مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۴

صفحه‌های ۱۲۷-۱۱۵

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

جعفر نیکبخت[۱]* و زهرا نجیب[۲]

۱. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲. کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۱۷

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 واردآمدن 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 دورهٔ 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 ادامهٔ روند کنونی روش آبیاری (ثقلی) و تغییر سیستم‌های آبیاری به تحت فشار برای دورهٔ زمانی پاییز ۱۳۸۴ تا تابستان ۱۴۰۰ پیش‌بینی شد. بر اساس نتایج، با ادامهٔ روند کنونی آبیاری، بیلان آبخوان در انتهای دورهٔ زمانی پیش‌بینی، ۲/۴۳-میلیون مترمکعب در سال خواهد بود. با تبدیل سیستم‌های آبیاری سنتی به تحت فشار و افزایش راندمان آبیاری، این مقدار ۳/۹۹میلیون مترمکعب در سال به دست آمد (۳/۲۳میلیون مترمکعب در سال افزایش). همچنین بر اساس نتایج، با تغییر سیستم‌های آبیاری، سطح آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر در انتهای دورهٔ 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.

* نویسنده مسئول Email: Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir

مقدمه

در دهه‌های اخیر، متوازن‌نبودن میزان آب برداشتی از آبخوان با میزان تغذیهٔ 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 (۱۳۸۷-۱۳۸۶ و ۱۳۸۸-۱۳۸۷) پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد که ادامهٔ شرایط کنونی، سبب افت سطح ایستایی دشت در آینده خواهد شد (۴).

در تحقیقی دیگر، به‌منظور شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی در دشت شمال چین، از MODFLOW و GIS استفاده شد. بر اساس نتایج این تحقیق، در طول دورهٔ محاسباتی (۱ ژانویهٔ ۲۰۰۲ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۳)، کمبود ذخیرهٔ آبخوان $۷/۱۵۶\times۱۰^{۶}$- مترمکعب و نشان‌دهندهٔ بحران جدی در منطقهٔ مورد مطالعه بود (۱۴). در پژوهشی دیگر با استفاده از مدل MODFLOW، اثر کاهش تغذیهٔ آبخوان به میزان ۵۰ درصد فعلی، بر سطح آب زیرزمینی در محدودهٔ شبکهٔ آبیاری و زهکشی دشت زرینه‌رود واقع در ارومیه بررسی شد. نتایج نشان داد در اثر کاهش تغذیه، سطح آب زیرزمینی دشت، به‌طور متوسط حدود ۱/۳۱ متر افت خواهد کرد. این مسئله، نویدبخش برطرف‌شدن خطر شوری و زه‌دارشدن اراضی محدودهٔ شبکهٔ آبیاری و زهکشی است (۹). به‌منظور مدیریت و استفاده بهینهٔ از آبخوان المرقا، منطقهٔ وادی الفریق واقع در صحرای غربی مصر، طی پژوهشی، جریان آب زیرزمینی این آبخوان با کمک MODFLOW مدل‌سازی شد. نتایج اجرای مدل نشان داد که با ادامهٔ روند فعلی بهره‌برداری از آبخوان منطقه، بعد از هفت سال، سطح آب زیرزمینی ۳۰ متر افت خواهد کرد (۱۵).

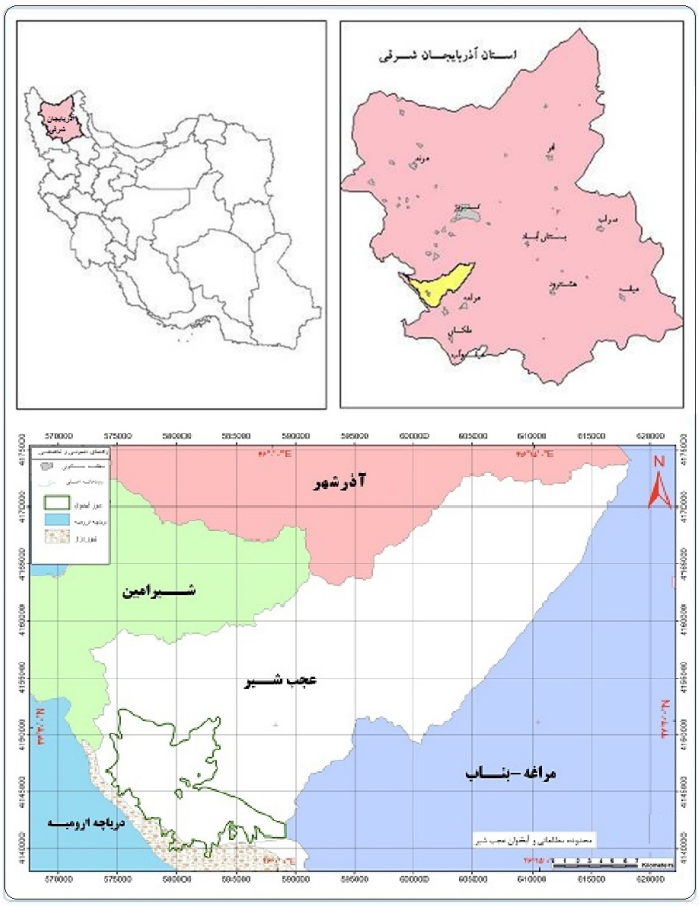
با توجه به مطالب ذکرشده، می‌توان راهکارهای مدیریتی متفاوتی را برای تقویت و تعادل‌بخشی آب آبخوان‌ها به‌منظور کنترل افت سطح آب زیرزمینی ارائه کرد. اجرای طرح‌های پخش سیلاب، تغذیهٔ مصنوعی آبخوان و مدیریت مصرف صحیح آب در بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی از این راهکارهاست. در بخش کشاورزی، افزایش راندمان انتقال 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 (۱۳۹۳ـ۱۳۸۸) بررسی شد. بر اساس نتایج، در صورت ادامهٔ روند حاضر در بهره‌برداری از آب آبخوان، در انتهای دورهٔ شبیه‌سازی، میزان افت سطح آب زیرزمینی ۴/۵ متر افزایش خواهد یافت که این مقدار معادل ۹۸میلیون 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 ۱۸/۲میلیون 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 ۱۴۱/۹۶میلیون 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

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، ازطرفی، افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری و میزان تخلیهٔ آب از آبخوان و از طرف دیگر، کاهش نزولات جوی و بروز پدیدهٔ خشک‌سالی، سبب افت سطح آب زیرزمینی در این دشت شده است. به این دلیل، از سال ۱۳۷۰، توسعهٔ 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).

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 حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه است (شکل ۱). بر اساس آمار ۳۱سالهٔ (۱۳۸۷-۱۳۵۷) ثبت‌شده در منطقه، میانگین سالانهٔ بارندگی در دشت و بخش کوهستانی عجب‌شیر، به‌ترتیب ۲۷۶ و ۳۴۳ میلی‌متر در سال و متوسط سالانهٔ بلندمدت دمای هوا و تبخیر از سطح تشت به‌ترتیب ۱۳/۳ درجهٔ سانتی‌گراد و ۱۶۹۸/۹۵ میلی‌متر است. همچنین اقلیم حاکم بر منطقه از نوع نیمه‌خشک تعیین شده است (۳).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت عجب‌شیر

برای حل مسائل آب زیرزمینی باید رفتار فیزیکی محیط متخلخل بررسی و شناسایی شود. رابطهٔ ۱، معادلهٔ 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 رابطهٔ ۱ به رابطهٔ ۲ تبدیل خواهد شد که معادلهٔ لاپلاس نامیده می‌شود. چنانچه جریان ماندگار باشد و در فاصلهٔ دو مقطع انتخاب‌شده برای بررسی، تخلیه و تغذیه وجود نداشته باشد، رابطهٔ ۲ به‌صورت رابطهٔ ۳ خلاصه می‌شود که به آن معادلهٔ لاپلاس در شرایط جریان ماندگار نیز گفته می‌شود (۱۱، ۷).

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

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

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

که در آن، Kx، Ky و Kz به‌ترتیب مقادیر هدایت هیدرولیکی در جهات سه‌گانهٔ مختصات کارتزین (LT^{-1})، S_y آب‌دهی ویژهٔ مواد متخلخل (درصد)، R مقدار جریان ورودی یا خروجی از آبخوان ($L^3T^{-1}L^{-2}$) و h بار هیدرولیکی آب (L) است.

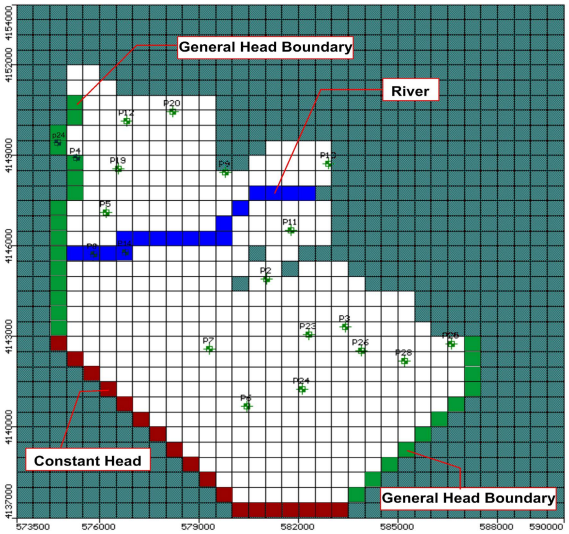
در این پژوهش، به‌منظور مدل‌سازی آبخوان دشت عجب‌شیر، از نسخهٔ ۳/۱ نرم‌افزار Visual Modflow استفاده شد. به‌منظور مدل‌سازی، ابتدا با استفاده از نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه، محدودهٔ دریاچهٔ ارومیه و نقشهٔ هم‌تراز سطح آب زیرزمینی و مرزهای آبخوان مشخص و وارد نرم‌افزار شد. سپس محدودهٔ منطقهٔ مورد مطالعه به سلول‌های مربعی به ابعاد ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر تقسیم شد. با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، سطح زمین و سنگ کف با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و به کمک نرم‌افزار ArcGIS 9.3 ضخامت لایهٔ آبرفت محاسبه شد. همچنین با استفاده از نتایج آزمایش پمپاژ در زمان حفر چاه‌های اکتشافی و بهره‌برداری در طی ۱۵ سال اخیر، نقشهٔ هم‌قابلیت انتقال آبخوان (T) ترسیم گردید. در مرحلهٔ بعد، با تلفیق نقشه‌های هم‌تراز آب زیرزمینی (مربوط به مهر ۱۳۸۳) و سنگ بستر، نقشهٔ هم‌ضخامت لایهٔ آب‌دار (b) استخراج شد. در نهایت، با استفاده از رابطهٔ 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.

به‌منظور تعیین میزان تغذیهٔ آبخوان از طریق بارندگی، از اطلاعات به‌دست‌آمده از لوگ چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی حفاری‌شده در کل آبخوان دشت عجب‌شیر استفاده شد. براین‌اساس، رسوبات در مرکز دشت و اطراف رودخانهٔ جاری در آن (قلعه‌چای) دانه‌درشت است؛ اما در نواحی خروجی دشت که شامل نواحی شوره‌زارهای دریاچهٔ ارومیه می‌شود، دانه‌ریزتر می‌شوند که عملاً مقادیر نفوذپذیری را کم می‌کند. بنابراین، با درنظرگرفتن این مسئله و میزان شوری آب در لایه‌های خاک در این منطقه، مقدار تغذیهٔ 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 ماهانهٔ بارندگی و تبخیر از تشت ثبت‌شده در ایستگاه بناب نیز استخراج و وارد مدل شد. بر اساس اطلاعات دورهٔ چندین‌ساله (۱۳۸۴-۱۳۷۸)، ویژگی‌های فیزیکی رودخانه شامل تراز سطح آب و تراز بستر رودخانه از مقاطع و پروفیل‌های تهیه‌شده در محیط GIS برای هر سلول، تهیه و وارد مدل شد. مقادیر هدایت هیدرولیکی بستر رودخانه، با

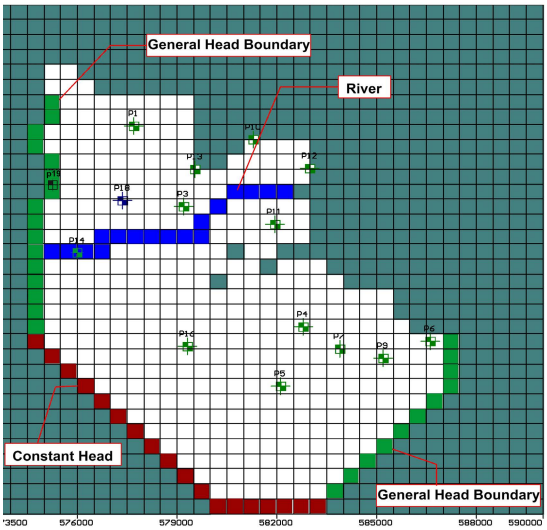
توجه به ویژگی‌های مواد بستر رودخانه و درنظرگرفتن مقادیر تغذیه از طریق رودخانه، برآورد و در مدل ثبت شد.

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 منطقهٔ مورد مطالعه و دانه‌بندی بخش اعظم زمین‌های کشاورزی دشت (دانه‌بندی نسبتاً درشت)، در شرایط آبیاری سنتی ۲۵ درصد آب برداشت‌شده از آبخوان به‌عنوان آب برگشتی لحاظ شد (۱۲، ۸). در شرایط آبیاری تحت فشار برای روش آبیاری قطره‌ای، ابتدا میزان آب برداشتی از آبخوان با اعمال هیدرومدول ۰/۵ کاهش یافت. در مرحلهٔ بعد، با فرض ۹۵ درصد راندمان برای آبیاری قطره‌ای، ۵ درصد آب برداشت‌شده 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 گرفته شد (۸). با توجه به موارد ذکرشده، میزان آب برداشت‌شده از آبخوان توسط چاه، چشمه و قنات برآورد و بر اساس موقعیت آن‌ها در داخل محدوده، وارد مدل شد.

نواحی نفوذپذیر شامل ناحیهٔ اتصال آبخوان دشت عجب‌شیر با آبخوان دشت مراغه- بناب و دشت آذرشهر و دریاچهٔ ارومیه (قسمت خروجی دشت) و قسمت نفوذناپذیر دشت شامل قسمت‌های مجاور به کوه‌های اطراف، بر اساس نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ مورد مطالعه تعیین و وارد نرم‌افزار شد. در نهایت، پس از واردکردن تمامی اطلاعات اولیه به نرم‌افزار، بر اساس دورهٔ آماری قابل دسترس، کل چاه‌های مشاهده‌ای موجود در محدودهٔ بیلان 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 دورهٔ 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.



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



شکل ۳. موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای استفاده‌شده در مدل در شرایط غیرماندگار

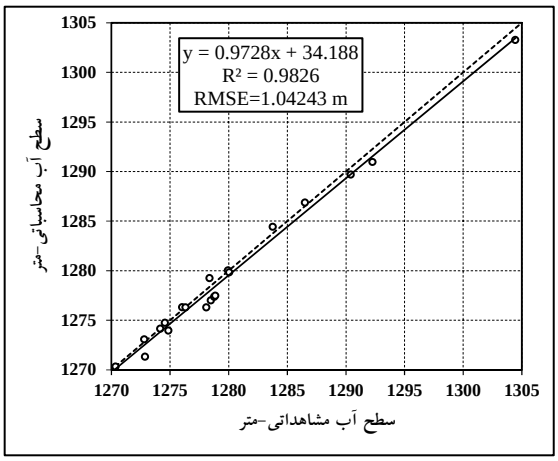
پس از واردکردن اطلاعات لازم به نرم‌افزار، با استفاده از آمار و اطلاعات مهر سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ و اجرای مدل در شرایط ماندگار، مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی آبخوان واسنجی شد. همچنین بر اساس اطلاعات ماهانهٔ دورهٔ آماری ۱۳۸۴-۱۳۷۸ (۷۲ ماه) و اجرای مدل در شرایط غیرماندگار، مقادیر آب‌دهی ویژهٔ آبخوان واسنجی شد (۱). پس از تطبیق مدل تدوین‌شده بر آبخوان در حالت‌های ماندگار و غیرماندگار، سطح آب زیرزمینی و بیلان آب آبخوان برای دورهٔ آماری ۱۴۰۰-۱۳۸۴، برای گام‌های زمانی فصلی در دو شرایط پیش‌بینی شد. شرایط اول، ادامهٔ 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

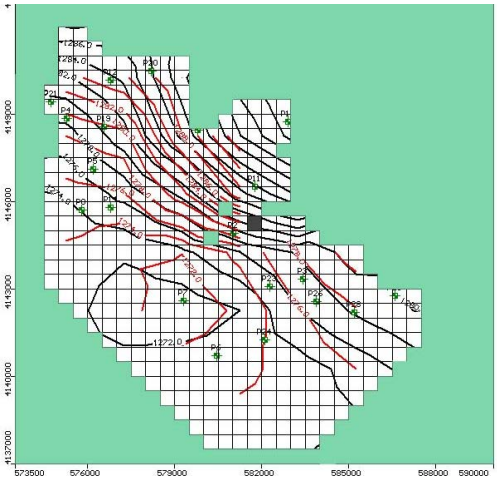
شکل ۴، مقادیر سطح آب زیرزمینی مشاهده‌شده را نسبت‌به مقادیر محاسباتی پس از واسنجی مدل در شرایط ماندگار (مهر سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۳) و مقایسهٔ آماری بین مقادیر نشان می‌دهد. آنچه بیان‌کنندهٔ واسنجی و مطابقت خوب مقادیر هدایت هیدرولیکی در مدل ریاضی تهیه‌شده برای آبخوان در شرایط ماندگار است، عبارت است از: مقادیر ضریب تعیین (۹۸ درصد)، شیب بهترین خط عبوری از بین نقاط (a=۰/۹۷۲۸) و RMSE (۱/۰۴۲۴۳ متر) بین مقادیر سطح آب زیرزمینی مشاهداتی و محاسباتی و توزیع و پراکندگی خوب و با فاصلهٔ اندک نقاط در اطراف خط ۱:۱.

شکل ۵، نقشهٔ 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 شمارهٔ 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 دورهٔ استفاده‌شده برای واسنجی وجود داشت. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مدل شبیه‌سازی شده، به‌خوبی بر آبخوان منطقه مطابقت دارد و نشان‌دهندهٔ 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.

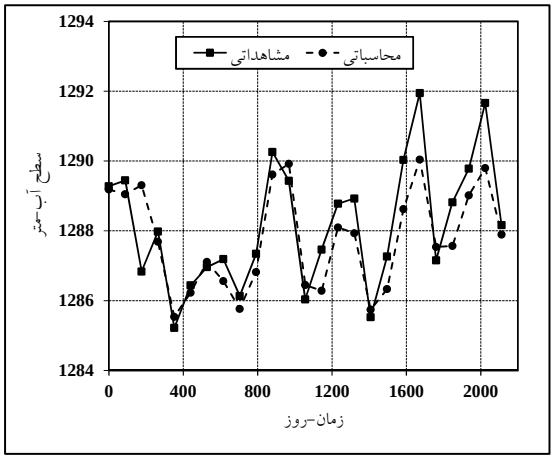
پس از واسنجی مدل در شرایط ماندگار و غیر ماندگار، مقادیر اجزای بیلان آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر استخراج شد. جدول ۱، مقادیر اجزای بیلان آب زیرزمینی محاسبه‌شده توسط مدل آبخوان دشت عجب‌شیر را در اولین و آخرین گام زمانی واسنجی مدل در شرایط غیرماندگار (پاییز ۱۳۷۸ و تابستان ۱۳۸۴) نشان می‌دهد. با توجه به جدول،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



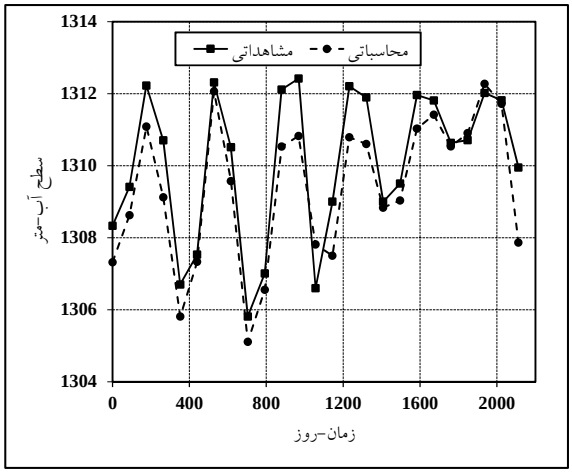
شکل ۴. مقادیر سطح آب زیرزمینی واقعی و محاسباتی در دشت عجب‌شیر، بعد از واسنجی مدل در حالت ماندگار



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



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



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

همان گونه که بیان شد، پس از واسنجی مدل، به‌منظور بررسی تأثیر ادامهٔ 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 ثقلی 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 مقایسهٔ مقادیر آن با مقادیر جدول ۱، ملاحظه می‌شود که ادامهٔ روند برداشت از آب آبخوان با شرایط کنونی، سبب کاهش بیلان آب از ۰/۷۶میلیون مترمکعب در سال در آخر تابستان ۱۳۸۴، به ۲/۴۳-میلیون مترمکعب در سال در انتهای دورهٔ پیش‌بینی (آخر شهریور ۱۴۰۰) خواهد گردید. از دلایل تغییر بیلان آب آبخوان از مثبت به منفی در انتهای دورهٔ پیش‌بینی عبارت‌اند از: کم‌بودن راندمان آبیاری و هدررفت بخش زیادی از آب استخراج‌شده از آبخوان به همراه وقوع شرایط نامناسب اقلیمی ازجمله کاهش نزولات جوی و وقوع خشک‌سالی (بنابراین افزایش برداشت آب از آبخوان)، نباریدن برف

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

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

		مهر ۱۳۷۸	شهریور ۱۳۸۴
منابع تغذیهٔ آبخوان (مترمکعب)	ذخیره	۷۷۶/۲۰	۲۸۷۰۹/۷۲
	آبخوان‌های مجاور	۰/۵۶	۲۸/۰۷
	چاه‌ها	۹۸۹/۳۸	۲۳۶۸۶/۳۵
	نفوذ از رودخانه	۲۶/۰۴	۹۷۳۲/۱۳
	تبخیر- تعرق	۰/۰۰	۰/۰۰
	ورودی از دریاچهٔ ارومیه	۱/۰۸	۸۱/۹۸
	تغذیه از بارندگی	۵۴۸/۱۰	۱۸۷۶۷/۱۰
مجموع کل		۲۳۴۱/۳۶	۸۱۰۰۵/۳۶
بیلان خالص آبخوان (ورودی- خروجی)			-۰/۵۴

		مهر ۱۳۷۸	شهریور ۱۳۸۴
منابع تخلیهٔ آبخوان (مترمکعب)	ذخیره	۱۱۱۷/۱۴	۲۱۹۵/۴۲
	آبخوان‌های مجاور	۲۱/۷۴	۹۸۰/۶۸
	چاه‌ها	۱۰۰/۵۶	۵۳۰۲۸/۵۳
	زه‌کشی توسط رودخانه	۰/۰۰	۰/۰۰
	تبخیر- تعرق	۱۱۷/۸۸	۲۵۸۲/۳۲
	زه‌کشی به دریاچهٔ ارومیه	۷۹/۵۷	۲۴۵۸/۸۷
	تغذیه از بارندگی	۰/۰۰	۰/۰۰
مجموع کل		۲۳۴۱/۹۱	۸۱۰/۰۵
بیلان خالص آبخوان (ورودی- خروجی)			۰/۷۶

افزایش عمق آب زیرزمینی سبب افزایش هزینه‌های برداشت آب، کاهش سطح تماس دیوارهٔ 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 تعادل‌بخشی در آبخوان دشت عجب‌شیر، به بازگرداندن شرایط ازدست‌رفتهٔ 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 هزینهٔ بسیار زیادی بر متولیان امور آب ندارد؛ چراکه بخشی از هزینه‌های اجرای آن را زارع پرداخت می‌کند. 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 گسترهٔ اجرای آن (کل سطح دشت) در مقایسه با طرح‌های تغذیهٔ مصنوعی که در نقطهٔ خاصی از دشت اجرا می‌شود و با درنظرگرفتن 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 مقایسهٔ مقادیر جدول‌های ۱ و ۲، ملاحظه می‌شود مقدار بیلان آب زیرزمینی پیش‌بینی‌شده برای آبخوان در شرایط اجرای سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای در مزارع و باغ‌های دشت عجب‌شیر، از ۰/۷۶میلیون مترمکعب در سال در شهریور ۱۳۸۴ به

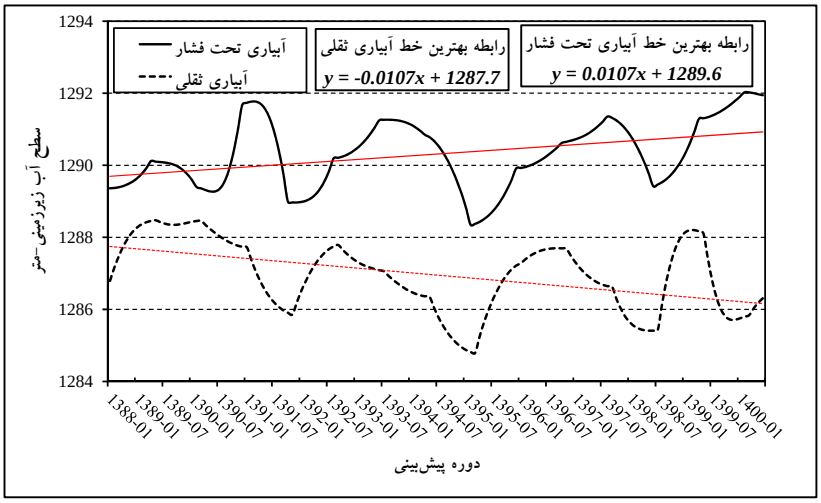
۳/۹۹میلیون مترمکعب در سال در آخر تابستان ۱۴۰۰ افزایش خواهد یافت (۳/۲۳میلیون مترمکعب در سال افزایش). همچنین با توجه به مقدار بیلان خالص آبخوان در جدول ۲، در صورت تبدیل کل سیستم‌های آبیاری دشت از ثقلی به تحت فشار، بیلان آب زیرزمینی در انتهای دورهٔ پیش‌بینی (انتهای تابستان ۱۴۰۰) در ادامهٔ شرایط موجود، حدود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

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

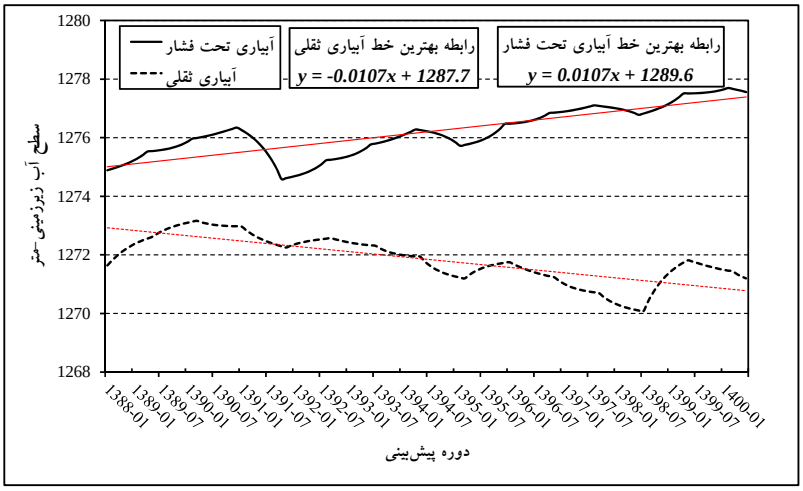
شکل‌های ۸ تا ۱۱، تأثیر افزایش راندمان آبیاری بر سطح آب زیرزمینی را در ۴ عدد از ۱۵ عدد چاهک مشاهده‌ای استفاده‌شده در این پژوهش، در دورهٔ پیش‌بینی نشان می‌دهند. با توجه به این شکل‌ها و مقدار شیب بهترین خط عبوری از بین تغییرات سطح ایستابی، ملاحظه می‌شود که شیب بهترین خط برای شرایط آبیاری ثقلی منفی است. این نتیجه، بیان‌کنندهٔ افت سطح آب زیرزمینی در صورت ادامهٔ 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 اثبات‌کنندهٔ اثر مثبت افزایش راندمان آبیاری بر خیز سطح آب زیرزمینی در کل دشت عجب‌شیر است.

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

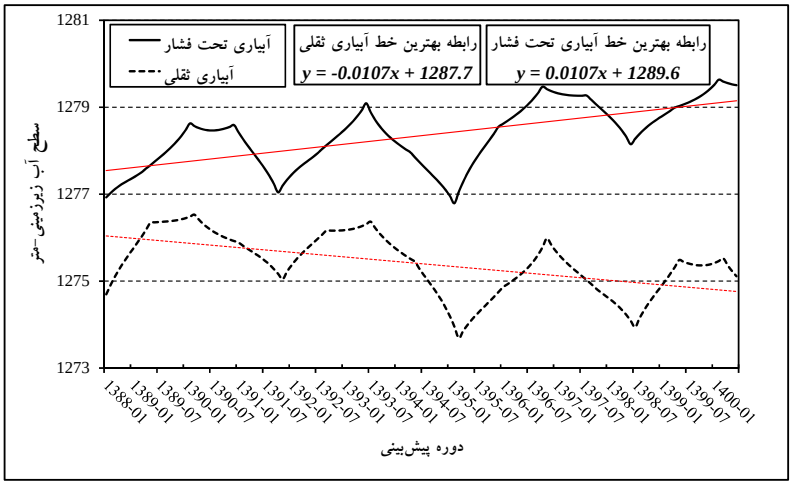
		آبیاری ثقلی	آبیاری تحت فشار			آبیاری ثقلی	آبیاری تحت فشار
منابع تغذیهٔ آبخوان (مترمکعب)	ذخیره	۲۲۷۴۲/۴۵	۳۶۵۳/۲۵	منابع تخلیهٔ آبخوان (مترمکعب)	ذخیره	۱۸۳۶۶/۰۵	۲۷۹۲/۵۷
	آبخوان‌های مجاور	۱۵۸/۴۱	۳/۵۷		آبخوان‌های مجاور	۱۰۷۰/۳۳	۱۲۴/۷۴
	چاه‌ها	۲۲۰۱۲/۳۱	۳۰۱۴/۰۴		چاه‌ها	۳۹۲۴۷/۷۸	۶۷۴۵/۲۳
	نفوذ از رودخانه	۶۴۶/۲۷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



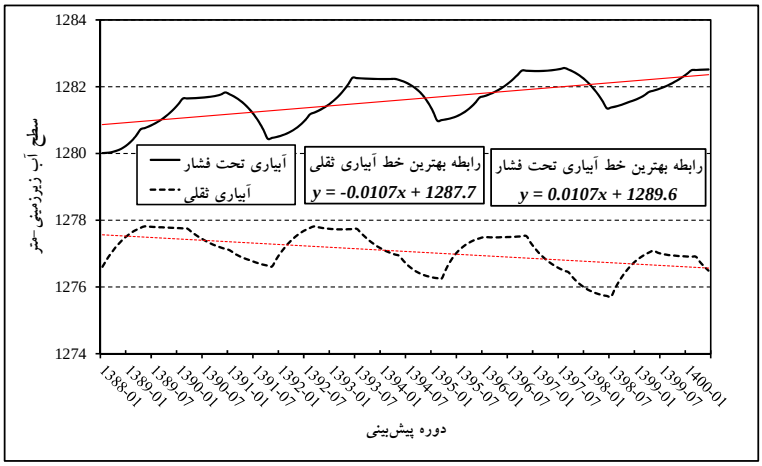
شکل ۸. هیدروگراف سطح آب محاسبه‌شده برای چاهک مشاهده‌ای شماره P1 در شرایط ثقلی و تحت فشار



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



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

جدول ۳، نشان‌دهندهٔ 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. 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. 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	۱۲۸۴/۴۵	۴/۲۴	میانگین	۱۲۸۰/۰۱	۱۲۸۵/۰۸	۵/۰۷
میانگین کل چاهک‌ها		آبیاری ثقلی ۱۲۸۰/۱۱ متر			آبیاری تحت فشار ۱۲۸۴/۷۴ متر		اختلاف ۴/۶۳ متر

نتیجه‌گیری

به‌منظور بررسی اثر افزایش راندمان کاربرد آب آبیاری بر سطح آب زیرزمینی، پژوهش حاضر بر روی آبخوان دشت عجب‌شیر انجام گرفت. به این منظور، ابتدا آبخوان با کمک نرم‌افزار Visual Modflow 3.1 شبیه‌سازی شد. پس از واسنجی مدل در دو حالت جریان ماندگار و غیر ماندگار، تغییرات سطح آب زیرزمینی از مهر ۱۳۸۸ تا آخر شهریور ۱۴۰۰ پیش‌بینی شد. بر اساس نتایج، در صورت افزایش راندمان آبیاری، سطح آب زیرزمینی در مقایسه با شرایط کنونی، به‌طور متوسط ۴/۶۳ متر در تمامی چاهک‌های مشاهده‌ای موجود در سطح دشت افزایش خواهد یافت. همچنین بیلان آب زیرزمینی در انتهای دورهٔ پیش‌بینی در مقایسه با شرایط موجود، حدود ۶/۴۲میلیون مترمکعب در سال بیشتر خواهد شد (به‌طور متوسط ۱/۶۰میلیون مترمکعب در سال برای ۱۲ سال دورهٔ پیش‌بینی). در نتیجه، افزایش راندمان مصرف آب در کل دشت از ثقلی به تحت فشار، مانند اجرای طرح تعادل‌بخشی با روزانه به‌طور متوسط ۱/۶۰میلیون مترمکعب در سال تغذیهٔ مصنوعی آبخوان دشت عجب‌شیر است؛ با این تفاوت که در گسترهٔ کل سطح آن افزایش می‌یابد.

منابع

۱. پورجنایی ع.، وقارفرد 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: ۱-۹.

۲. رزمگیر ر.، موسوی م.، شمشکی ا. و بلورچی م.ج (۱۳۸۹) فرونشست دشت تهران-شهریار در اثر برداشت بی‌رویه آبهای زیرزمینی، بررسی مقدماتی. دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع بهره‌برداری از منابع آب: ۱-۱۱.

۳. رنجبر م.، علاف‌نجیب م. و میرحیدری ف (۱۳۸۸) گزارش توجیهی برای تمدید ممنوعیت دشت عجب‌شیر. شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان‌شرقی، تبریز.

۴. سالاری م. و اژدری اقدم م (۱۳۸۶) شبیه‌سازی آبخوان لادیز به کمک مدل عددی MODFLOW. بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین: ۱-۸.

۵. مقیمی ه (۱۳۸۸) آبشناسی کاربردی. انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

۶. مهدوی م.، فرخ‌زاده ب.، سلاجقه ع.، ملکیان آ. و سوری م (۱۳۹۲) شبیه‌سازی آبخوان دشت همدان-بهار و بررسی سناریوهای مدیریتی با استفاده از مدل PMWIN. مجله پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی). ۹۸: ۱۰۸-۱۱۶.

۷. نکوآمال کرمانی م.، کشکولی ح. و رهنما م (۱۳۸۶) کاربرد نرم‌افزار MODFLOW (PMWIN 5.1) در مطالعه نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت بوچیر-حمیران. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر: ۱-۸.

۸. نیکبخت ج (۱۳۸۵) مدل بهره‌برداری 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 زرینه‌رود. مجله پژوهش آب ایران. ۸(۱۰): ۱۴۵-۱۵۴.

۱۰. پدارم ش. و حسن‌اقلی ع‌ر (۱۳۹۲) تعیین تأثیرپـذیری نتـایج آزمـون نفوذسـنجی از کیفیـت آب ورودی در پیش‌بینی پتانسیل انسداد معدنی پوشش‌هـای زهکشـی 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.