشت از ثقلی به تحت فشار، مانند اجرای طرح تعادل بخشی با روزانه به طور متوسط ۱/۶۰ میلیون مترمکعب در سال تغذیه مصنوعی آبخوان دشت عجب شیر است؛ با این تفاوت که در گستره کل سطح آن افزایش می یابد.

منابع

۱. پورجنایی ع، وقار فرد ح، رضایی پ، و چوپانی س (۱۳۹۰) تعیین پتانسیل برداشت مناطق مختلف آبخوان با استفاده از مدل MODFLOW (مطالعه موردی: دشت سرزه رضوان، استان هرمزگان). پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کشور: ۹-۱.
۲. رزمگیر ر، موسوی م، شمشکی ا، و بلورچی م ج (۱۳۸۹) فرونشست دشت تهران-شهریار در اثر برداشت بی رویه آبهای زیرزمینی، بررسی مقدماتی.

- دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع بهره برداری از منابع آب: ۱-۱۱.
۳. رنجبر م، علاف نجیب م، و میرحیدری ف (۱۳۸۸) گزارش توجیهی برای تمدید ممنوعیت دشت عجب شیر. شرکت آب منطقه ای آذربایجان شرقی، تبریز.
۴. سالاری م، و اژدری اقدم م (۱۳۸۶) شبیه سازی آبخوان لادیز به کمک مدل عددی MODFLOW. بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین: ۸-۱.
۵. مقیمی ه (۱۳۸۸) آشناسی کاربردی. انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
۶. مهدوی م، فرخزاده ب، سلاجقه ع، ملکیان آ، و سوری م (۱۳۹۲) شبیه سازی آبخوان دشت همدان-بهار و بررسی سناریوهای مدیریتی با استفاده از مدل PMWIN. مجله پژوهش های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی). ۹۸: ۱۰۸-۱۱۶.
۷. نکوآمال کرمانی م، کشکولی ح، و رهنما م (۱۳۸۶) کاربرد نرم افزار MODFLOW (PMWIN 5.1) در مطالعه نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت بوچیر-حمیران. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر: ۸-۱.
۸. نیکبخت ج (۱۳۸۵) مدل بهره برداری تلفیقی از آب سطحی و زیرزمینی در شرایط محدودیت کمی و کیفی آب. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
۹. یاری پیلمبرایی ا، و دادمهر ر (۱۳۸۸) بررسی تأثیر افزایش راندمان آبیاری بر میزان تبخیر و تعرق از سفره آب زیرزمینی-مطالعه مورد دشت زرینه رود. مجله پژوهش آب ایران. ۸(۱۰): ۱۴۵-۱۵۴.

مدیریت آب و آبیاری

اثر افزایش راندمان آبیاری بر نوسانات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت عجب‌شیر - آذربایجان شرقی)

۱۰. پدارم ش. و حسن اقلی عر (۱۳۹۲) تعیین تأثیرپذیری نتایج آزمون نفوذسنجی از کیفیت آب ورودی در پیش‌بینی پتانسیل انسداد معدنی پوشش‌های زهکشی مصنوعی. مجله پژوهش آب ایران. ۷(۱۲): ۱۱-۱۹.

11. Anderson M.P and Woessner W.W (1991) Applied groundwater modeling: Simulation of flow and advective transport. Academic press, San Diego, California, USA. pp. 381.
12. FAO (1980) Drainage design factors. Irrigation and Drainage Paper. No. 38, FAO, Rome.
13. Keller J. and Bliesner D (1990) Sprinkler and trickle irrigation. Avi Book, Co. Ltd., New York, USA.
14. Wang S.H, Shao J, Song X, Zhang Y, Huo Z.H and Zhou X (2008) Application of Modflow and Geographic Information System to groundwater simulation in north China plain, China. Journal of Environmental Geology. 55: 1449-1462.
15. Youssef T, Gad M.I and Ali M.M (2012) Assessment of groundwater resources management in Wadi El-Farigh area using MODFLOW. IOSR Journal of Engineering. 10: 2250-3021.