مدیریت آب و آبیاری
دوره ۳ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۲
صفحه‌های ۶۸-۴۹

مدیریت سطح آب زیرزمینی از طریق تلفیق آب سطحی و زیرسطحی با استفاده از مدل Modflow (مطالعهٔ موردی دشت ارومیه)

رزا جنوبی*[۱]، حسین رضایی[۲]، جواد بهمنش[۳]

۱. کارشناس ارشد گرایش آبیاری و زهکشی، دانشگاه ارومیه
۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ارومیه

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۸/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۲/۲۱

چکیده

در سال‌های اخیر، منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه تحت تنش شدید قرار گرفته است، به‌طوری‌که در بعضی مناطق به‌علت خشک شدن چاه‌های بهره‌برداری، برای دسترسی به آب اقدام به افزایش عمق چاه کرده‌اند. در بعضی مناطق، سطح آب زیرزمینی بالاست که در آینده، زهدار شدن آن اراضی را در پی خواهد داشت. برای ساماندهی و سنجش واکنش منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه در مقابل اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی و اجرایی از مدلسازی استفاده شد. مدل برای سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ با ۲۸ حلقه چاه مشاهداتی نماینده مورد سنجش و اعتبارسنجی قرار گرفت. مقایسهٔ خطوط تراز بارهای هیدرولیکی محاسباتی حاصل از مدل با خطوط تراز بارهای مشاهداتی، بیانگر عملکرد خوب مدل با آبخوان طبیعی است. این موضوع موجب شد اعمال سناریوهای مختلف روی مدل مورد سنجش قرار گیرد. در این راستا، سناریو کاهش ۲۵ درصدی پمپاژ و قطع پمپاژ در مناطق غربی دشت، به‌ترتیب موجب بالا آمدن سطح آب زیرزمینی به‌طور متوسط به اندازهٔ ۰/۵ و ٤ متر، و افزایش ۲۵ و ۵۰ درصدی پمپاژ در مناطق شرقی دشت، به‌ترتیب موجب افت سطح آب زیرزمینی به‌طور متوسط به‌مقدار۱ و ۳/۵ متر شد.

کلیدواژه‌ها: تلفیق آب سطحی و زیرزمینی، دشت ارومیه، ، سناریوهای مدیریتی، منابع آب زیرزمینی.

* نویسنده مسئول
Email: Rjonubi@yahoo.com

مقدمه

ایران به‌علت قرار گرفتن در منطقهٔ خشک و نیمه‌خشک، از نظر منابع آب، وضعیت نامطلوب‌تری نسبت به متوسط دنیا دارد. خشکسالی‌های متعدد و طولانی و نوسانات زیاد آب‌وهوایی، کمبود آب، به‌ویژه منابع آب سطحی را تشدید می‌کند. ازاین‌رو آبهای زیرزمینی، منبع مهم تأمین آب مصرفی مردم در بخش‌های مختلف است. استفادهٔ بهینه از منابع آبهای زیرزمینی، مستلزم مدیریت صحیح در بهره‌برداری، و مدیریت صحیح، مستلزم احاطهٔ علمی و اصولی بر سیستم منابع آبی هر منطقه است. یکی از روش‌های نوین مطالعهٔ منابع آبهای زیرزمینی، استفاده از مدل‌های ریاضی و کامپیوتری آبهای زیرزمینی است که ابزار مدیریتی کارا و پیشرفته‌ای به‌شمار می‌رود. یک مدل ریاضی صحیح از آبخوان دشت، مدیریت منطقه را در تصمیم‌گیری‌های درست در زمینهٔ مقدار برداشت از آبخوان، صدور مجوز حفر چاه‌های جدید، تأمین مقادیر مورد نیاز آب از منابع دیگر، تعیین محدوده برای حفاظت از آلوده شدن چاه‌های آب شرب، بررسی مسیرهای حرکت آلودگی در آبخوان برای جلوگیری از حفر چاه در آن مسیرها و مسائل دیگر مربوط به آبخوان یاری می‌دهد. امروزه در کشور سفره‌های آب زیرزمینی در راستای اهداف مختلف به‌طور گسترده مدلسازی می‌شوند. برای نمونه در تحقیقی، مدلسازی منابع آب زیرزمینی در شبکهٔ آبیاری و زهکشی البرز با توجه به داده‌های چاه‌های مشاهداتی و مدل کامپیوتری مادفلو و نیز اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی برای دورهٔ زمانی پنج‌سالهٔ ۱۳۷۹ تا ۱۳۸٤ به‌منظور بررسی آثار احداث شبکهٔ آبیاری و زهکشی بر نوسانات آبهای زیرزمینی منطقه و ارزیابی شاخص‌هایی برای توسعه و بهره‌برداری پایدار از این منابع صورت گرفت (۱). در تحقیقی دیگر، با استفاده از مدلسازی سفرهٔ آب زیرزمینی و کد کامپیوتری مادفلو، مدل سیستم جریان آبخوان دشت همدان– بهار تهیه شد. برای تهیهٔ مدل مفهومی آبخوان اصلی دشت، از داده‌ها و اطلاعات موجود منطقهٔ تحقیق استفاده شد. بعد از تأیید صحت مدل تهیه‌شده، وضعیت سطح تراز آب منطقه، پیش‌بینی شد. بنابر نتایج، سطح آب زیرزمینی منطقه، در سال آبی ۹۳-۱۳۹۲ وارد وضعیت بحرانی خواهد شد و اگر اقدامات مدیریتی مناسبی در این زمینه صورت نگیرد، وضعیت منطقه به حالت بحرانی تبدیل خواهد شد (۲). آبهای زیرزمینی منطقهٔ یزد–اردکان، به‌دلیل سهم وسیع خود در تأمین نیازهای شربی و غیرشربی منطقه، بسیار اهمیت دارند. به‌همین دلیل این منابع همواره باید در سطح قابل قبولی به لحاظ کیفی و کمی بر اساس استانداردهای آلودگی نگه داشته شوند. از آنجا که یکی از مهم‌ترین عوامل آلاینده در این آبخوان، پساب کشاورزی است، طی تحقیقی پس از ساخت مدل مفهومی دشت و تهیهٔ مدل ریاضی آبخوان در نرم‌افزار مادفلو، تأثیر تخلیهٔ پساب‌های کشاورزی بر کیفیت آب آبخوان بررسی شد. نتایج نشان داد که علاوه بر ترسیم روند گسترش هالهٔ آلودگی، استفادهٔ بی‌رویه از کودهای شیمیایی حاوی آلاینده‌های نیترات و فسفات، می‌تواند در دوره‌ای بیست‌ساله، منجر به غیرقابل استفاده شدن منابع آب زیرزمینی این آبخوان (به لحاظ کیفی) در مناطق تأمین آب شرب شهری شود (۳). مدل دشت میاندوآب برای سال آبی ۱۳۸٦–۱۳۸۵، واسنجی و صحت‌سنجی شده و دو سناریو افزایش پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری و افزایش بازده آبیاری و تأثیر آنها بر افت سطح آب زیرزمینی دشت میاندوآب بررسی شد. نتیجه اینکه با افزایش ۲۰ و ۵۰ درصدی پمپاژ، سطح آب زیرزمینی به‌طور متوسط ۱/۳۰ و ۳/۳۰ متر افت خواهد کرد. افزایش بازده نیز به‌طور متوسط موجب ۱/٤ متر افت سطح آب زیرزمینی در پهنهٔ این دشت خواهد شد (٤). مدل منابع آب زیرزمینی دشت خوی برای یک دورهٔ ۱۲ ماههٔ سال آبی ۱۳۸۷–۱۳۸٦ اجرا و صحت‌سنجی شد. پس از صحت‌سنجی دو سناریو: ۱. کاهش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در قالب کاهش

مقدار پمپاژ؛ ۲. افزایش بازده مصرف آب کشاورزی در قالب کاهش پمپاژ و کاهش تغذیه توسط مدل بررسی شد. بر اساس نتایج مدل، بر اثر اعمال سناریو کاهش پمپاژ، بیشترین افزایش سطح آب زیرزمینی در قسمت غربی، مرکزی و جنوب دشت رخ می‌دهد و بخش‌هایی که با کاهش سطح آب زیرزمینی روبه‌رو می‌شوند، در بخش شمال شرقی دشت قرار دارند. در اثر اعمال سناریو افزایش بازده آبیاری نیز در مناطقی که اراضی کشاورزی وجود دارند، مانند بخش‌های مرکزی و غربی، تأثیر کاهش تغذیهٔ ناشی از آبیاری موجب می‌شود افزایش سطح ایستابی نسبت به سناریو کاهش پمپاژ کاهش یابد (۵). در دیگر نقاط جهان نیز تحقیقاتی در این خصوص صورت گرفته است. برای نمونه در تحقیقی، جریان آب زیرزمینی در سفرهٔ لئون شینادگا[1] که یک دشت کشاورزی در شمال غربی نیکاراگوا است، با استفاده از کد کامپیوتری مادفلو در دو حالت پایدار و ناپایدار مدلسازی شد. مدل نشان داد که پمپاژ، سبب کاهش جریان پایه می‌شود و کاهش دبی رودخانه را در پی دارد. این مسئله در طول دوره‌های خشک که نیاز آبی مزارع به حداکثر می‌رسد، بحرانی می‌شود. برای توسعهٔ کشاورزی، می‌توان از مدل عددی ارائه‌شده به‌عنوان نوعی ابزار مدیریتی قوی بهره برد. با استفاده از آب زیرزمینی سفره آب آشامیدنی شهرهای مختلف کشور اردن تأمین می‌شود. با استفاده از کد مادفلو، رفتار سیستم جریان تحت تنش‌های مختلف در این منطقه بررسی شد. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که مدل، به هدایت هیدرولیکی و ناهمسانی بسیار حساس است و در سطوح پایین‌تر، به شدت‌های تغذیه هم حساسیت دارد و به آبدهی ویژه نیز حساس است (۹). در وایومینگ[2] با استفاده از مدل ترکیبی مادفلو و MT3D، نواحی هیپروهیک در اطراف سدهای نخاله‌گیر و پیچ‌ها در طول آبراهه‌های نیمه‌خشک شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که حرکت آبهای سطحی به داخل این ناحیه، اغلب نوعی فرایند جابه‌جایی است. این روش، اختلاف آب سطحی و زیرزمینی را نیز در این نواحی شبیه‌سازی می‌کند (۸). ارتباط مکانی پوشش گیاهی و تخلیهٔ آب زیرزمینی برای آبیاری در یک دشت سیلابی نیمه‌خشک استرالیا با استفاده از نرم‌افزار مادفلو شبیه‌سازی شد. در این پژوهش رابطهٔ تبخیر- تعرق و عمق آب زیرزمینی و غلظت نمک مد نظر قرار گرفت و مشخص شد که توزیع مکانی پوشش گیاهی، بیشترین همبستگی را با الگوهای تبخیر- تعرق از آب زیرزمینی دارد. همچنین ارتفاع دشت سیلابی، عرض و هندسهٔ دشت سیلابی با پوشش گیاهی رابطه دارد و بر تخلیهٔ آب زیرزمینی و جریان پایهٔ رودخانه اثر می‌گذارد (۷). با استفاده از مادفلو مدل سه‌بعدی آبهای زیرزمینی معدن طلای مجاور واشینگتن برای بررسی منطقه ارائه شد (۱۱). همچنین با استفاده از مادفلو مدل آبهای زیرزمینی منطقهٔ باربادوس[3] تهیه شد (۱۲). مدل رایانه‌ای دشت ایراوان[4] در لیبی نیز با استفاده از کد مادفلو تهیه شد. صحت‌سنجی مدل نشان داد که مدل به‌طور مناسب سطوح آب مشاهده‌ای را در سفره تولید می‌کند. این مدل برای ارزیابی تأثیرات برداشت آب در دوره‌های متوسط و بلندمدت در دشت ایراوان استفاده شد. بر اساس نتایج، اگر روش‌های کشاورزی و آبیاری جاری در دشت همچنان برقرار باشد، در سال ۲۰۳۳ سطح آب در مرکز منطقهٔ مورد مطالعه در ٤٧٠ متری از سطح آزاد دریا قرار خواهد گرفت که به این معناست که سطح آب در این منطقه حداکثر ۳۰ متر افت می‌کند (۱۰).

مدلسازی منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه و اعمال سناریوهای مدیریتی روی آن، روشی مناسب و کم‌هزینه برای مدیریت علمی و عملی شبکهٔ آبیاری و زهکشی

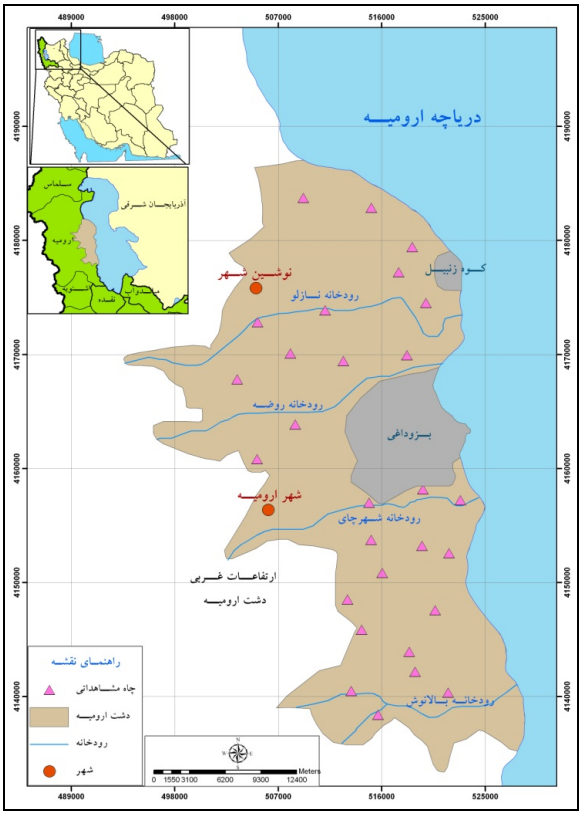
1. Leon Chinadga
2. Wyoming, USA
3. Barbados
4. Irawan

دشت است. برنامه‌ریزان و بهره‌برداران از شبکه می‌توانند با استفاده از نتایج سناریوها، از آثار احتمالی آتی واقف شوند و برنامه‌های اجرایی درست و منطقی را اتخاذ کنند. در تحقیق حاضر با درنظر گرفتن شبکهٔ آبیاری و زهکشی ارومیه به‌عنوان یک منطقهٔ تغذیه‌ای و تخلیه‌ای مجزا در گسترهٔ دشت، با استفاده از بسته‌های مختلف کد کامپیوتری مادفلو، تأثیر سناریوهای مختلف پمپاژ اعمال‌شده در شبکه بر منابع آب زیرزمینی دشت بررسی شد. هدف این تحقیق، اعتبارسنجی جدید مدل آب زیرزمینی دشت ارومیه و بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی از طریق اعمال سناریوهای مختلف بود. عمق سطح آب زیرزمینی در مناطق غربی دشت، از ۱۰ تا ۴۵ متر و در مناطق شرقی و میانی ، از ۱ تا ۵ متر تغییر می‌کند که زهدار شدن اراضی را در بعضی نقاط این منطقه سبب می‌شود. از اهداف این تحقیق، بررسی وضعیت آب زیرزمینی دشت در این مناطق با اعمال سناریوها با مشاورهٔ سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی و بررسی امکان کمک برای بهبود آن بوده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه

دشت ارومیه به مساحت ۹۶۲ کیلومتر مربع در غرب دریاچه ارومیه و بین طول شرقی ´۵۵ °۴۴ و ´۱۸ °۴۵ و عرض شمالی ´۲۰ °۳۷ و ´۴۹ °۳۷ قرار دارد. طول این دشت در امتداد شمال – جنوب به‌طور متوسط حدود ۵۵ کیلومتر و در امتداد شرق – غرب حدود ۲۲ کیلومتر است. حداکثر نقطهٔ ارتفاعی حوضهٔ آبریز دشت ۳۵۷۹ متر و ارتفاع دشت به‌طور متوسط حدود ۱۳۲۰ متر از سطح آبهای آزاد است. متوسط شیب دشت ساحلی ارومیه در حدود یک در هزار بوده و به‌طور کلی، شیب عمومی دشت از غرب به شرق و مقدار آن به‌طور متوسط در حدود ۳ در هزار است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت ارومیه

بسته‌های کامپیوتری مادفلو و مادلکد

ساختار کُد مادفلو، شامل یک برنامهٔ اصلی و مجموعه‌ای از بسته‌های نرم‌افزاری مستقل از هم است. بسته‌های نرم‌افزاری در پکیج‌ها گروه‌بندی شده‌اند. تقسیم برنامه به پکیج‌ها به کاربر اجازه می‌دهد ویژگی‌های هیدرولوژیکی مخصوص را به‌صورت مستقل بررسی کند. به‌علت چنین ساختاری، می‌توان قابلیت‌های جدید را بدون نیاز به تغییر قابلیت‌های موجود در ترکیب قبلی، به آن اضافه کرد و این امکان، سبب توسعهٔ قابلیت‌های اضافی می‌شود.

مادلکد[1] پلی است بین طراحی خلاق مدل و جنبه‌های عملی مدلسازی، که با مهیا کردن روش‌های گرافیکی سریع و انعطاف‌پذیر، خلاقیت را برای مدلساز به ارمغان می‌آورد و توانایی آن را افزایش و امکان خطا را کاهش می‌دهد. این نرم‌افزار با پشتیبانی از انواع و اقسام شرایط مرزی، پارامترهای سفره، نقشه‌های رقمی پایه، شبکهٔ تفاضلات محدود را به‌صورت گرافیکی و با فرمت خاص تولید و ضبط می‌کند. به‌این‌ترتیب مدلساز قادر به اصلاح شبکه و اعمال شرایط مرزی و خصوصیات سفره می‌شود. این پیش‌پردازنده با داشتن چند مترجم برای کُدهای کامپیوتری مختلف، فایل داده‌های ورودی را برای هر مدل تهیه می‌کند. این نرم‌افزار انواع فایل‌های تولیدشده (DXF, BLN, SRF, GRD) توسط نرم‌افزارهای گوناگون از جمله سورفر[2] را فرامی‌خواند و کل عملیات ناحیه‌بندی و تخصیص پارامترها را انجام می‌دهد. در ضمن اکثر گزینه‌های مدلسازی در این نرم‌افزار انتخاب شده و فایل‌های تولیدشده با فرمت لازم برای ورودی کُد کامپیوتری مادفلو آماده می‌شوند.

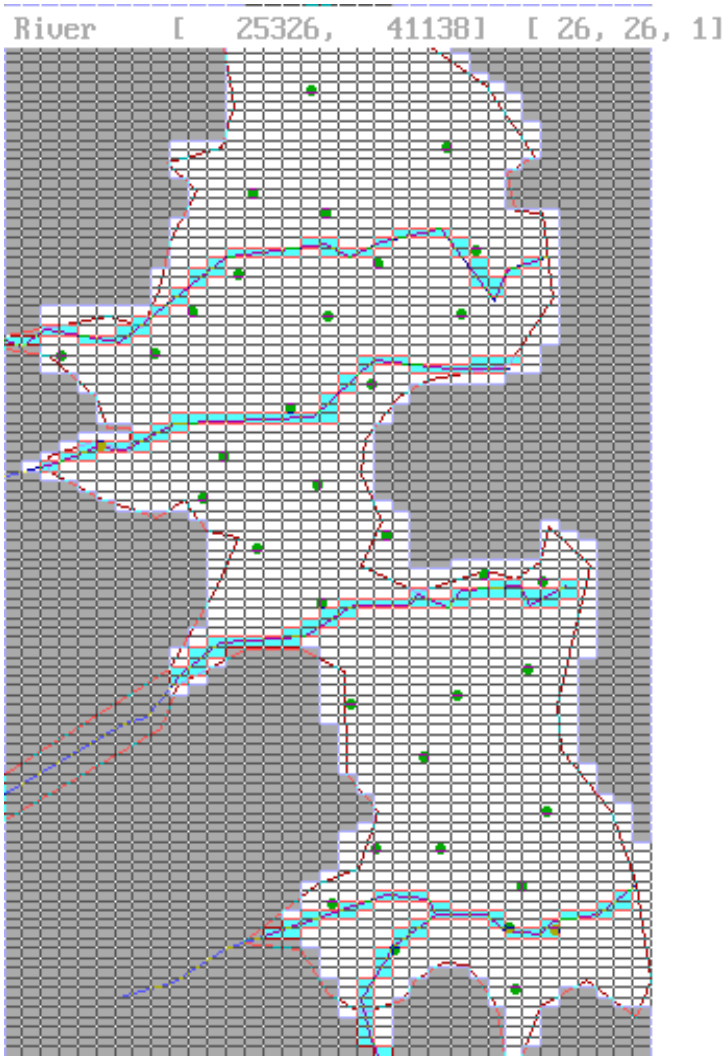
مدلسازی دشت ارومیه

در مدل کامپیوتری منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه، سال آبی ۱۳۷۱ به‌عنوان سال واسنجی، سال آبی ۱۳۷۲به‌عنوان سال اعتبارسنجی و سال آبی ۱۳۸۰-۱۳۷۹ به‌عنوان سال ارزیابی کارکرد مدل، پس از ملاحظهٔ کمی و کیفی اطلاعات موجود، انتخاب شده بود. در این تحقیق، مدل بار دیگر برای سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷، صحت‌سنجی شده و کارکرد آن ارزیابی شد. برای تخصیص ارتفاعات سطح آب زیرزمینی به‌عنوان شرایط اولیه، ماه تعادل که در آن نوسانات سطح آب زیرزمینی، نسبت به سایر ماه‌های سال حداقل بود، تعیین شد. این کار از طریق ساخت خطوط تراز سطح آب زیرزمینی برای غالب ماه‌های سال و در چند سال و مقایسهٔ آنها با هم صورت پذیرفت. درنتیجه، فروردین به‌عنوان ماه تعادل انتخاب و فایل «گرید» مربوط پس از ساخت به پیش‌پردازندهٔ مادلکد وارد شد و به‌این‌ترتیب سطح آب اولیه برای همهٔ سلول‌های فعال شبکه تخصیص یافت. تخصیص سلولی چاه‌های بهره‌برداری و بازه‌های رودخانه‌ای، سلول‌های مکانی فعال، غیرفعال و فواصل زمانی و تخصیص سلولی ارتفاعات سقف و کف لایهٔ آبدار به‌عنوان شرایط مرزی در مادفلو تعریف می‌شوند.

برای ساخت مدل دشت از کد کامپیوتری مادفلو با گام‌های زمانی یک‌روزه و دوره‌های تنش یک‌ماهه استفاده شد. در این زمینه، منطقهٔ تحقیق به ۳۵×۱۰۸ (تعداد ردیف در تعداد ستون) به ابعاد ۵۰۰ در ۱۰۰۰ متر تقسیم شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار سورفر و پیش‌پردازندهٔ مادلکد برای هر یک از شبکه‌های مربع مستطیلی مقادیر پارامترها تخصیص داده شد و بسته‌های نرم‌افزاری توپوگرافی، رقوم سنگ کف، ضریب هدایت هیدرولیکی،آبدهی ویژه، رقوم اولیهٔ سطح آب، تغذیه و تبخیر- تعرق تولید و اطلاعات مربوط به رودخانه‌ها و چاه‌های بهره‌برداری به کد مادفلو

1. Modelcad
2. Surfer

معرفی شد. پس از تولید بسته‌های نرم‌افزاری لازم و با استفاده از سطح اولیه، به‌عنوان شرایط اولیه، مدل با گام‌های زمانی یک‌روزه برای ماه‌های متوالی اجرا شد و هیدروگراف‌ها و منحنی‌های همتراز سطح ایستابی محاسبه‌شده توسط مدل با هیدروگراف‌ها و منحنی‌های همتراز به‌دست‌آمده از چاه‌های مشاهداتی موجود در منطقه در انتهای هر دورهٔ تنش یک‌ماهه مقایسه شد. سپس مدل از طریق آزمون و خطا برای دورهٔ زمانی تنش اول با تصحیح مشخصات هیدرودینامیک سفره (ضریب هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه) واسنجی شد. برای دوره‌های تنش بعدی با تغییر دادن پارامترهای تغذیه و تخلیه در حد مجاز، اعتبار مدل سنجیده شد. برای این منظور از ۲۸ چاه مشاهداتی که سطح آب آنها به‌طور منظم و ماهانه وجود داشت استفاده شد.



شکل ۲. تخصیص تصویری سلول‌های فعال (سفید) و غیرفعال (سیاه)،
تخصیص تصویری و سلولی بازه‌های رودخانه‌ای از طریق پیش‌پردازنده برای هر سلول مورد نظر در گسترهٔ دشت ارومیه

تعریف سناریوها

سناریوهای بررسی‌شده در این تحقیق، با مشاورهٔ سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی تعیین شده‌اند و قابلیت اجرایی دارند و عبارتند از:

سناریو اول: کاهش ۲۵ درصدی پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در مناطق غربی دشت (افزایش ۲۵ درصدی مصرف آب سطحی) و افزایش ۲۵ درصدی پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در مناطق شرقی و میانی دشت (کاهش ۲۵ درصدی مصرف آب سطحی)؛

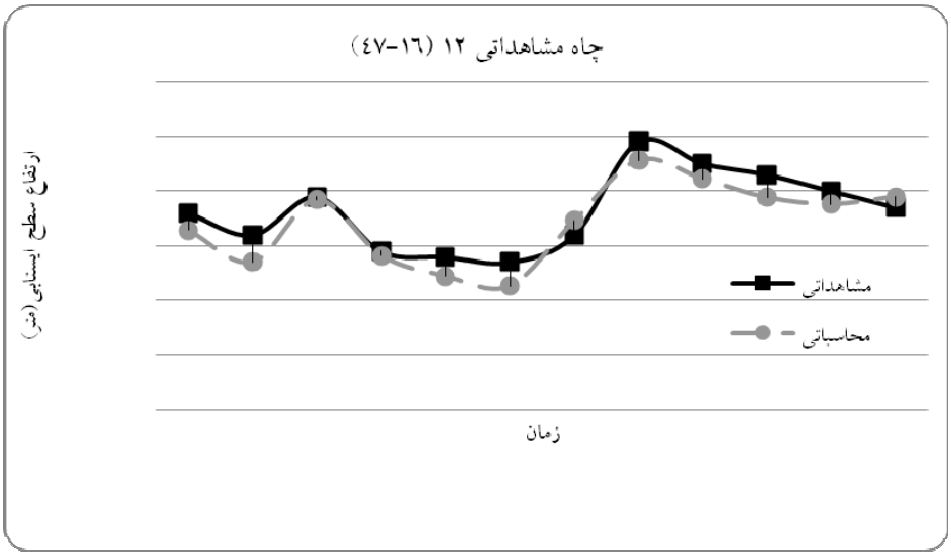
سناریو دوم: ممنوع کردن پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در مناطق غربی دشت (تأمین آب از منابع آب سطحی) و افزایش ۵۰ درصدی پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در مناطق شرقی و میانی دشت.

حجم بهره‌برداری از چاه‌های موجود در کل دشت به‌طور متوسط ۳۶,۸۷۷,۹۴۶ مترمکعب در سال است. برای اعمال سناریوهای اول و دوم، ابتدا مقدار برداشت از چاه‌های بهره‌برداری به مقدار مورد نظر در هر سناریو در مناطق غربی و شرقی دشت تغییر داده شد و با استفاده از پیش‌پردازندهٔ مادلکد، بستهٔ چاه در هر بار دوباره تولید و در پوشه صحت‌سنجی‌شده، جانشین بستهٔ قدیمی شد و مدل به‌اجرا درآمد. پس از اجرای مدل، مقادیر بار هیدرولیکی محاسباتی در اثر اعمال این سناریو در محل چاه‌های مشاهداتی به‌کمک بستهٔ هیدروگراف حاصل شد.

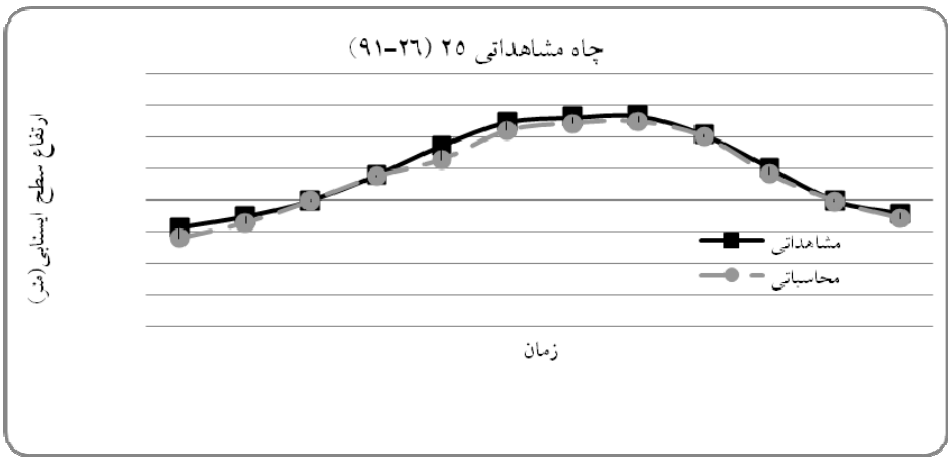
نتایج و بحث

مقایسهٔ هیدروگراف‌های حاصل از اجرای مدل با هیدروگراف‌های مشاهداتی حاکی از تطبیق خوب مدل با واقعیت است، به‌طوری‌که میانگین قدر مطلق اختلاف بین بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی ۰/۲ متر است (شکل ۳ و جدول ۱).

شکل ۳. تطابق هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی برای چاه نمایندهٔ ٤ در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷
(اعداد داخل پرانتز بیانگر شمارهٔ ردیف و ستون چاه مشاهداتی مورد نظر است)


چاه مشاهداتی ۱۲ (۱۶-۴۷)
ارتفاع سطح ایستابی (متر)
مشاهداتی
محاسباتی
زمان

چاه مشاهداتی ۱۷ (۲۲-۶۷)
ارتفاع سطح ایستابی (متر)
مشاهداتی
محاسباتی
زمان


چاه مشاهداتی ۲۵ (۲۶-۹۱)
ارتفاع سطح ایستابی (متر)
مشاهداتی
محاسباتی
زمان

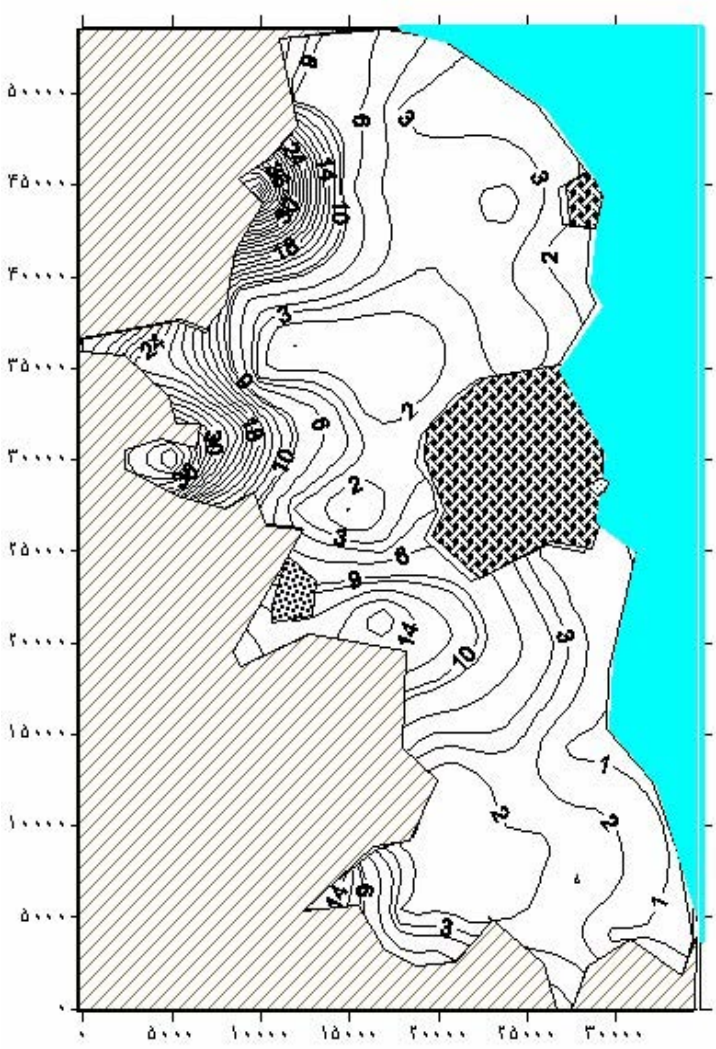
ادامهٔ شکل ۳

جدول ۱. مقدار اختلاف رقوم مشاهداتی و محاسباتی و درصد خطا برای ۲۸ چاه مشاهده‌شده در طول دورهٔ صحت‌سنجی در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷، در دشت ارومیه (برحسب متر)

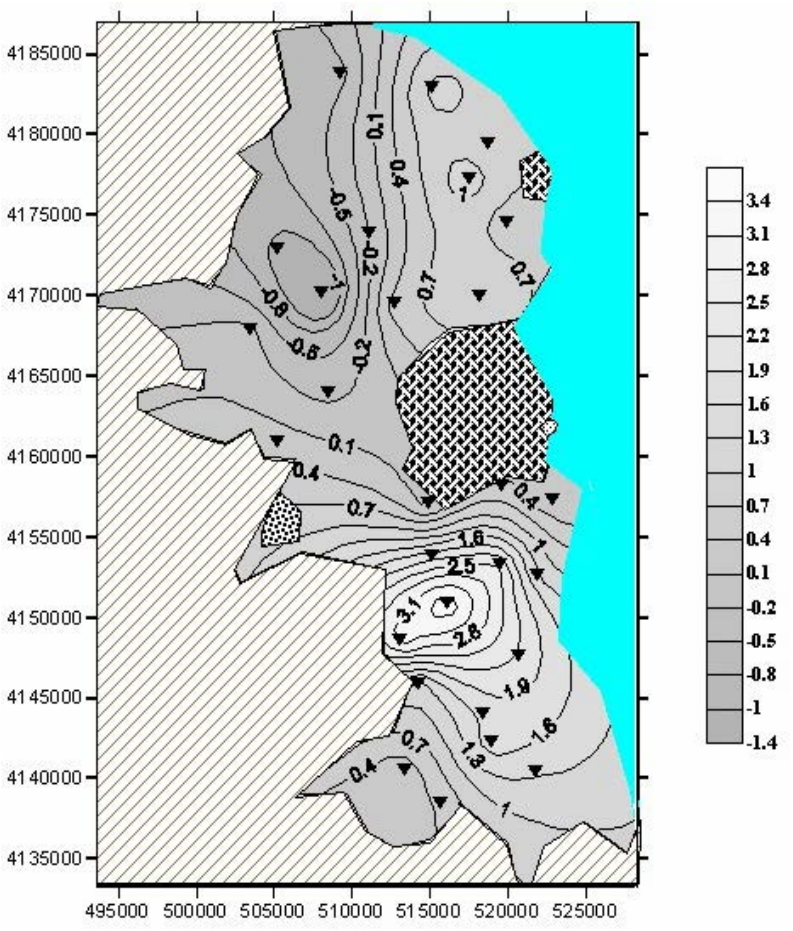
شمارهٔ چاه مشاهداتی	ضخامت لایه آبخوان در محل پیزومتر	بیشترین اختلاف	کمترین اختلاف	بیشترین درصد خطا	شمارهٔ چاه مشاهداتی	بیشترین اختلاف	کمترین اختلاف	ضخامت لایه آبخوان در محل پیزومتر	بیشترین درصد خطا
چاه مشاهداتی ۱	۶۳/۵	۰/۳۴	۰/۰۳	۰/۵۴	چاه مشاهداتی ۱۵	۰/۳۰	۰/۰۲	۳۶/۹	۰
چاه مشاهداتی ۲	۳۱/۱	۰/۶۸	۰/۰۹	۲/۱۹	چاه مشاهداتی ۱۶	۰/۳۱	۰/۰۲	۲۴/۷	۱/۲۶
چاه مشاهداتی ۳	۳۳/۳	۰/۴۶	۰/۱۳	۱/۳۸	چاه مشاهداتی ۱۷	۰/۵	۰/۰۱	۲۰/۸	۲/۴۰
چاه مشاهداتی ۴	۲۹/۱	۰/۴۷	۰/۰۲	۱/۶۲	چاه مشاهداتی ۱۸	۰/۵۹	۰/۰۷	۳۲/۱	۱/۸۴
چاه مشاهداتی ۵	۳۵/۹	۰/۳۲	۰/۰۱	۰/۸۹	چاه مشاهداتی ۱۹	۰/۲۳	۰/۰۰	۳۷/۲	۰/۶۲
چاه مشاهداتی ۶	۳۹/۸	۰/۴۴	۰/۰۴	۱/۱۱	چاه مشاهداتی ۲۰	۰/۵۶	۰/۰۲	۱۷/۳	۳/۲۴
چاه مشاهداتی ۷	۴۹	۰/۷۶	۰	۱/۵۵	چاه مشاهداتی ۲۱	۰/۱۶	۰/۰۱	۱۱/۸	۱/۳۶
چاه مشاهداتی ۸	۴۳	۰/۳۹	۰/۰۶	۰/۹۱	چاه مشاهداتی ۲۲	۰/۲۸	۰/۰۱	۲۹/۴	۰/۹۵
چاه مشاهداتی ۹	۳۶/۵	۰/۳۲	۰/۰۶	۰/۸۸	چاه مشاهداتی ۲۳	۰/۴۰	۰/۰۲	۱۹/۳	۲/۰۷
چاه مشاهداتی ۱۰	۳۹/۱	۰/۳۱	۰/۰۵	۰/۷۹	چاه مشاهداتی ۲۴	۰/۳۲	۰/۰۵	۱۹/۵	۱/۶۴
چاه مشاهداتی ۱۱	۵۱	۰/۵۱	۰/۰۲	۱	چاه مشاهداتی ۲۵	۰/۴۶	۰/۰۲	۲۱	۲/۱۹
چاه مشاهداتی ۱۲	۳۹/۲	۰/۲۵	۰/۰۳	۰/۶۴	چاه مشاهداتی ۲۶	۰/۲۹	۰/۰۰	۱۱/۱	۲/۶۱
چاه مشاهداتی ۱۳	۴۴/۸	۰/۳۴	۰/۰۱	۰/۷۶	چاه مشاهداتی ۲۷	۰/۳۴	۰/۰۲	۲۷/۸	۱/۲۲
چاه مشاهداتی ۱۴	۴۰/۲	۰/۲۸	۰/۰۳	۰/۷۰	چاه مشاهداتی ۲۸	۰/۴۶	۰/۰۷	۱۶	۲/۸

بنابراین می‌توان نتایج حاصل از اعمال سناریو را منطقی دانست. به‌طور متوسط، افت سطح آب زیرزمینی در طول سال در دشت ارومیه، ۲/٤ متر است. دشت ارومیه با توجه به وضعیت آب زیرزمینی به دو منطقه تقسیم می‌شود. در مناطق غربی دشت، عمق سطح آب زیرزمینی از ۱۰ تا ٤٥ متر تغییر می‌کند (شکل٤). این عدد در مناطق شرقی و میانی دشت، ۱ تا ۵ متر است که زهدار شدن اراضی را در بعضی از نقاط این منطقه سبب می‌شود. البته ضخامت لایهٔ آبخوان (عمق سنگ کف) در این منطقه به‌طور متوسط ۳۸ متر است و می‌توان دبی خوبی با احداث چاه در این منطقه برداشت کرد.

در سناریو اول، نتیجهٔ کاهش ۲۵ درصدی پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در مناطق غربی دشت، بالا آمدن سطح آب به‌طور متوسط به اندازهٔ ۰/۵ متر است که بیشترین مقدار آن ۱ متر در غرب منطقه و کمترین آن ۰/۱ متر در وسط دشت است. نتیجهٔ افزایش ۲۵ درصدی پمپاژ در مناطق شرقی دشت، افت سطح آب به مقدار متوسط ۱ متر است که بیشترین آن ۳/٤ متر در منطقه‌ای در جنوب دشت است (شکل ۵).

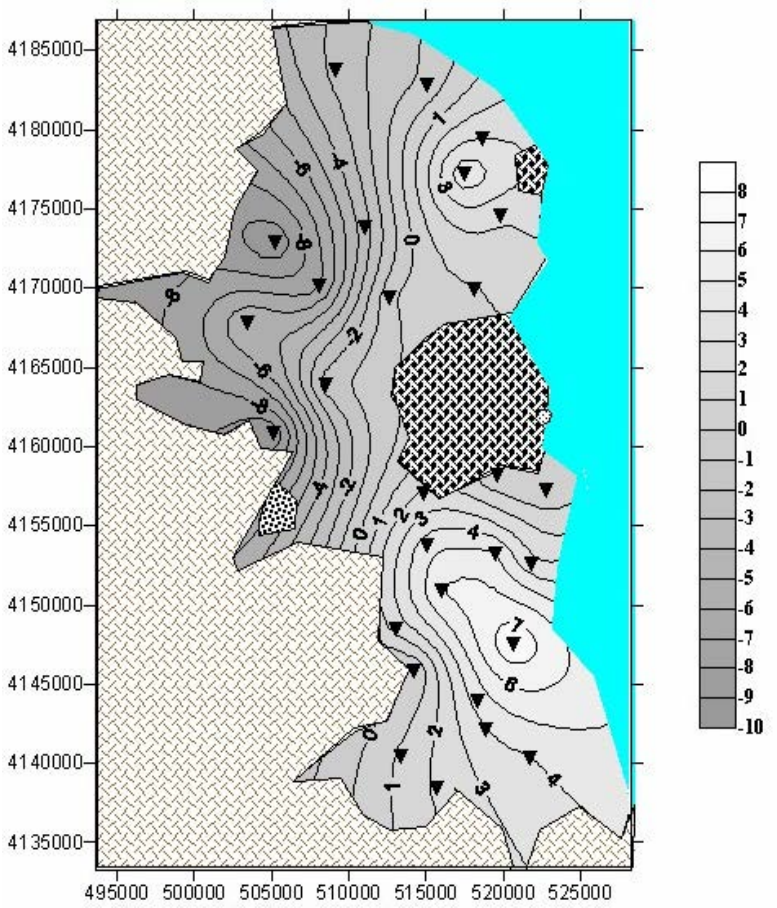


شکل ٤. خطوط تراز عمق آب زیرزمینی در دشت ارومیه در سال آبی ۱۳۸۸- ۱۳۸۷ برحسب متر



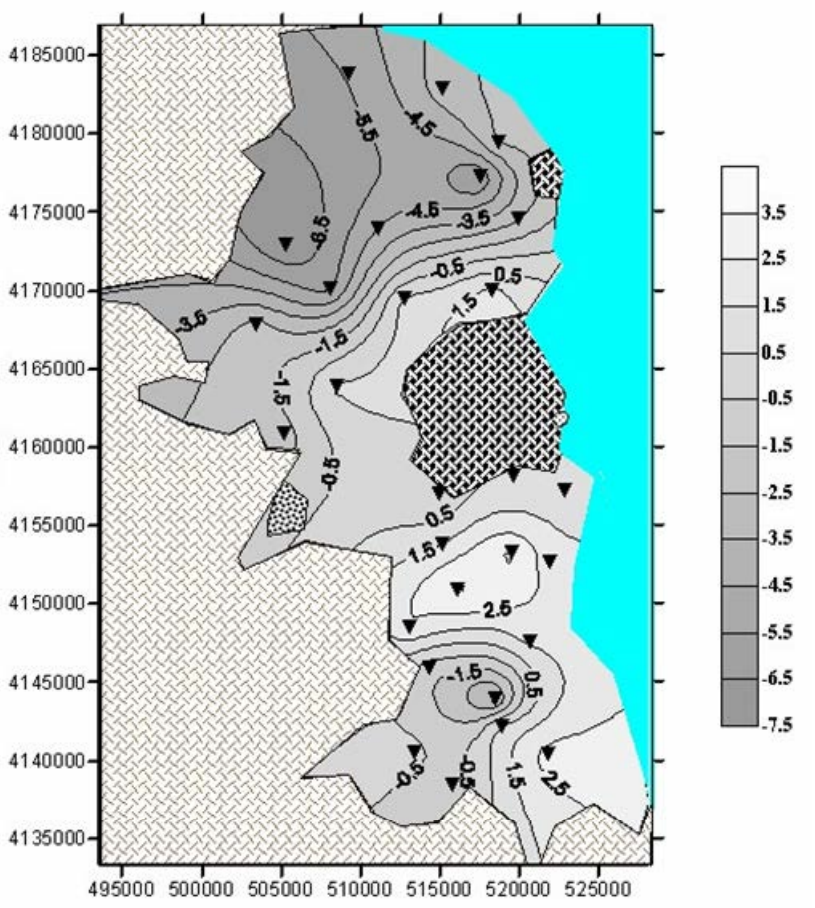
شکل ۵. متوسط ماهیانهٔ افت در چاه‌های مشاهداتی نماینده در اثر اعمال سناریو افزایش ۲۵ درصدی پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در مناطق شرقی دشت ارومیه و متوسط ماهیانهٔ بالا آمدن سطح آب در چاه‌های مشاهداتی نماینده در اثر اعمال سناریو کاهش ۲۵ درصدی پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در مناطق غربی دشت ارومیه

در سناریو دوم، بر اثر قطع پمپاژ در چاه‌های بهره‌برداری در مناطق غربی دشت ارومیه، سطوح آب زیرزمینی در غالب چاه‌های مشاهداتی آن ناحیه، نسبت به مشاهدات صحرایی و محاسبات مدلی بدون اعمال سناریو، افزایش شایان توجهی نشان می‌دهد که بیانگر بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در مناطق غربی دشت ارومیه، با شدت بیشتر است. بر اثر افزایش ۵۰ درصدی پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در مناطق شرقی دشت ارومیه، سطوح آب زیرزمینی در بیشتر چاه‌های مشاهداتی آن ناحیه، نسبت به مشاهدات صحرایی و محاسبات مدلی، بدون اعمال سناریو، کاهش شایان توجهی نشان می‌دهد که بیانگر پایین رفتن سطح آب زیرزمینی در مناطق شرقی دشت ارومیه با شدت بیشتر است. قطع پمپاژ در چاه‌های بهره‌برداری غربی، موجب بالا آمدن سطوح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهداتی مورد نظر در شرق، نسبت به مشاهدات صحرایی و محاسبات مدلی بدون اعمال سناریو است. این موضوع، بیانگر جریان آب زیرزمینی دشت ارومیه از غرب به شرق است. همچنین با توجه به نتایج مدلی در بخش کنونی، می‌توان گفت عدم پمپاژ یا کاهش پمپاژ در مناطق غربی دشت ارومیه، خطر زهدار شدن اراضی شرقی دشت را افزایش می‌دهد (شکل‌های ٦ و ٧).



شکل ٦. متوسط ماهیانهٔ افت در چاه‌های مشاهداتی نماینده (▼) در اثر اعمال سناریو افزایش ۵۰ درصدی پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در مناطق شرقی دشت و متوسط ماهیانهٔ بالا آمدن سطح آب در چاه‌های مشاهداتی نماینده در اثر اعمال سناریو قطع پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در مناطق غربی دشت در شش‌ماههٔ دوم سال ۱۳۸۷

بر اساس نتایج مدل صحت‌سنجی‌شدهٔ دشت ارومیه برای سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷، مؤلفه‌های اصلی جریان ورودی بیلان شامل تغذیه از طریق مرزهای سیستم، تغذیهٔ سطحی از طریق آبیاری و بارندگی و تغذیه از طریق رودخانه‌هاست (جدول ۲). بیلان تجمعی آبی حاصل از مدل، بیانگر تأثیر زیاد رودخانه‌های موجود بر تغذیهٔ منابع آب زیرزمینی دشت است. بعد از رودخانه‌ها، تغذیه از طریق آبهای سطحی به‌ویژه آبیاری در مقام دوم قرار می‌گیرد. مقدار تغذیه از طریق مرزهای سیستم نسبت به تغذیه از طریق رودخانه‌ها و تغذیهٔ سطحی بسیار ناچیز است. تخلیهٔ منابع آب زیرزمینی دشت از طریق تبخیر و تعرق و چاه‌های بهره‌برداری و زهکشی رودخانه‌های دشت صورت می‌گیرد (جدول ۳). بیلان مدلی حاکی از این است که در تخلیهٔ منابع آب زیرزمینی، پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در مقام اول، زهکشی رودخانه‌های دشت در مقام دوم و تبخیر- تعرق در مقام سوم قرار دارد. سیستم سفرهٔ آب زیرزمینی دشت دو مؤلفهٔ ورودی (تغذیه) و خروجی (تخلیه) دارد. تفاضل مقادیر ورودی و خروجی از سفرهٔ آب زیرزمینی دشت ارومیه در جدول ٤ آمده است. بر اساس مطالب این جدول، منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷، بیلان مثبت ناچیزی دارد.



شکل ۷. متوسط ماهیانهٔ افت در چاه‌های مشاهداتی نماینده (▼) در اثر اعمال سناریو افزایش ۵۰ درصدی پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در مناطق شرقی دشت و متوسط ماهیانه بالا آمدن سطح آب در چاه‌های مشاهداتی نماینده در اثر اعمال سناریو قطع پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در مناطق غربی دشت در شش‌ماههٔ اول سال ۱۳۸۸

جدول ۲ . بیلان مدلی، مقادیر تجمعی تغذیه به منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ به مترمکعب

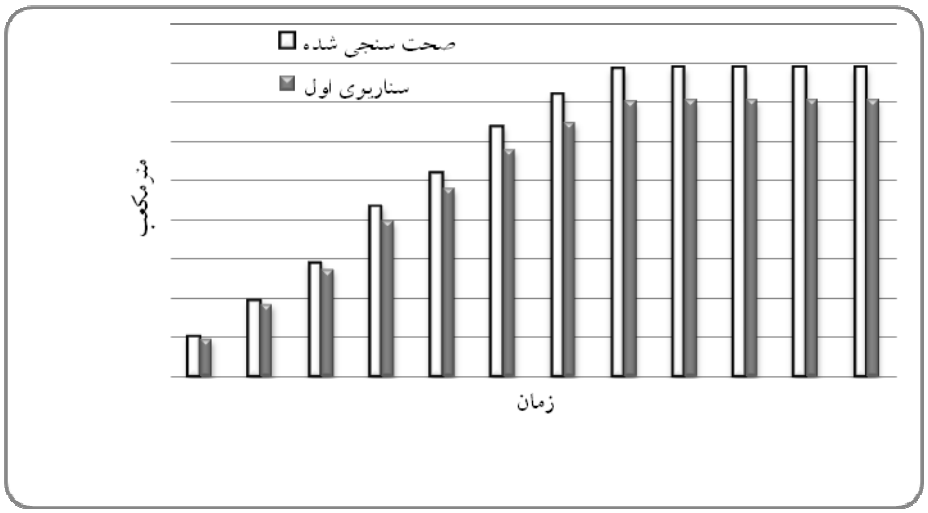
تغذیه از طریق آبیاری و بارندگی	تغذیه از طریق مرزهای سیستم	تغذیه از طریق رودخانه‌ها	مقادیر
٤,١٧٧,٧٠٠,٠٠٠	٢٦,٦٢٥	١٠,٢١٢,٠٠٠,٠٠٠	سالیانه

جدول ۳. بیلان مدلی، مقادیر تخلیهٔ تجمعی از منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه، در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ به مترمکعب

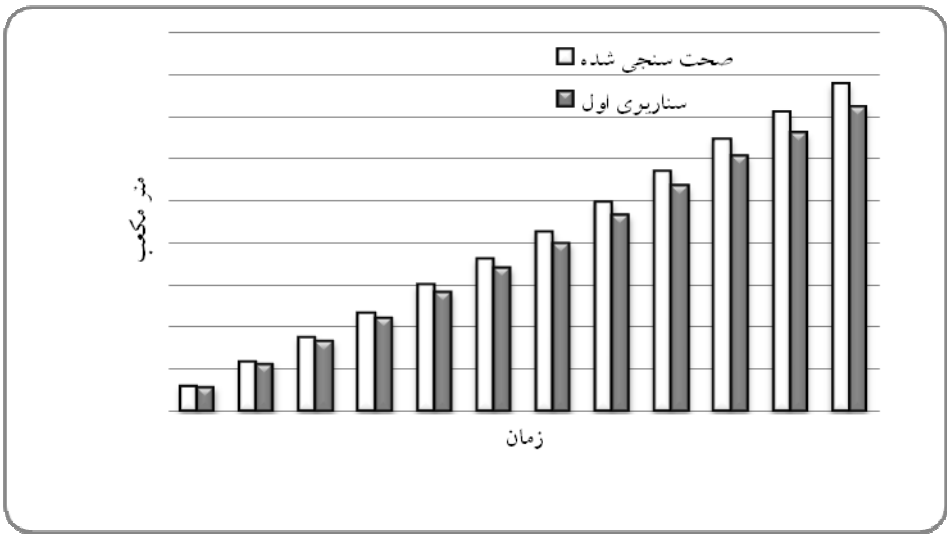
تخلیه از طریق تبخیر و تعرق	تخلیه از طریق چاه‌های بهره‌برداری	زهکشی رودخانه‌های دشت	مقادیر
٣٩,٤٠١,٠٠٠	٧,٩١٧,٢٠٠,٠٠٠	٧,٧٥٧,٧٠٠,٠٠٠	سالیانه

جدول ٤. بیلان تفاضل جریان‌های ورودی و خروجی از منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ به مترمکعب

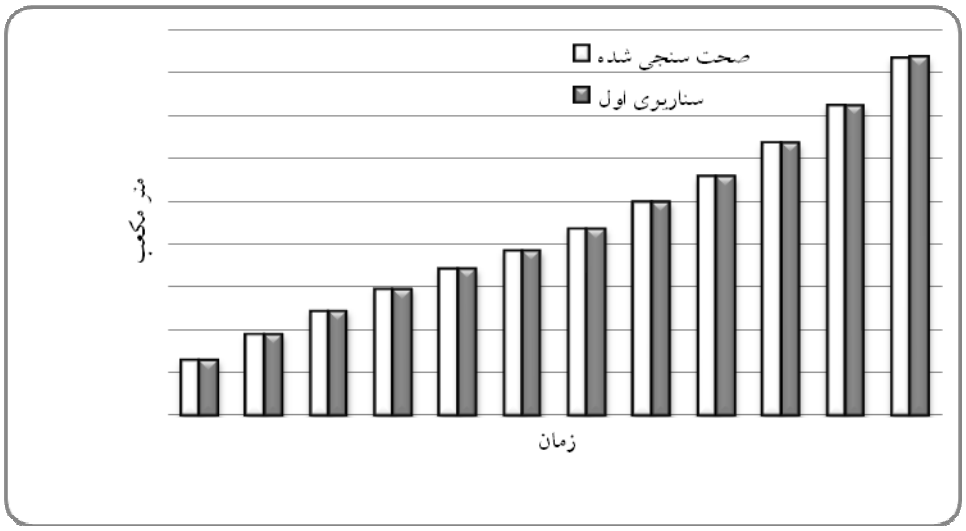
تفاضل جریان ورودی و خروجی	ماه	تفاضل جریان ورودی و خروجی	ماه
٤,٤٠٧,٣٠٠	مهر	-١٤٨,٠٠٠	فروردین
٥,٧٧٨,٤٠٠	آبان	٢٣٣,٤٧٠	اردیبهشت
٦,٥٠٣,٤٠٠	آذر	١,٣٠١,٠٠٠	خرداد
٥,١٥٢,٨٠٠	دی	٩٨٠,٤٨٠	تیر
٤,١٤٥,٢٠٠	بهمن	٣,٠٨٨,٤٠٠	مرداد
٤,٧٤٥,٢٠٠	اسفند	٣,٠٧٠,٠٠٠	شهریور



شکل ۸. مقایسهٔ تبخیر و تعرق تجمعی در دو حالت صحت‌سنجی‌شده و سناریو اول در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷



شکل ۹. مقایسهٔ تخلیهٔ تجمعی سفره از طریق رودخانه‌ها در دو حالت صحت‌سنجی‌شده و سناریو اول در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷

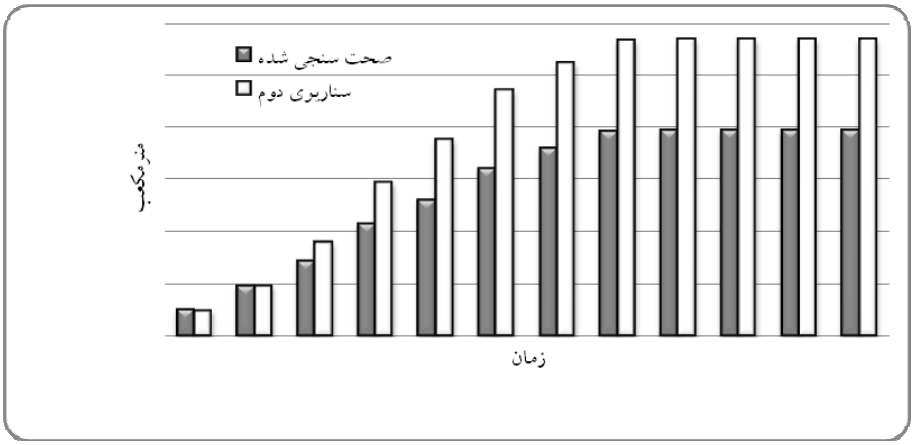


شکل ۱۰. مقایسه تغذیهٔ تجمعی سطحی دشت ارومیه در دو حالت صحت‌سنجی شده و سناریو اول در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷

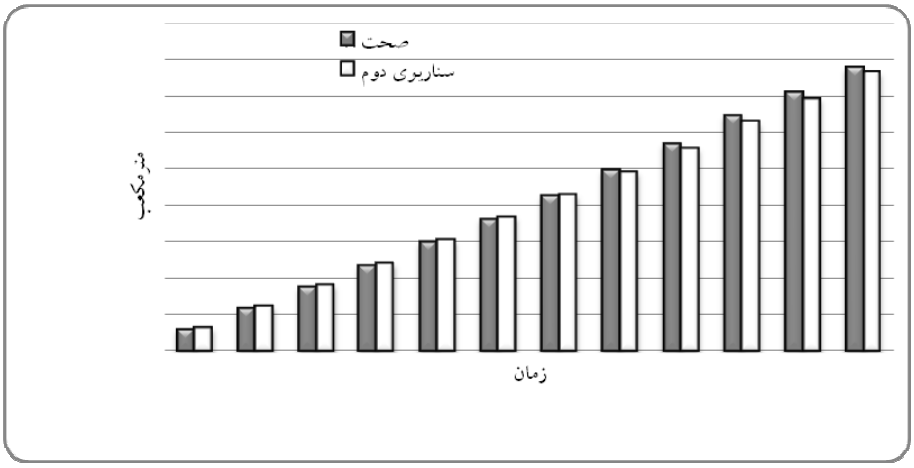
اعمال سناریو اول موجب تغییرات جزئی در مؤلفه‌های ورودی و خروجی منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه می‌شود. نتایج حاصل از اثر اعمال سناریو اول بر مؤلفه‌های تبخیر و تعرق تجمعی، تخلیهٔ تجمعی سفره از طریق رودخانه‌ها و تغذیهٔ تجمعی سطحی دشت در شکل‌های ۸ تا ۱۱ آورده شده است.

همان‌طور که از شکل‌های ۸ و ۹ برمی‌آید، بیلان تبخیر-تعرق تجمعی و تخلیهٔ تجمعی سفره از طریق رودخانه‌ها در مدل سناریو اول، نسبت به بیلان تبخیر-تعرق تجمعی و تخلیهٔ تجمعی سفره از طریق رودخانه‌ها در مدل صحت‌سنجی‌شده، اندکی کاهش می‌یابد. اما بیلان تغذیهٔ سطحی در مدل سناریو اول با بیلان تغذیهٔ تجمعی سطحی در مدل صحت‌سنجی‌شده، هماهنگ است (شکل ۱۰ و جدول ۵).

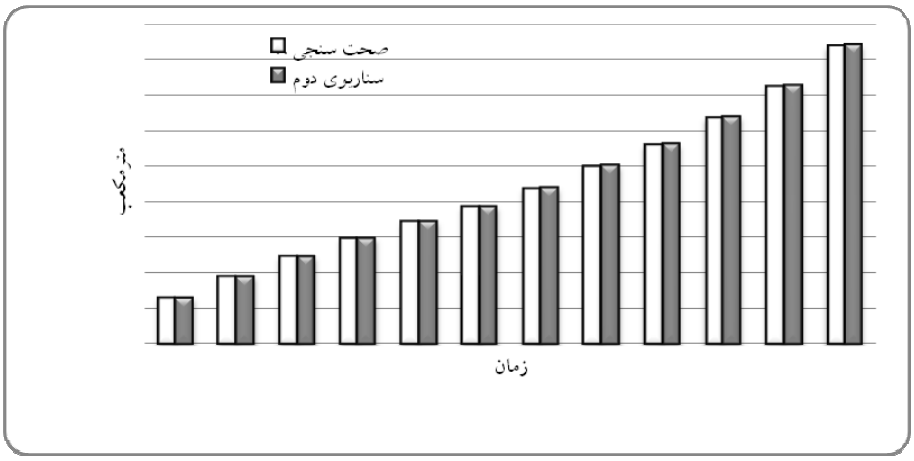
در اثر اعمال سناریو دوم نیز تغییراتی در مؤلفه‌های ورودی و خروجی منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه به‌وجود می‌آید. مقایسهٔ مؤلفه‌های تبخیر و تعرق تجمعی، تخلیهٔ تجمعی سفره از طریق رودخانه‌ها و تغذیهٔ تجمعی سطحی دشت در دو حالت صحت‌سنجی‌شده و سناریو دوم در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ بیانگر این است که در اثر اعمال سناریو دوم، مقدار تبخیر و تعرق تجمعی افزایش می‌یابد، اما مقدار تخلیهٔ تجمعی از طریق رودخانه‌ها و مقدار تغذیهٔ تجمعی سطحی، تغییرات ناچیزی دارند (جدول ٦).



شکل ۱۱. مقایسهٔ تبخیر و تعرق تجمعی در دو حالت صحت‌سنجی‌شده و سناریو دوم در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷



شکل ۱۲. مقایسهٔ تخلیهٔ تجمعی سفره از طریق رودخانه‌ها در دو حالت صحت‌سنجی‌شده و سناریو دوم در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷



شکل ۱۳. مقایسهٔ تغذیهٔ تجمعی سطحی دشت ارومیه در دو حالت صحت‌سنجی‌شده و سناریو دوم در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷

جدول ۵. مقایسهٔ تبخیر و تعرق تجمعی، تخلیهٔ تجمعی سفره از طریق رودخانه‌ها و تغذیهٔ تجمعی سطحی دشت ارومیه در دو حالت صحت‌سنجی شده و سناریو اول در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷

ماه	پارامتر	تبخیر و تعرق تجمعی			تخلیهٔ تجمعی سفره از طریق رودخانه‌ها			تغذیهٔ تجمعی سطحی		
		صحت‌سنجی (۱)	سناریو (۲)	(۲)-(۱)	صحت‌سنجی (۱)	سناریو (۲)	(۲)-(۱)	صحت‌سنجی (۱)	سناریو (۲)	(۲)-(۱)
فروردین		۵,۱۱۰,۸۰۰	۴,۷۷۹,۴۰۰	۳۳۱,۴۰۰	۵۸۱,۷۰,۰۰۰	۵۶۲,۰۳۰,۰۰۰	۱۹,۰۴۰,۰۰۰	۶۴۴,۷۷۰,۰۰۰	۶۴۴,۹۶۰,۰۰۰	۱۹۰,۰۰۰
اردیبهشت		۹,۷۶۹,۴۰۰	۹,۲۹۶,۷۰۰	۴۷۲,۷۰۰	۱,۱۵۲,۷۰۰,۰۰۰	۱,۱۰۸,۱۰۰,۰۰۰	۴۴,۶۰۰,۰۰۰	۹۴۴,۸۹۰,۰۰۰	۹۴۵,۳۵۰,۰۰۰	۴۶۰,۰۰۰
خرداد		۱۴,۵۵۸,۰۰۰	۱۳,۷۲۲,۰۰۰	۸۳۶,۰۰۰	۱,۷۳۵,۶۰۰,۰۰۰	۱,۶۴۶,۳۰۰,۰۰۰	۸۹,۳۰۰,۰۰۰	۱,۲۲۱,۸۰۰,۰۰۰	۱,۲۲۲,۴۰۰,۰۰۰	۶۰۰,۰۰۰
تیر		۲۱,۷۱۷,۰۰۰	۱۹,۸۵۱,۰۰۰	۱,۸۶۶,۰۰۰	۲,۳۲۰,۸۰۰,۰۰۰	۲,۱۸۵,۲۰۰,۰۰۰	۱۳۵,۶۰۰,۰۰۰	۱,۴۷۷,۱۰۰,۰۰۰	۱,۴۷۷,۹۰۰,۰۰۰	۸۰۰,۰۰۰
مرداد		۲۶,۰۵۱,۰۰۰	۲۴,۰۸۷,۰۰۰	۱,۹۶۴,۰۰۰	۲,۹۸۱,۳۰۰,۰۰۰	۲,۸۰۸,۵۰۰,۰۰۰	۱۷۲,۸۰۰,۰۰۰	۱,۷۱۲,۴۰۰,۰۰۰	۱,۷۱۳,۴۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰
شهریور		۳۱,۹۳۴,۰۰۰	۲۹,۰۰۹,۰۰۰	۲,۹۲۵,۰۰۰	۳,۶۰۸,۶۰۰,۰۰۰	۳,۳۸۹,۸۰۰,۰۰۰	۲۱۸,۸۰۰,۰۰۰	۱,۹۲۲,۳۰۰,۰۰۰	۱,۹۲۳,۴۰۰,۰۰۰	۱,۱۰۰,۰۰۰
مهر		۳۵,۹۴۸,۰۰۰	۳۲,۴۵۹,۰۰۰	۳,۴۸۹,۰۰۰	۴,۲۴۷,۷۰۰,۰۰۰	۳,۹۸۱,۵۰۰,۰۰۰	۲۶۶,۲۰۰,۰۰۰	۲,۱۷۹,۴۰۰,۰۰۰	۲,۱۸۰,۵۰۰,۰۰۰	۱,۱۰۰,۰۰۰
آبان		۳۹,۲۵۵,۰۰۰	۳۵,۱۷۵,۰۰۰	۴,۰۸۰,۰۰۰	۴,۹۴۷,۳۰۰,۰۰۰	۴,۶۴۵,۷۰۰,۰۰۰	۳۰۱,۶۰۰,۰۰۰	۲,۴۹۰,۵۰۰,۰۰۰	۲,۴۹۱,۵۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰
آذر		۳۹,۴۰۱,۰۰۰	۳۵,۲۹۰,۰۰۰	۴,۱۱۱,۰۰۰	۵,۶۷۶,۴۰۰,۰۰۰	۵,۳۲۴,۰۰۰,۰۰۰	۳۵۲,۴۰۰,۰۰۰	۲,۷۸۸,۷۰۰,۰۰۰	۲,۷۸۹,۷۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰
دی		۳۹,۴۰۱,۰۰۰	۳۵,۲۹۰,۰۰۰	۴,۱۱۱,۰۰۰	۶,۴۵۰,۲۰۰,۰۰۰	۶,۰۳۲,۸۰۰,۰۰۰	۴۱۷,۴۰۰,۰۰۰	۳,۱۷۷,۲۰۰,۰۰۰	۳,۱۷۸,۲۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰
بهمن		۳۹,۴۰۱,۰۰۰	۳۵,۲۹۰,۰۰۰	۴,۱۱۱,۰۰۰	۷,۰۸۶,۳۰۰,۰۰۰	۶,۵۸۶,۵۰۰,۰۰۰	۴۹۹,۸۰۰,۰۰۰	۳,۶۱۳,۰۰۰,۰۰۰	۳,۶۱۴,۱۰۰,۰۰۰	۱,۱۰۰,۰۰۰
اسفند		۳۹,۴۰۱,۰۰۰	۳۵,۲۹۰,۰۰۰	۴,۱۱۱,۰۰۰	۷,۷۵۷,۷۰۰,۰۰۰	۷,۱۹۹,۵۰۰,۰۰۰	۵۵۸,۲۰۰,۰۰۰	۴,۱۷۷,۷۰۰,۰۰۰	۴,۱۷۸,۸۰۰,۰۰۰	۱,۱۰۰,۰۰۰

جدول ٦. مقایسهٔ تبخیر و تعرق تجمعی، تخلیهٔ تجمعی سفره از طریق رودخانه‌ها و تغذیهٔ تجمعی سطحی دشت ارومیه در دو حالت صحت‌سنجی‌شده و سناریو دوم در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷

پارامتر / ماه	تبخیر و تعرق تجمعی			تخلیهٔ تجمعی سفره از طریق رودخانه‌ها			تغذیهٔ تجمعی سطحی		
	صحت‌سنجی (۱)	سناریو (۲)	(۲)-(۱)	صحت‌سنجی (۱)	سناریو (۲)	(۲)-(۱)	صحت‌سنجی (۱)	سناریو (۲)	(۲)-(۱)
فروردین	٥,١١٠,٨٠٠	٤,٨٥٨,٧٠٠	٢٥٢,١٠٠	٥٨١,٠٧٠,٠٠٠	٦١٥,٩٣٠,٠٠٠	-٣٤,٨٦٠,٠٠٠	٦٤٤,٧٧٠,٠٠٠	٦٤٥,٢٤٠,٠٠٠	-٤٧٠,٠٠٠
اردیبهشت	٩,٧٦٩,٤٠٠	٩,٥٨٠,٤٠٠	١٨٩,٠٠٠	١,١٥٢,٧٠٠,٠٠٠	١,٢٠٧,٣٠٠,٠٠٠	-٥٤,٦٠٠,٠٠٠	٩٤٤,٨٩٠,٠٠٠	٩٤٦,٦٠٠,٠٠٠	-١,٧١٠,٠٠٠
خرداد	١٤,٥٥٨,٠٠٠	١٨,٠٤٠,٠٠٠	-٣,٤٨٢,٠٠٠	١,٧٣٥,٦٠٠,٠٠٠	١,٧٩٩,٤٠٠,٠٠٠	-٦٣,٨٠٠,٠٠٠	١,٢٢١,٨٠٠,٠٠٠	١,٢٢٤,٩٠٠,٠٠٠	-٣,١٠٠,٠٠٠
تیر	٢١,٧١٧,٠٠٠	٢٩,٣٨١,٠٠٠	-٧,٦٦٤,٠٠٠	٢,٣٢٠,٨٠٠,٠٠٠	٢,٣٨٦,٢٠٠,٠٠٠	-٦٥,٤٠٠,٠٠٠	١,٤٧٧,١٠٠,٠٠٠	١,٤٨١,٧٠٠,٠٠٠	-٤,٦٠٠,٠٠٠
مرداد	٢٦,٠٥١,٠٠٠	٣٧,٦٠٨,٠٠٠	-١١,٥٥٧,٠٠٠	٢,٩٨١,٣٠٠,٠٠٠	٣,٠٣١,٥٠٠,٠٠٠	-٥٠,٢٠٠,٠٠٠	١,٧١٢,٤٠٠,٠٠٠	١,٧١٨,٥٠٠,٠٠٠	-٦,١٠٠,٠٠٠
شهریور	٣١,٩٣٤,٠٠٠	٤٧,٠٩٦,٠٠٠	-١٥,١٦٢,٠٠٠	٣,٦٠٨,٦٠٠,٠٠٠	٣,٦٦٩,٣٠٠,٠٠٠	-٦٠,٧٠٠,٠٠٠	١,٩٢٢,٣٠٠,٠٠٠	١,٩٢٩,٦٠٠,٠٠٠	-٧,٣٠٠,٠٠٠
مهر	٣٥,٩٤٨,٠٠٠	٥٢,٥٠٨,٠٠٠	-١٦,٥٦٠,٠٠٠	٤,٢٤٧,٧٠٠,٠٠٠	٤,٢٧٤,٧٠٠,٠٠٠	-٢٧,٠٠٠,٠٠٠	٢,١٧٩,٤٠٠,٠٠٠	٢,١٨٨,٣٠٠,٠٠٠	-٨,٩٠٠,٠٠٠
آبان	٣٩,٢٥٥,٠٠٠	٥٦,٨٢٢,٠٠٠	-١٧,٥٦٧,٠٠٠	٤,٩٤٧,٣٠٠,٠٠٠	٤,٨٩٣,٧٠٠,٠٠٠	٥٣,٦٠٠,٠٠٠	٢,٤٩٠,٥٠٠,٠٠٠	٢,٥٠٠,٨٠٠,٠٠٠	-١٠,٣٠٠,٠٠٠
آذر	٣٩,٤٠١,٠٠٠	٥٧,٠٢٦,٠٠٠	-١٧,٦٢٥,٠٠٠	٥,٦٧٦,٤٠٠,٠٠٠	٥,٥٤٩,٧٠٠,٠٠٠	١٢٦,٧٠٠,٠٠٠	٢,٧٨٨,٧٠٠,٠٠٠	٢,٨٠٠,٥٠٠,٠٠٠	-١١,٨٠٠,٠٠٠
دی	٣٩,٤٠١,٠٠٠	٥٧,٠٢٦,٠٠٠	-١٧,٦٢٥,٠٠٠	٦,٤٥٠,٢٠٠,٠٠٠	٦,٦٦٨,٦٠٠,٠٠٠	١٨١,٦٠٠,٠٠٠	٣,١٧٧,٢٠٠,٠٠٠	٣,١٩٠,٥٠٠,٠٠٠	-١٣,٣٠٠,٠٠٠
بهمن	٣٩,٤٠١,٠٠٠	٥٧,٠٢٦,٠٠٠	-١٧,٦٢٥,٠٠٠	٧,٠٨٦,٣٠٠,٠٠٠	٦,٩١٣,٧٠٠,٠٠٠	١٧٢,٦٠٠,٠٠٠	٣,٦١٣,٠٠٠,٠٠٠	٣,٦٢٧,٩٠٠,٠٠٠	-١٤,٩٠٠,٠٠٠
اسفند	٣٩,٤٠١,٠٠٠	٥٧,٠٢٦,٠٠٠	-١٧,٦٢٥,٠٠٠	٧,٧٥٧,٧٠٠,٠٠٠	٧,٦٢٦,٠٠٠,٠٠٠	١٣١,٧٠٠,٠٠٠	٤,١٧٧,٧٠٠,٠٠٠	٤,١٩٤,٢٠٠,٠٠٠	-١٦,٥٠٠,٠٠٠

نتیجه‌گیری

با استفاده از آمار سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهداتی موجود و تهیهٔ نقشه‌های پیزومتری، روند کلی جریان آب زیرزمینی در دشت ارومیه با توپوگرافی منطقه هماهنگ بوده و از سمت غرب دشت به طرف شرق یعنی دریاچهٔ ارومیه است. با توجه به اطلاعات عمق سطح آب زیرزمینی در ٦٠ حلقه چاه مشاهداتی در دشت ارومیه، می‌توان گفت از سمت غرب به طرف دریاچهٔ ارومیه، عمق سطح آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. با توجه به هیدروگراف‌های چاه‌های مشاهداتی در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷، ملاحظه می‌شود که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت، سطح آب زیرزمینی به حداکثر و در مهر به کمترین حد خود می‌رسد. تغذیهٔ سیستم منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه در درجهٔ اول، از طریق رودخانه‌های موجود در دشت و سپس با تغذیهٔ سطحی از راه آبیاری و بارندگی صورت می‌گیرد و بیشترین تخلیه از سیستم منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه، از طریق چاه‌های بهره‌برداری موجود در دشت صورت می‌گیرد. پس از چاه‌های بهره‌برداری، زهکشی رودخانه‌های دشت بیشترین تأثیر را در تخلیه دارد. سناریوهای کاهش ۲۵ درصدی پمپاژ و قطع پمپاژ در مناطق غربی دشت، به‌طور متوسط به‌ترتیب موجب بالا آمدن سطح آب زیرزمینی به اندازهٔ ۰/۵ و ٤ متر می‌شود. سناریوهای افزایش ۲۵ و ۵۰ درصدی پمپاژ در مناطق شرقی دشت، به‌طور متوسط به‌ترتیب موجب ۱ و ۳/۵ متر افت سطح آب زیرزمینی می‌شود. قطع پمپاژ و ممنوع کردن پمپاژ در مناطق غربی دشت، راهکار مناسبی برای بهبود وضعیت آب زیرزمینی در این قسمت دشت نیست، زیرا موجب زهدار شدن مناطق میانی و شرقی دشت در بعضی قسمت‌ها می‌شود.

منابع

۱. هاشمی، سیده فاطمه؛ شاه‌نظری، علی؛ عارف، حسن (۱۳۹۱). « مدلسازی عددی جریان آب زیرزمینی با استفاده از مادفلو شبکهٔ آبیاری و زهکشی البرز»، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۲. یقینی، علی؛ باغوند، اکبر؛ اردستانی، مجتبی (۱۳۹۱). «شبیه‌سازی آبخوان دشت یزد-اردکان با استفاده از مدل مادفلو و بررسی تأثیر تخلیهٔ پساب کشاورزی بر آن»، دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست.

۳. اسدی، ناصر؛ فتحی، سعید (۱۳۹۱). «مدلسازی سیستم جریان آب زیرزمینی دشت همدان – بهار با استفاده از GMS»، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

٤. یاری پلیمبرائی، الهام؛ دادمهر، رضا (۱۳۸۸). «تعامل شبکهٔ آبیاری و زهکشی دشت میاندوآب با مدل منابع آب زیرزمینی دشت»، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

۵. نائب لوئی، فاطمه؛ دادمهر، رضا (۱۳۸۸). «بررسی اثرات احداث شبکه‌های آبیاری و زهکشی مدرن بر مدل منابع آب زیرزمینی، مطالعهٔ موردی: دشت خوی– استان آذربایجان غربی»، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

6. Abdulla, Fayez, Al-Assad, Tam er, (2005), "Modeling of groundwater flow for Mujib aquifer, Jordan", J. Earth Syst. Sci.No.3, pp.289-297.

7. Doble, Rebecca, Simmons, Craig, Jolly, Ion, Walker, Glen, (2006), "Spatial relationships between vegetation cover and irrigation-induced groundwater discharge on a sem i-arid floodplain, Australia", Journal of Hy drology, Vol.329, pp.75-97

8. Lautz, Laura, K., Siegel, Donald, I., (2006), "Modeling surfer and groundwater mixing in the hyporheic zone using MODFLOW and MT3D", J. Advances in water R esources, NO.29, pp.1618-1633.

9. Palma, Calderon; Heyddy,Bently; R,Laurence (2007). A regional-scale groundwater flow model for the Leon-C hinandega aquifer,Nicaragua. Hydrology journal, Springler-verlag.

10. Shaki, A.A., Adeloy e, A.J., (2007). Mathematical modelling of effects of Irawan irrigation project wate r abstractions on the Murzuq aquifer systems in Liby a, Journal of Arid Enviroment, Article in press, Elsevier. Pp:133-156.

11. Sinton P., Flynn J., Dixon R., Bonton D., Smith L., and Moreno J. ,(2011), "Modflow and more 2011 – Integrated Hydrologic Modeling- Jun 5-8 2011", International Groundwater M odeling Center (IGWMC).

12. Tetreault, M., Hulley, M..,(2011), "Modflow and more 2011 – Integrated Hy drologic Modeling- Jun 5-8 2011", International Groundwater Modeling Center (IGWMC).