

بررسی تغییرات کمی آب زیرزمینی دشت میان‌دوآب متأثر از مدیریت بهره‌برداری از منابع آب سطحی و

زیرزمینی با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW-NWT

رزا جنوبی^۱، وحید رضاوردی‌نژاد^{۲*}، جواد بهمنش^۲، کریم عباسپور^۳

۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳. استاد گروه علوم و تکنولوژی آب موسسه تحقیقاتی EWAG، سوئیس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۱۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۷/۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۷/۱۵)

چکیده

نیاز به آب زیرزمینی در دهه‌های اخیر منجر به توسعه استراتژی‌های گوناگون برای مدیریت منابع آب سطحی و استفاده مناسب از آب‌های زیرزمینی شده است. در این مطالعه، مدل آب زیرزمینی آبخوان دشت میان‌دوآب توسط مدل MODFLOW-NWT تهیه شد. پس از واسنجی و صحت‌سنجی، سه سناریو بررسی شد. در سناریوی اول و دوم، افزایش ۱۰ و ۲۰ درصدی بازده آبیاری در دشت و کاهش پمپاژ از آب زیرزمینی صورت گرفت. در سناریوی سوم، عدم پمپاژ آب توسط موتورپمپ از رودخانه‌های سیمینه‌رود و زرینه‌رود و تأمین نیاز آبی از آب زیرزمینی بررسی گردید. در سناریوهای اول و دوم، با افزایش بازده، کل آب مصرفی را می‌توان از ۹۲۴ میلیون مترمکعب در وضع موجود به ترتیب به ۷۷۶ و ۶۶۴ میلیون مترمکعب کاهش داد. با تأمین ۶۴۲ میلیون مترمکعب از طریق آب سطحی می‌توان پمپاژ از آب زیرزمینی را به ترتیب به میزان ۱۴۸ و ۲۸۲ میلیون مترمکعب نسبت به وضع موجود کاهش داد. نتایج نشان داد از مقدار آبی که دیگر پمپاژ نمی‌شود، به ترتیب میزان ۳۴ و ۴۱ میلیون مترمکعب به‌صورت جریان آب زیرزمینی از پایین‌دست به سمت دریاچه ارومیه خارج شده است و به ترتیب میزان ۴۰ و ۵۱ میلیون مترمکعب به منابع آب سطحی تخلیه شده و مابقی در دشت ذخیره شده است. ادامه این شرایط بعد از ۵ سال منجر به زهدار شدن اراضی میانی دشت خواهد شد. مقدار آب برگشتی کشاورزی در وضع موجود ۳۳ درصد و در سناریوهای اول و دوم به ترتیب ۲۸ و ۲۰ درصد است که نسبت به وضع موجود ۵ و ۱۳ درصد کاهش یافته است. در سناریوی سوم، سطح آب زیرزمینی به‌طور متوسط بعد از ۱ و ۵ سال به ترتیب ۱/۵ و ۳ متر پایین رفت، اما توانست در مدت ۵ سال، ۴۹۵ میلیون مترمکعب آب برای احیای دریاچه تأمین نماید.

واژه‌های کلیدی: مدل آب زیرزمینی، بازده آبیاری، سناریوهای مدیریتی، عرضه و تقاضا

مقدمه

استفاده بهینه از منابع آب‌های زیرزمینی مستلزم اعمال مدیریت صحیح بر بهره‌برداری بوده و مدیریت صحیح مستلزم احاطه علمی و اصولی بر سیستم منابع آب هر منطقه می‌باشد. مدل سازی عددی آب زیرزمینی ابزاری مفید برای مدیریت منابع آب در آبخوان‌ها می‌باشد. امروزه به‌صورت گسترده مدل‌های آب زیرزمینی جهت شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی و اهداف مدیریتی مختلف استفاده می‌شوند (Yanxun et al, 2011, Wu et al, 2015, Boyce et al, 2015 و Elghany et al, 2015). به‌عنوان نمونه در تحقیقی، به‌منظور بررسی گزینه‌های مختلف مدیریت

منابع آب دشت رامهرمز مدل MODFLOW.V.2.6 را در چهار سناریو شامل ادامه روند کنونی برداشت، توسعه آبخوان با حفر چاه‌های جدید، تأثیر زهکش‌ها در مناطق زهدار و بررسی عملکرد آبخوان با انجام عمل انتقال آب و آبیاری اجرا کردند (Chit Sazan and Saat saz, 2005). در مدل‌سازی دشت تویسرکان با مدل MODFLOW، دو سناریوی ده ساله لحاظ شد که در سناریوی اول ادامه روند کنونی برداشت و در سناریوی دوم افزایش بازده آبیاری منطقه به میزان ۲۰ درصد و در نتیجه کاهش برداشت‌ها مدنظر قرار گرفت. نتایج هر دو سناریو حاکی از کاهش سطح ایستابی در سطح دشت بود (Taheri Tizro and Kamali, 2017). استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی در دشت Pingtung تایوان، موجب کاهش قابل ملاحظه سطح ایستابی و نفوذ آب دریا و تخریب زمین‌ها

مدیریت شده بود، توسعه یافت. نتایج به وضوح نشان داد که پمپاژ آب‌های زیرزمینی در نزدیکی رودخانه در ماه‌های زمستان موجب کاهش جریان در این ماه‌ها می‌شود. انتقال آب پمپاژ شده برای تغذیه حوضچه‌هایی که دورتر از رودخانه واقع شده‌اند، افزایش جریان را در طی ماه‌های تابستان کم جریان به همراه داشت (Ronayne et al, 2017). با استفاده از مدل عددی تفاضل محدود، تعامل هیدرودینامیکی آب سطحی و آب زیرزمینی اطراف دریاچه Ciseupan بررسی شد. نتایج حاصل از مدل شبیه‌سازی نشان داد، آب زیرزمینی با الگوی شعاعی و شیب هیدرولیکی $0.5/m/m$ به سمت غرب در جریان بوده و براساس مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل شیمیایی، آب دریاچه و آبخوان با یکدیگر در ارتباط هستند (Irawan et al, 2011). در مطالعه‌ای در دشت مغان با استفاده از نرم‌افزار GIP و GMS ارتباط افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین بررسی گردید. نتایج بیانگر کاهش پمپاژ در نواحی با خطر بالای نشست زمین بود (Parhizkar et al, 2015). در مطالعه‌ای دیگر مدل آب زیرزمینی برای آبخوانی در شمال شرقی امارات متحده عربی تهیه شد و برای سال ۲۰۳۵ وضعیت آب زیرزمینی را پیش‌بینی نمودند. نتایج حاکی از افت شدید سطح آب در شرایط فعلی بهره‌برداری از آبخوان بود و با کاهش ۲۵ درصدی برداشت فعلی از آبخوان می‌توان از آن جلوگیری نمود (Mohamed et al, 2016). در سال ۱۹۸۸ اولین نسخه MODFLOW با عنوان MODFLOW-88 معرفی شد. نسخه دوم آن در همان سال با عنوان (MODFLOW-88)، نسخه سوم آن در سال ۱۹۹۶ در (MODFLOW-96) و نسخه چهارم آن MODFLOW-2000 در سال ۲۰۰۰ ارائه گردید. نسخه‌های بعدی به ترتیب MODFLOW-2005، MODFLOW-LGR، MODFLOW-OWHM و MODFLOW-NWT، CFP، تفاوت نسخه‌ها در پکیج‌ها و قابلیت‌های اضافه شده به آنها می‌باشد. در اکثر مطالعاتی که در کشور انجام شده از مدل MODFLOW-2000 و MODFLOW-2005 استفاده شده است (Banejad et al, 2013 و Kouchakzadeh and Nasiri Saleh, 2014). در این مطالعه از مدل MODFLOW-NWT که یک نسخه جدید از MODFLOW است و در سال ۲۰۱۱ ارائه شده و قادر است خشک شدن سلول‌ها و تر شدن مجدد آنها را بهتر مدل نماید، استفاده شد. خشک شدن دریاچه ارومیه و تداوم روند خشکی دریاچه ارومیه، خسارت و آسیب‌های بسیاری را بر سلامت ساکنین حوضه و

شده است. در یک بررسی، مدل عددی جریان آب زیرزمینی دشت توسط MODFLOW تهیه شد و میزان بازیابی و بهبود سطح آب ایستابی با جایگزین نمودن آب زیرزمینی برای تأمین نیاز شرب و آب سطحی جهت تأمین نیازهای کشاورزی بررسی گردید. در این بررسی ترکیب تجزیه و تحلیل کیفیت آب‌های زیرزمینی و شبیه‌سازی عددی جریان صورت گرفت که نتایج نشان داد با ایجاد این یکپارچگی می‌توان به ایجاد استراتژی‌های صحیح استفاده از آب سطحی و زیرزمینی دست یافت (Jang et al, 2016). در مطالعه‌ای دیگر، تغییرات سطح ایستابی دشت برخوار اصفهان با استفاده از کد MODFLOW در بسته نرم‌افزاری GMS شبیه‌سازی شد. نتایج مدل شامل پیش‌بینی تغییرات سطح ایستابی آبخوان برای ۱۰ سال آینده و بیانگر افت سطح ایستابی در نواحی شمالی، غربی و برخی نواحی مرکزی دشت با ادامه روند کنونی برداشت‌ها بود (Omidinia et al, 2016). در یک بررسی، تأثیر گسترش و افزایش کشاورزی آبی در سطوح آب زیرزمینی و آب سطحی و امکان‌پذیری آن در یک حوزه آبخیز نیمه‌خشک هندوستان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی یکپارچه (MIKE 11/MIKE SHE) همراه با اندازه‌گیری‌های بیوفیزیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. بهبود بازده مصرف آب، ذخیره‌سازی آب و گزینه‌های سیاست انرژی در امکان ادامه افزایش برداشت آب زیرزمینی در آینده (۲۰۳۵) مورد بررسی قرار گرفت (Sishodia et al, 2017). در تحقیق دیگری، مزایای مدیریت بهینه آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل‌های هیدرولوژی-اقتصادی برای یک دوره ۷۰ ساله بررسی شد، این کار با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی پویا و مدل شبیه‌سازی آب‌های زیرزمینی MODFLOW انجام گرفت. در این مطالعه بر اساس نتایج، استفاده پایدار از آبخوان منجر به کاهش سطح کشت به میزان ۱۰ درصد، کاهش میزان استخراج آب‌های زیرزمینی تا ۲۰ درصد، تغییر در ترکیب محصول و کمترین بهره‌وری کشاورزی در ۴۲ درصد از مزارع شد (Zekri et al, 2017). در مطالعه‌ای دیگر، مدل‌سازی عددی آب زیرزمینی توسط MODFLOW برای ارزیابی عملیات تغذیه مدیریت شده آبخوان برای جریان مجدد در رودخانه South Platte در شمال شرق کلرادو (ایالات متحده آمریکا) انجام شد. مدل‌سازی شامل شبیه‌سازی زمانی و مکانی مبادلات آب‌های سطحی و زیرزمینی و همچنین مسیریابی جریان در رودخانه بود. دو سناریو، یکی سناریوی حالت طبیعی و دیگری سناریوی مدیریت فعال که شامل پمپاژ آب‌های زیرزمینی و تغذیه مجدد

حوضه‌های آبریز کشور دارای کد ۳ بوده و در تقسیمات درجه ۲ حوضه‌های آبریز، کل این حوضه بصورت یک واحد دو رقمی در نظر گرفته شده که با کد ۳۰ مشخص گردیده است. این حوضه آبریز شامل ۲۵ محدوده مطالعاتی است که به میاندوآب کد ۳۰۱۰ اختصاص یافته است. دشت میاندوآب در داخل این محدوده مطالعاتی قرار گرفته است، این محدوده به لحاظ دسترسی به شبکه آبیاری و زهکشی به دو منطقه اصلی تقسیم شده است: منطقه واقع در محدوده شبکه میاندوآب شامل نواحی $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7, Z_8, Z_{9-1}, Z_{9-2}, Z_{9-3}, Z_{9-4}, Z_9$ و منطقه خارج از محدوده شبکه میاندوآب شامل نواحی $M_1, M_2, L_1, L_2, G, S, ZN, ZP$ است (شکل ۲- الف). دشت میاندوآب شامل نواحی واقع در شبکه میاندوآب و کل اراضی کشاورزی آبی واقع در نواحی ZP, L_2, G, S, ZN می‌باشد. در جدول (۱) مساحت اراضی باغی و زراعی، مصارف آب سطحی و زیرزمینی و منبع تأمین آب در نواحی داخل دشت میاندوآب (میانگین سال‌های آبی ۸۹-۸۸ تا ۹۳-۹۲) ارائه شده است.

برآورد نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی منطقه

جهت مدیریت برداشت آب سطحی و زیرزمینی در دشت میاندوآب، باید میزان نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی در کل دشت تعیین گردد. بنابراین ابتدا میزان تبخیر- تعرق پتانسیل (ET_0) براساس روش پنمن مانیتث و مقدار بارش مؤثر ماهانه از روش فائو با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT برای محدوده مورد مطالعه محاسبه گردید. مقدار ضریب گیاهی K_c برای ماه‌های مختلف در طول فصل زراعی تعیین و بر اساس تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع، مقدار تبخیر- تعرق گیاهی (ET_c) به دست آمد. سپس با مشخص شدن مقادیر ET_c ، بارش مؤثر و رطوبت ذخیره در خاک، نیاز آبی خالص برای گیاهان موجود در ترکیب کشت منطقه حساب گردید. بدین صورت که بارندگی مؤثر و رطوبت ذخیره در خاک از نیاز آبی محاسبه شده (ET_c) کسر شده و نیاز آبی خالص که بایستی توسط آبیاری تأمین شود، برآورد شد. نتایج به صورت میانگین برای سال‌های آبی ۸۹-۸۸ تا ۹۳-۹۲ در جدول (۲) برای محصولات مورد کشت در دشت میاندوآب ارائه شده است. میزان عرضه در دشت میاندوآب (میانگین سال‌های آبی ۸۹-۸۸ تا ۹۳-۹۲)، ۹۲۴ میلیون مترمکعب و میزان تقاضا ۴۵۸ میلیون مترمکعب می‌باشد (Nameless, 2016a & 2016b). براساس مقادیر عرضه و تقاضا، متوسط بازده کل در محدوده مورد مطالعه، ۴۹ درصد برآورد گردید. مقدار نیاز ناخالص آبیاری با لحاظ این بازده آبیاری استخراج و در جدول (۲) ارائه گردید.

معیشت آن‌ها، تخریب اکوسیستم و بخش کشاورزی حوضه (تخریب اراضی و باغات و دامپروری) به همراه خواهد داشت. عامل اصلی خشک شدن دریاچه ارومیه را باید نبود اندیشه آینده‌نگری و برنامه بلند مدت و از آن مهمتر، عدم وجود انضباط در مدیریت و هدایت برنامه‌های عملیاتی در سطح حوضه دانست (Nameless, 2016b). به منظور جلوگیری از آسیب جدی به مردم و محیط‌زیست پیرامون دریاچه باید اقدامات لازم برای احیای دریاچه ارومیه لحاظ شود. دشت میاندوآب به علت حضور منابع آب سطحی قابل توجه در دشت (رودخانه‌های زرینه‌رود و سیمینه‌رود، مردوق‌چای، لیلان‌چای و قوری‌چای)، حضور شبکه آبیاری و زهکشی میاندوآب به‌عنوان چهارمین شبکه آبیاری و زهکشی کشور و حضور رودخانه‌های زرینه‌رود و سیمینه‌رود که نقش مهمی در تأمین آب دریاچه ارومیه دارند جهت مطالعه انتخاب شد. در این مطالعه در غالب سناریوهای افزایش بازده و مدیریت بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی، اثرات مصوبه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه مبنی بر کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی در سطح دشت بررسی شد. همچنین اثر سناریوی جلوگیری از برداشت آب از رودخانه‌های سیمینه‌رود و زرینه‌رود توسط پمپ جهت تأمین آب برای احیای دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه مقایسه سناریوهای پیشنهادی از نظر مقدار آب برگشتی، تغییرات تغذیه رودخانه‌ها، خروجی از مرزهای دشت و مقدار ذخیره در داخل دشت مورد بررسی قرار گرفت. برخلاف سایر مطالعات، شبیه‌سازی آبخوان دشت میاندوآب توسط مدل MODFLOW-NWT با استفاده از نرم‌افزار GMS انجام شد.

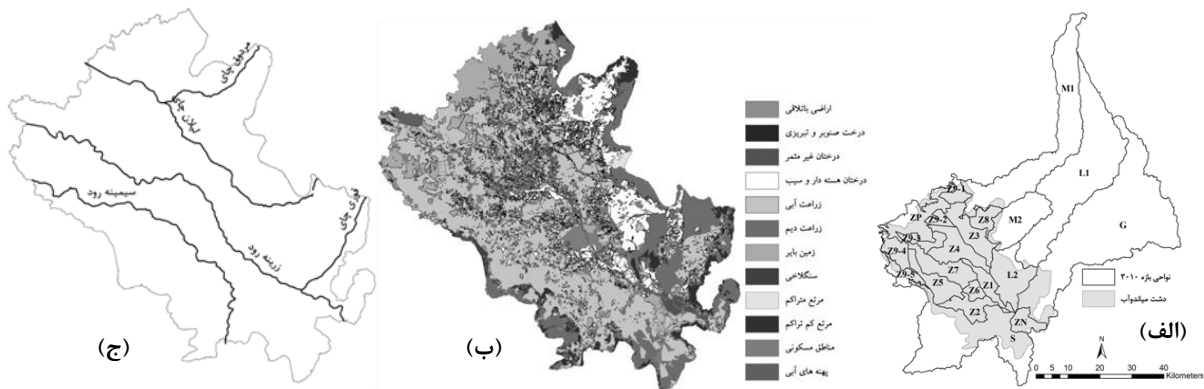
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت میاندوآب در قسمت شمال غربی ایران در داخل حوضه آبریز دریاچه ارومیه، در استان‌های آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی در محدوده شهرستان‌های میاندوآب، بوکان، مهاباد، شاهین‌دژ، ملکان و بناب با موقعیت جغرافیایی 50° تا 36° و 15° تا 37° طول شرقی و 50° تا 45° و 15° عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). وسعت این دشت برابر ۱۲۵۶ کیلومترمربع بوده، در تمام وسعت خود جلگه‌ای است و متوسط شیب دشت در حدود چهار در هزار است. شبکه آبیاری و زهکشی زرینه در داخل این دشت قرار دارد و مساحت آن معادل ۵۸۶ کیلومترمربع است. حوضه آبریز دریاچه ارومیه در تقسیم‌بندی و کدگذاری



شکل ۱- موقعیت دشت میان‌دوآب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، در کشور، استان و شهرستان



شکل ۲- الف) موقعیت دشت میان‌دوآب در نواحی بازه ۳۰۱۰، ب) کاربری اراضی در دشت میان‌دوآب، ج) موقعیت رودخانه‌ها در داخل دشت

جدول ۱- مساحت اراضی باغی و زراعی (هکتار)، مصارف آب سطحی و زیرزمینی (میلیون مترمکعب) در نواحی داخل دشت میان‌دوآب

منبع برداشت آب توسط موتورپمپ و انهار	نواحی	مساحت اراضی	مساحت زراعی	مساحت باغی	کل آب مصرفی	آب زیرزمینی	آب سطحی	شبکه میان‌دوآب	انهار سنتی	موتور پمپ	زهاب زهکش‌ها
زربنه رود	Z1	۳۸۰۱۰/۰	۱۴۴۴۰/۰	۲۳۵۷۰/۰	۶۰۱۵	۱۰۳	۵۰۲	۴۰۰	۰	۱۰۲	۰
سیمینه رود	Z2	۵۶۹۴۰/۰	۴۷۷۷۰/۰	۹۱۷۰/۰	۶۴۷	۳۰۳	۳۴۴	۲۸۰	۵۱۸	۰۵	۰
مردوق چای	Z3	۷۹۴۰۰/۰	۵۳۴۰۰/۰	۲۶۰۰۰/۰	۸۶۵	۱۴۰	۷۲۵	۵۶۰	۹۵	۰	۷۰
زربنه رود	Z4	۸۹۲۹۰/۰	۶۶۱۰۰/۰	۲۳۱۹۰/۰	۱۱۰۰	۱۲۲	۹۷۸	۸۹۰	۰	۸۱۸	۰
سیمینه رود	Z5	۷۷۵۱۰/۰	۶۳۶۸۰/۰	۱۳۸۳۰/۰	۸۶۴	۳۱۰	۵۵۴	۴۵۰	۹۵	۰۹	۰
سیمینه رود	Z6	۱۵۱۳۰/۰	۷۵۴۰/۰	۷۵۹۰/۰	۲۹۴	۱۲۲	۱۷۲	۱۳۰	۴۰	۰۲	۰
سیمینه رود و زربنه رود	Z7	۷۸۷۴۰/۰	۶۱۴۵۰/۰	۱۷۲۹۰/۰	۱۱۴۵	۳۵۰	۷۹۵	۳۹۰	۱۴۵	۲۶۰	۰
مردوق چای	Z8	۲۸۴۳۰/۰	۱۷۴۰/۰	۲۶۶۹۰/۰	۳۵۹	۷۰	۲۸۹	۱۲۰	۱۶۹	۰	۰
-	Z9-	۶۹۵۰/۰	۵۱۳۰/۰	۱۸۲۰/۰	۴۰	۲۰	۲۰	۲۰	۰	۰	۰
-	Z9-	۱۵۹۴۰/۰	۱۳۸۲۰/۰	۲۱۲۰/۰	۱۰۶	۰۶	۱۰۰	۸۰	۰	۰	۲۰
زربنه رود	Z9-	۳۰۹۲۰/۰	۲۸۶۹۰/۰	۲۲۳۰/۰	۳۷۵	۰۵	۳۷۰	۹۰	۰	۲۴۰	۴۰
سیمینه رود	Z9-	۳۲۸۲۰/۰	۳۲۱۳۰/۰	۶۹۰/۰	۲۵۱	۰۱	۲۵۱	۱۳۰	۳۱۵	۶۶	۲۰
سیمینه رود و زربنه رود	Z9-	۲۱۳۸۰/۰	۲۰۸۰۰/۰	۵۸۰/۰	۱۷۶	۰۹	۱۶۷	۹۰	۷۵	۰۲	۰
لیلان چای و شبکه	L2	۴۸۹۴۰/۰	۸۵۸۰/۰	۴۰۳۶۰/۰	۵۴۶	۳۰۰	۲۴۶	۱۰۰	۴۶	۱۰۰	۰
قوری چای	G	۴۵۱۸۰/۰	۳۰۷۲۰/۰	۱۴۴۶۰/۰	۵۶۴	۲۳۲	۳۳۲	-	۳۳۲	۰	۰
سیمینه رود	S	۹۱۱۶۰/۰	۸۵۵۰۰/۰	۵۶۶۰/۰	۷۵۷	۵۹۹	۱۵۸	-	۱۵۸	۰۳	۰
زربنه رود	ZP	۴۱۵۷۰/۰	۴۰۵۴۰/۰	۱۰۳۰/۰	۲۳۳	۰۱	۲۳۲	-	۲۳۲	۵۲	۱۸۰
زربنه رود	ZN	۲۳۵۳۰/۰	۲۰۶۸۰/۰	۲۸۵۰/۰	۳۱۰	۱۳۰	۱۸۰	-	۱۲۰	۶۰	۰
-	جمع	۱۰۷۸۲۱۸	۶۰۲۷۱۰	۲۱۹۱۳۰	۹۲۳۷	۲۸۲۲	۶۴۱۵	۳۷۳۰	۱۳۶۵	۹۸۹	۳۳۰

جدول ۲- مساحت اراضی باغی و زراعی و نیاز آبی محصولات در دشت میاندوآب

محصولات زراعی و باغی آبی	مساحت اراضی (ha)	نیاز خالص (CM.ha ⁻¹)	نیاز ناخالص (CM.ha ⁻¹)	نیاز خالص کل در دشت (MCM)	نیاز ناخالص کل در دشت (MCM)
گندم	۲۵۱۲۲/۰	۴۰۵۰/۰	۸۱۶۵/۳	۱۰۱/۷	۲۰۵/۱
جو	۶۶۱۸/۰	۳۵۲۰/۰	۷۰۹۶/۸	۲۳/۳	۴۷/۰
یونجه	۱۲۴۱۲/۰	۸۴۶۰/۰	۱۷۰۵۶/۵	۱۰۵/۰	۲۱۱/۷
چغندر قند	۶۲۶۹/۰	۷۹۶۴/۰	۱۶۰۵۶/۵	۴۹/۹	۱۰۰/۷
گوجه‌فرنگی	۲۷۶۰/۰	۷۱۴۹/۰	۱۴۴۱۳/۳	۱۹/۷	۳۹/۸
پياز	۸۹۴/۰	۶۶۸۳/۰	۱۳۴۷۳/۸	۶/۰	۱۲/۰
سبزی	۱۱۱۵/۰	۵۹۰۰/۰	۱۱۸۹۵/۲	۶/۶	۱۳/۳
ذرت	۶۹۲/۰	۶۶۲۴/۰	۱۳۳۵۴/۸	۴/۶	۹/۲
سایر زراعت‌ها	۹۳۹/۰	۵۰۰۰/۰	۱۰۰۸۰/۶	۴/۷	۹/۵
آیش آبی	۳۴۵۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
درختان هسته‌دار	۱۱۴۳۲/۰	۶۶۰۰/۰	۱۳۳۰۶/۵	۷۵/۵	۱۵۲/۱
درخت انگور	۱۰۴۸۴/۰	۵۸۴۹/۰	۱۱۷۹۲/۳	۶۱/۳	۱۲۳/۶
جمع	۸۲۱۸۷/۰	-	-	۳/۴۵۸	۹۲۳/۷

مدل ریاضی MODFLOW-NWT

در مدل MODFLOW-NWT که در سال ۲۰۱۱ ارائه شده است از فرمول نیوتن برای حل مشکلات مربوط به خشک شدن سلول‌ها و دوباره خیس شدن غیرخطی در معادله زیرزمینی جریان محصور نشده استفاده می‌کند، این قابلیت در نسخه‌های قبلی وجود نداشت و جز نقاط ضعف آنها بود. این مدل باید با بسته Upstream-Weighting (UPW) استفاده شود، این بسته برای محاسبه قابلیت هدایت داخل سلولی از روشی متفاوت از روش Block-Centered Flow (BCF) استفاده می‌کند. مدل MODFLOW-NWT جریان آب زیرزمینی سه‌بعدی را برای سفره‌های غیرمحصور در شرایطی که تمام سلول‌های مدل در طی شبیه‌سازی فعال می‌مانند تخمین می‌زند. گرچه روش‌های مدل MODFLOW-2005 هم قادر به حل مسائل غیرمحصور سه‌بعدی هستند، اما این کار با تولید سلول‌های فعال و غیرفعال در طی شبیه‌سازی انجام می‌شود. تبدیل سلول‌ها بین فعال و غیرفعال در محاسبه جریان ایجاد ناپیوستگی می‌کند و می‌تواند موجب شکست همگرایی در موقعیت‌های مختلف شود. نکته- داشتن فعال تمام سلول‌ها در طی شبیه‌سازی و استفاده از Upstream-Weighting برای محاسبه هدایت بین سلولی، معمول‌ترین علت شکست همگرایی را حذف می‌کند، بخصوص زمانی که آب از سلول‌ها گرفته می‌شود. در مدل MODFLOW-NWT و MODFLOW-2005 بسته‌ای با عنوان Unsaturated-

Zone Flow وجود دارد که نفوذ آب در منطقه غیراشباع را شبیه‌سازی می‌کند. اطلاعاتی که در این بخش باید به مدل معرفی گردد شامل مقدار رطوبت در وضعیت اشباع، مقدار رطوبت اولیه، مقدار هدایت هیدرولیکی عمودی، شدت نفوذ و ... می‌باشد که میزان اطلاعات ورودی بستگی به دسترسی به اطلاعات صحرائی دقیق دارد. در مدل MODFLOW-NWT، زمانی که سطح آب زیرزمینی تا کف سلول افت می‌یابد مقدار پمپاژ منفی تعیین شده در بسته چاه به مقدار صفر کاهش داده می‌شود. به طور خلاصه جنبه‌های عملی مهم مدل MODFLOW-NWT که متفاوت از مدل MODFLOW-2005 است شامل موارد زیر است: (۱) از Upstream-Weighting برای محاسبه هدایت افقی آبخوان‌های غیرمحصور استفاده می‌کند، (۲) تمام سلول‌های بار متغیر فعال در شروع شبیه‌سازی، در سرتاسر شبیه‌سازی فعال باقی می‌مانند، (۳) هدایت افقی برای شرایط غیرمحصور و ناپایدار در طول سلول‌های تر و خشک تصحیح شده است، (۴) فرمول‌بندی ذخیره برای تغییرات ذخیره در طول سلول‌های خشک و تر و در طی شرایط بین محصور و غیرمحصور تصحیح شده است و (۵) فرمول‌بندی ذخیره برای شرایط غیرمحصور تصحیح شده است، به طوری که تغییری در ذخیره، به علت تغییرات بار در زیر کف سلول اتفاق نمی‌افتد (Niswonger et al., 2011). در جدول (۳) بسته‌های مدل MODFLOW و MODFLOW-NWT که در MODFLOW تصحیح شده‌اند ارائه شده است.

جدول ۲- بسته‌های MODFLOW و موارد تصحیح شده در MODFLOW-NWT

عنوان کامل بسته	اختصار	وضعیت تصحیح	عنوان کامل بسته	اختصار	وضعیت تصحیح
اصلی	BAS	خیر	نسخه ۲- چاه چند گره‌ای	MNW2	بله
گزینه بار ویژه متغیر زمانی	CHD	خیر	روش حل نیوتن	NWT	بله (جدید)
زهکش	DRN	خیر	روند مشاهداتی	OBS	خیر
تبخیر و تعرق	EVT	خیر	تغذیه	RCH	خیر
گیج	GAG	خیر	رودخانه	RIV	خیر
مرز بار عمومی	GHB	خیر	مسیریابی جریان	SFR	بله
مانع جریان افقی	HFB	بله	وزن بالادست	UPW	بله (جدید)
دریاچه	LAK	بله	جریان منطقه غیراشباع	UZF	بله
نسخه ۱- چاه چند گره‌ای	MNW1	بله	چاه	Well	بله

(Kamali, 2017) که در این تحقیق مهر ماه ۱۳۸۹ که نوسانات سطح آب در دشت ناچیز بود به عنوان اولین تاریخ از شبیه‌سازی برای واسنجی در شرایط پایدار به مدل معرفی گردید. اندازه‌گیری تراز سطح آب زیرزمینی در دشت میاندوآب در ۱۰۸ پیزومتر صورت می‌گیرد که از این تعداد ۸۷ چاه جهت مقایسه نتایج مدل و انجام واسنجی و صحت‌سنجی لحاظ گردید. در گام سوم مدل برای شرایط ناپایدار آماده گردید و اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری و پیزومترها در گام‌های زمانی مختلف در دوره شبیه‌سازی (مهر ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۲) به مدل معرفی شد. در این گام از نتایج واسنجی اول استفاده و مدل اجرا شد. در گام چهارم مدل مجدداً واسنجی شد، در این گام آبدهی ویژه و هدایت هیدرولیکی وارد فرایند واسنجی گردید. در نهایت در گام پنجم مدل برای مهر ۱۳۹۲ تا شهریور ۱۳۹۴ صحت‌سنجی گردید.

واسنجی مدل

واسنجی مدل با روش مدل‌سازی معکوس و با استفاده از نرم‌افزار PEST صورت گرفت. تابع هدف برای برآورد پارامترها، کمینه کردن اختلاف سطح آب اندازه‌گیری شده و محاسباتی تعریف شده است:

$$\min \varphi(\theta, b) = \sum_{i=1}^N w_i [O(z, t_i) - S(z, b, t_i)]^2 \quad (1) \text{ رابطه ۱}$$

که در آن (K, S_s, W) بردار مجهولات، K هدایت هیدرولیکی، W مقدار تغذیه و تخلیه، S_s مقدار آبدهی ویژه مواد متخلخل، $O(z, t_i)$ سطح ایستابی در مکان z در زمان t_i ، $S(z, b, t_i)$ مقادیر شبیه‌سازی شده سطح ایستابی با استفاده از آرایه بردار مجهولات در مکان z در زمان t_i ، N تعداد مشاهدات و w_i ضرایب وزنی هر قرائت می‌باشد. در رابطه فوق هدف یافتن مقدار منحصر به فرد b به گونه‌ای است که تابع هدف کمینه

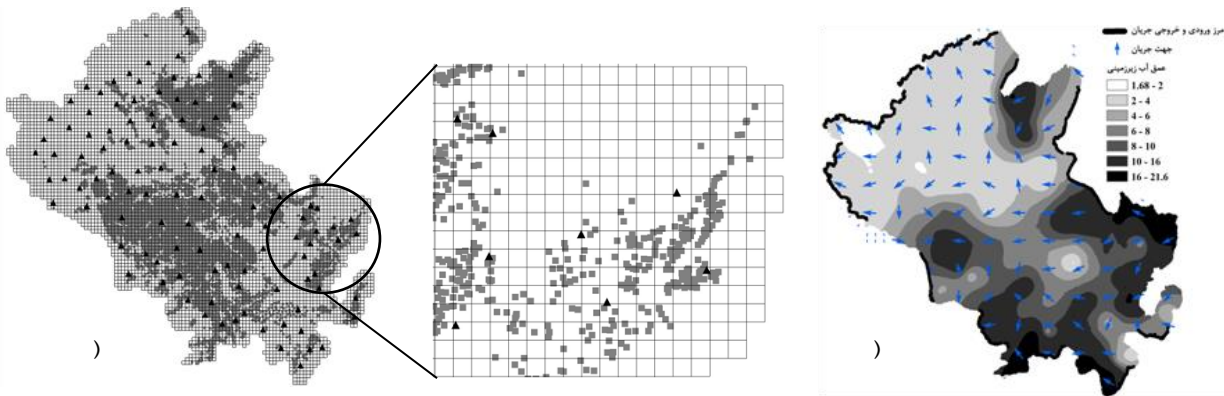
مراحل ایجاد مدل MODFLOW-NWT در GMS

ساخت مدل آب زیرزمینی توسط مدل MODFLOW-NWT در نرم‌افزار GMS به عنوان یک رابط گرافیکی بین کد تفاضل محدود MODFLOW و GIS صورت گرفت. ایجاد مدل آب زیرزمینی توسط مدل MODFLOW-NWT در پنج گام انجام شد. گام اول شامل تهیه مدل مفهومی بود. ساختار مدل مفهومی آبخوان دشت میاندوآب شامل محدوده مدل‌سازی و توزیع اولیه پارامترهای هیدروژئولوژیکی (هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه)، عوامل بیلان (چاه‌های بهره‌برداری، میزان تغذیه از سطح به آبخوان)، توپوگرافی سطوح بالا و پایین لایه‌ها، مرزهای ورودی و خروجی و اطلاعات پیزومترها می‌باشد. مرزهای شبیه‌سازی شده در این مطالعه شامل مرز بدون جریان یا جریان صفر و مرز بار عمومی برای شبیه‌سازی مرزهای جریان وابسته به بار (شرایط مرزی کوشی) بود (شکل ۳- الف). پس از تهیه مدل مفهومی از منطقه مورد مطالعه، با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، توپوگرافی، نقشه‌های هم‌پتانسیل، نقشه منابع آب و وسعت منطقه مورد مطالعه، شبکه‌ای با سلول‌هایی به ابعاد 500×500 مترمربع شامل ۱۲۱ سطر و ۱۲۴ ستون برای محدوده مورد نظر تهیه گردید (شکل ۳- ب). در گام دوم نسخه مدل MODFLOW انتخاب و اطلاعات از مدل مفهومی به آن انتقال داده شد و بعد از گرفتن اجرای اولیه از مدل، پارامترهای هدایت هیدرولیکی، تغذیه و ضریب هدایت بستر رودخانه‌ها به عنوان پارامترهای واسنجی به مدل معرفی و بدین ترتیب برای شرایط پایدار مدل واسنجی گردید. مدل در شرایط پایدار برای ماه یا ماه‌هایی از سال که تغییرات سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای و دشت ناچیز است واسنجی می‌گردد (Shahabifard, 2003, Barzanouni, 2011, Pourseyadi and Kashkuli, 2012, Abareshi et al, 2015, Asadi et al, 2016, Taheri Tizro and

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - S_i)^2}{N}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در این روابط N تعداد چاه‌های مشاهداتی، S_i مقادیر شبیه‌سازی شده سطح ایستابی در چاه i ام، O_i مقادیر سطح آب اندازه‌گیری شده در چاه i ام، \bar{O} مقدار متوسط شبیه‌سازی و \bar{O} مقدار متوسط اندازه‌گیری شده هستند.



شکل ۳- الف) عمق آب زیرزمینی و جهت جریان در شهریور ۹۴، ب) سلول‌های شبکه مدل ایجاد شده در GIS، پیزومتر (▲) و چاه‌های بهره‌برداری (■)

ستاد احیای دریاچه ارومیه ارائه شده این است که آبیاری به صورت مدرن سطحی و تحت فشار اجرا گردد و جهت کاهش مصرف آب از راهکارهای سازه‌ای در مدیریت عرضه و تقاضای آب کشاورزی استفاده گردد. بر اساس آنچه گفته شد سناریوهای زیر تعریف و وضعیت دشت مورد بررسی قرار گیرد.

مجموع حجم آب سطحی و برداشت آب زیرزمینی در واحدهای اراضی واقع در نواحی موجود در دشت میاندوآب برای سال‌های زراعی ۸۸-۹۳ به عنوان میزان عرضه محاسبه گردید. سپس بر اساس آمار الگو و تراکم کشت، میزان نیاز آبی محصولات محاسبه و مقدار تقاضا تعیین گردید. میزان عرضه در دشت میاندوآب (میانگین سال‌های آبی ۸۸-۸۹ تا ۹۳-۹۲) ۹۲۴ میلیون مترمکعب بود که به طور میانگین در سال‌های آبی ۸۸-۸۹ تا ۹۳-۹۲، میزان ۲۸۲ میلیون مترمکعب آن از طریق آب زیرزمینی و ۶۴۲ میلیون مترمکعب از طریق آب سطحی تأمین می‌شد که سهم آب زیرزمینی ۳۰/۵ درصد و سهم آب سطحی ۶۹/۵ درصد است (Nameless, 2016a). بر اساس متوسط نیاز آبی هر یک از محصولات طی ماه‌های مختلف سال-های آبی ۸۸-۸۹ تا ۹۳-۹۲، میزان تقاضا در کل دشت میاندوآب ۴۵۸ میلیون مترمکعب می‌باشد. همان‌طور که

شود. معیارهای مختلفی برای ارزیابی نتایج بدست آمده وجود دارد که از سه معیار ضریب تبیین (R^2)، کارایی مدل‌سازی ناش- ساتکلیف (NSE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای تعیین میزان همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی استفاده شد. معادلات مربوط به هر کدام به قرار ذیل می‌باشند:

$$R^2 = \left(\frac{\sum (S_i \times O_i) - n \times \bar{S} \times \bar{O}}{\sqrt{(\sum O_i^2 - n \times \bar{O}^2)(\sum S_i^2 - n \times \bar{S}^2)}} \right) \quad (\text{رابطه ۲})$$

تعریف سناریوها

بیش از دو دهه از آغاز خشکی دریاچه ارومیه می‌گذرد. عوامل زیادی در خشک شدن تدریجی دریاچه ارومیه نقش داشتند که از جمله می‌توان به تغییر اقلیم و وقوع خشکسالی، سدسازی‌ها در حوضه دریاچه ارومیه، برداشت فراوان کشاورزان از منابع آب‌های سطحی و چاه‌های مجاز و غیرمجاز در حوضه دریاچه ارومیه و کشت محصولات پر مصرف در منطقه اشاره کرد. وضعیت کنونی دریاچه ارومیه حاصل عملکرد مجموعه‌ای از عوامل انسانی و طبیعی طی دهه‌های گذشته است و احیای دریاچه ارومیه همچنان در صدر مطالبات زیست‌محیطی کشور قرار دارد. دشت میاندوآب دشتی حاصلخیز و قطب کشاورزی استان محسوب می‌شود و رودخانه‌های زرينه‌رود و سیمینه‌رود در این دشت از گذشته نقش مهمی در تأمین آب دریاچه داشته‌اند که اهمیت هر چه بیشتر این دشت را در سطح منطقه مشخص می‌کند. از جمله مهمترین اقداماتی که می‌توان برای کمک به احیای دریاچه ارومیه انجام داد مدیریت یکپارچه منابع آب سطحی و زیرزمینی و افزایش بازده آبیاری می‌باشد. از راهکارهایی که برای افزایش بازده آبیاری در سطح منطقه توسط

اکثراً اقدام به برداشت غیر مجاز از رودخانه‌ها نیز می‌نمایند و در وهله دوم چاه‌هایی که در مناطق با سطح آب زیرزمینی پایین قرار داشتند.

در سناریوی دوم حذف کل چاه‌های کشاورزی موجود در دشت صورت گرفت. حجم ذخیره آبخوان شامل ذخیره دینامیک و ذخیره استاتیک است. ذخیره استاتیک به ذخیره‌ای اطلاق می‌شود که در طول زمان زمین‌شناسی، در بخش‌های تحتانی آبخوان انباشته گردیده و معمولاً در ارتباط با چرخه هیدرولوژیکی نیست. در حالی که ذخیره دینامیک آب زیرزمینی به ذخیره‌ای اطلاق می‌شود که در ارتباط با چرخه هیدرولوژیکی بوده و حجم آن در حقیقت برابر میزان تغذیه سالانه آب زیرزمینی است، در صورت عدم بهره‌برداری از آبخوان، ذخیره دینامیک به هر شکل ممکن است از آبخوان خارج شود که می‌تواند به صورت خروجی زیرزمینی به دشت‌های مجاور، زهکشی رودخانه‌ها، تبخیر مستقیم در مناطق کم عمق و غیره باشد، (Karimi et al, 2014). با اجرای سناریوی اول و دوم می‌توان این وضعیت را به صورت کمی مورد بررسی قرار داد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، به طور متوسط مقدار ۹۹ میلیون مترمکعب از رودخانه‌های سیمینه‌رود و زرینه‌رود توسط موتور پمپ جهت تأمین نیاز آبی برداشت صورت می‌گیرد، به عنوان سناریوی سوم، این برداشت‌ها حذف و تأمین نیاز آبی از طریق آب زیرزمینی صورت گرفت و این ۹۹ میلیون مترمکعب برای احیای دریاچه ارومیه لحاظ شد. به این ترتیب ۳۸۱ میلیون مترمکعب برداشت از آب زیرزمینی در مدل اعمال گردید، بنابراین سناریوی سوم عبارت خواهد بود از:

۳- عدم برداشت آب توسط موتورپمپ از رودخانه‌های سیمینه‌رود و زرینه‌رود و تأمین نیاز آبی از طریق برداشت از آب زیرزمینی با حفظ بازده فعلی

در ادامه اثر دو سناریوی دوم و سوم در دراز مدت (به مدت ۵ سال) بر وضعیت آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل

در جدول (۴)، مقایسه نتایج واسنجی با محاسبات آماری R^2 ، NSE و RMSE ارائه شده است. ضریب تبیین بین مقادیر اندازه-گیری شده و محاسباتی، نشان می‌دهد که این دو مقدار از همبستگی بسیار بالایی برخوردارند، بطوریکه میزان همبستگی برای واسنجی در شرایط پایدار ۰/۹۹۸ و برای واسنجی ناپایدار ۰/۹۹۷ می‌باشد. مقدار RMSE برای شرایط پایدار و ناپایدار به ترتیب ۰/۸۰ و ۰/۸۱ متر می‌باشد، همان‌طور که ملاحظه می-

ملاحظه می‌گردد میزان آب تحویلی با مقدار تقاضا انطباق نداشته و اختلاف بین عرضه و تقاضا ۴۶۶ میلیون مترمکعب بیشتر از میزان تقاضا می‌باشد. بر اساس مقادیر عرضه و تقاضا، متوسط بازده آبیاری در محدوده مورد مطالعه ۴۹ درصد برآورد می‌گردد. از ۶۴۲ میلیون مترمکعب آب سطحی مورد مصرف در بخش کشاورزی (میانگین سال‌های آبی ۸۹-۸۸ تا ۹۳-۹۲)، به طور متوسط ۳۷۳ میلیون مترمکعب از طریق شبکه آبیاری و زهکشی زرینه تأمین می‌گردد، به طور متوسط ۱۳۶/۵ میلیون مترمکعب از طریق انهار سنتی منشعب شده از رودخانه‌های زرینه‌رود، سیمینه‌رود، قوری‌چای، لیلان‌چای و مردوق‌چای تأمین می‌گردد. به طور متوسط مقدار ۹۸/۵ میلیون مترمکعب از رودخانه‌های سیمینه‌رود و زرینه‌رود توسط موتور پمپ برداشت و مابقی که معادل ۳۳ میلیون مترمکعب می‌باشد از آب زهاب زهکش‌ها تأمین می‌گردد.

اگر میزان بازده آبیاری از ۴۹ درصد به میزان ۱۰ درصد افزایش داده شود کل آب مصرفی را می‌توان از ۹۲۴ میلیون مترمکعب به ۷۷۶ میلیون مترمکعب کاهش داد، از آنجا که آب سطحی موجود قابل برداشت ۶۴۲ میلیون مترمکعب می‌باشد می‌توان میزان برداشت از آب زیرزمینی را به ۱۳۴ میلیون مترمکعب کاهش داده و با آب سطحی موجود مساحت بزرگتری را با افزایش بازده و کاهش تلفات، تحت پوشش قرار داد. همچنین با افزایش بازده به میزان ۲۰ درصد، کل آب مصرفی را می‌توان از ۹۲۴ میلیون مترمکعب به ۶۶۴ میلیون مترمکعب کاهش داد که در این صورت نیاز به برداشت از آب زیرزمینی جهت تأمین نیاز کشاورزی با فرض تأمین ۲۲ میلیون مترمکعب مابقی از طریق آب سطحی به صفر انجامید. بر اساس آنچه اشاره شد دو سناریوی زیر برای مدیریت بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی تعریف گردید:

۱- افزایش بازده آبیاری به میزان ۱۰ درصد در دشت میاندوآب و مدیریت بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی

۲- افزایش بازده آبیاری به میزان ۲۰ درصد در دشت میاندوآب و مدیریت بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی

در دشت میاندوآب ۱۵۵۸۴ چاه وجود دارد که از این تعداد ۳۵۳۹ چاه مجاز و ۱۲۰۴۷ چاه غیرمجاز است. در سناریوی اول با حذف ۹۴۴۷ چاه غیرمجاز، برداشت از آب زیرزمینی به میزان ۱۴۸ میلیون مترمکعب کاهش داده شد. اولویت حذف در وهله اول با چاه‌های غیرمجازی بود که در اطراف رودخانه‌های سیمینه‌رود و زرینه‌رود قرار داشتند، چون

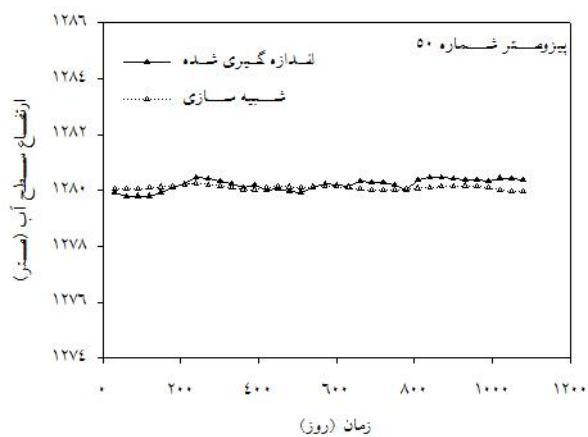
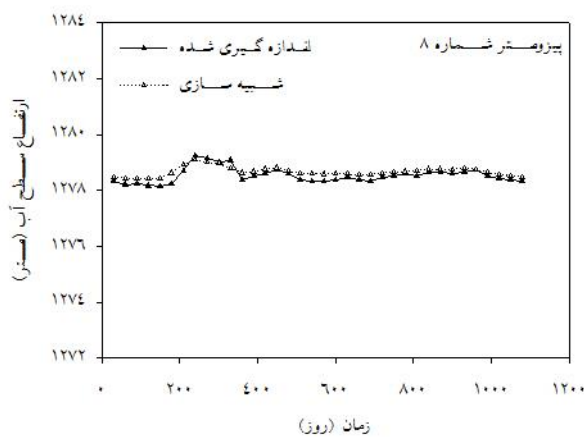
شکل‌ها مشخص است، سطح آب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده از هماهنگی خوبی برخوردار هستند و مدل به خوبی شرایط طبیعی آبخوان را شبیه‌سازی کرده است. پس از واسنجی مدل، باید آن را برای دوره‌های زمانی خارج از بازه زمانی واسنجی، اجرا و نتایج آن را با مشاهدات مقایسه نمود. برای صحت‌سنجی مدل از داده‌های اندازه‌گیری شده بار آبی از مهر ماه ۱۳۹۲ تا شهریور ماه ۱۳۹۴ به مدت دو سال استفاده شد. در جدول (۴) نتایج حاصل از مقایسه نتایج صحت‌سنجی با محاسبات آماری R^2 ، NSE و $RMSE$ ارائه شده است. میزان همبستگی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در دوره صحت‌سنجی ۰/۹۹۴، مقدار $RMSE$ ، ۰/۹۵ متر و مقدار NSE برابر با ۰/۹۹۹ می‌باشد. در شکل (۶) مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در دوره صحت‌سنجی در پیزومترهای شماره ۸ و ۵۰ ارائه شده است. نتایج مؤید آن است که مدل به خوبی واسنجی شده و قادر بوده در دوره زمانی خارج از دوره واسنجی سطح آب زیرزمینی را به خوبی پیش‌بینی نماید.

گردد مقادیر آن کمتر از یک متر است که می‌تواند نشان از دقت بالای واسنجی مدل باشد. از آنجا که مقادیر NSE ، ۰/۹۹۶ برای شرایط پایدار و ۰/۹۹۷ برای شرایط ناپایدار است و مقدار NSE هر چه به یک نزدیک باشد، مدل کارتر است، پس می‌توان گفت مدل به خوبی واسنجی شده و ورودی‌های اولیه مدل نسبتاً خوب تخمین زده شده‌اند.

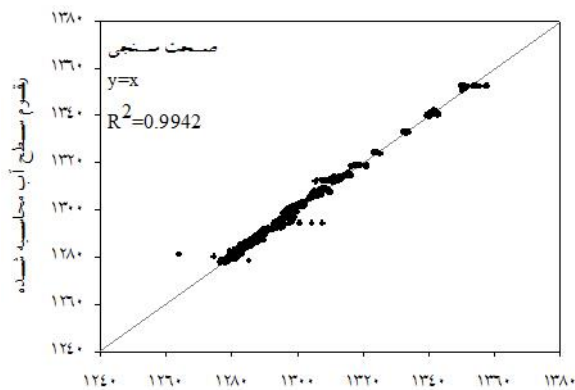
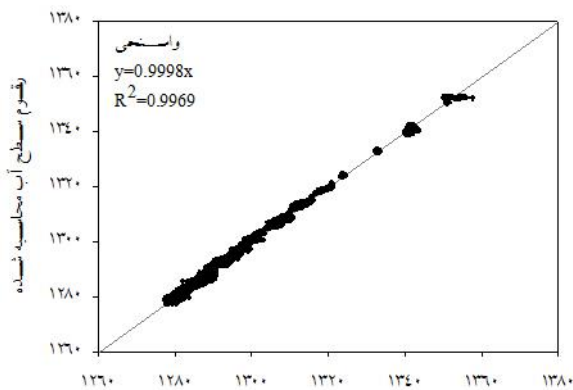
جدول ۴- مقایسه نتایج واسنجی و صحت‌سنجی با محاسبات آماری R^2 .

RMSE و NSE			نوع عملیات
NSE (-)	(m) RMSE	R^2 (-)	
۰/۹۹۶	۰/۸۰۰	۰/۹۹۸	واسنجی در شرایط پایدار
۰/۹۹۷	۰/۸۱۰	۰/۹۹۷	واسنجی در ناپایدار
۰/۹۹۹	۰/۹۵۰	۰/۹۹۴	صحت‌سنجی

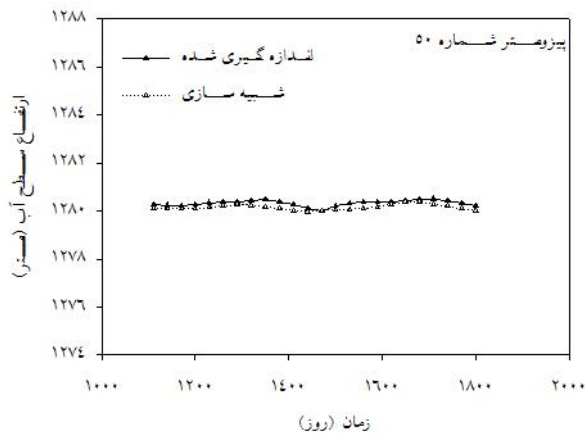
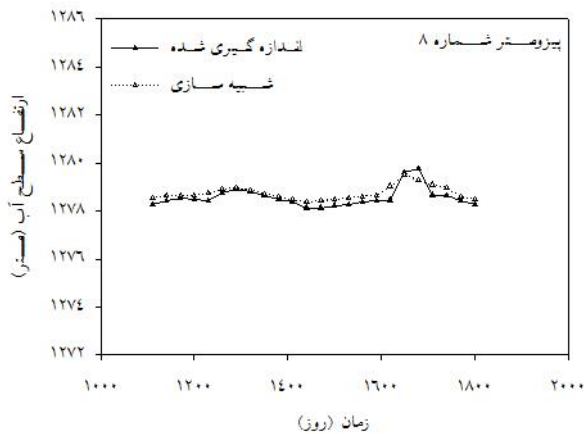
نتایج واسنجی به صورت مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده به عنوان نمونه در دو پیزومتر شماره ۸ و ۵۰ در شکل (۴) آورده شده است. همچنین مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده سطح ایستابی در کل دوره واسنجی در شکل (۵) ارائه شده است. همان‌طور که در



شکل ۴- مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در دوره واسنجی در پیزومترهای شماره ۸ و ۵۰



شکل ۵- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده سطح ایستابی در کل دوره واسنجی و صحت‌سنجی



شکل ۶- مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در دوره صحت‌سنجی در پیزومترهای شماره ۸ و ۵۰

دریاچه ارومیه باشد. از ۱۴۸ میلیون مترمکعبی که نسبت به وضعیت قبل اعمال سناریو دیگر پمپاژ نمی‌شود، ۳۵ میلیون مترمکعب از مرزهای خروجی جریان خارج می‌گردد، مابقی بصورت تغذیه رودخانه‌ها (۴۰ میلیون مترمکعب) و ذخیره و تبخیر از سطح دشت (۷۳ میلیون مترمکعب) نمود می‌یابد (شکل ۷). در سناریوی دوم عدم برداشت از آب زیرزمینی جهت کشاورزی از چاه‌های مجاز و غیرمجاز با افزایش ۲۰ درصدی بازده و تأمین نیاز آبی کشاورزی از طریق منابع آب سطحی صورت گرفت و تنها ۱۴ میلیون مترمکعب برداشت جهت صنعت و شرب در مدل اعمال گردید. همان‌طور که در شکل (۸) ملاحظه می‌گردد با کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی جهت کشاورزی به میزان ۲۸۲ میلیون مترمکعب، سطح آب زیرزمینی به طور متوسط ۰/۸۶ متر بالا آمده است. بیشترین تغییرات در عمق آب زیرزمینی در قسمت‌های بالادست به سمت-های میانی دشت مشاهده می‌گردد که علت آن تمرکز چاه‌های بهره‌برداری در این قسمت‌ها می‌باشد. میزان ۴۱ میلیون مترمکعب از آبی که دیگر برداشت نمی‌شود به صورت جریان خروجی از مرزهای دشت خارج می‌گردد، مابقی به صورت تغذیه رودخانه‌ها (۵۱ میلیون مترمکعب) و ذخیره در دشت و تبخیر مستقیم در مناطق کم عمق نمود می‌یابد (شکل ۷). در صورت عدم بهره‌برداری از آبخوان، ذخیره دینامیک به هر شکل ممکن است از آبخوان خارج شود که می‌تواند به صورت خروجی زیرزمینی به دشت‌های مجاور، زهکشی رودخانه‌ها، تبخیر مستقیم در مناطق کم عمق و غیره باشد، این اتفاقی است که در دشت میان‌دوآب با کاهش و حذف برداشت از آبخوان اتفاق می‌افتد، به طور متوسط ۲۰ درصد از منطقه به صورت جریان آب زیرزمینی از دشت خارج می‌شود، به طور متوسط ۲۳ درصد به منابع آب سطحی تخلیه می‌شود و مابقی در دشت ذخیره یا از سطح دشت تبخیر می‌گردد.

بدست آوردن دقیق ضریب هدایت کف رودخانه در تمام طول مسیر آن تقریباً غیرممکن است و تنها با اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای و توسعه نتایج حاصل از این اندازه‌گیری‌ها ضمن فرآیند واسنجی مدل برای کل مسیر رودخانه می‌باشد. از آنجایی که امکان اندازه‌گیری میدانی میسر نبود، از اعداد ارائه شده در تحقیق (Khaleghzade, 1999) استفاده گردید و با استفاده از فرآیند واسنجی مقادیر دقیق‌تر این پارامتر در بازه‌های مکانی مختلف در رودخانه تعیین شدند. در جدول (۵) مقادیر اولیه و واسنجی ضریب هدایت کف رودخانه در مقاطعی از رودخانه‌های سیمینه‌رود، زرینه‌رود و قوری‌چای ارائه شده است. در ادامه در جدول (۶) مقادیر اولیه و واسنجی هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در تعدادی از چاه‌های اکتشافی ارائه شد.

نتایج اعمال سناریوها

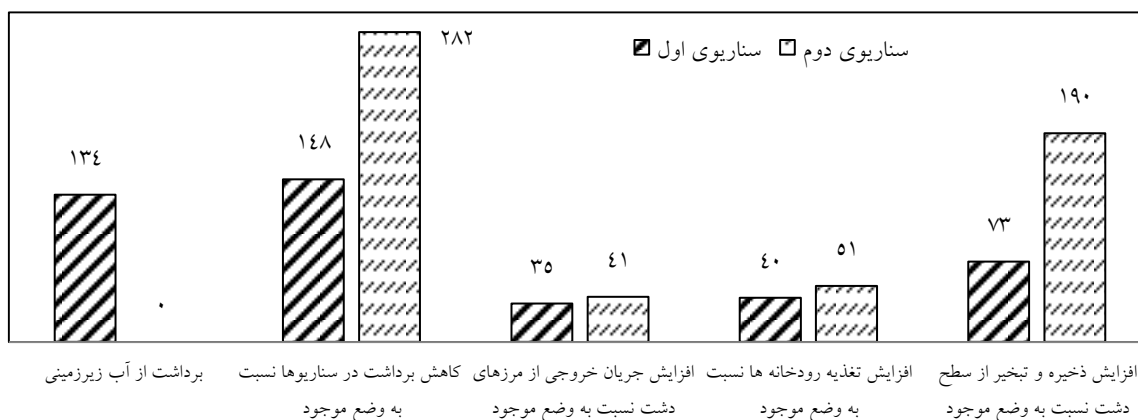
نتایج اعمال سه سناریوی پیشنهادی جهت مدیریت بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت میان‌دوآب به صورت نقشه هم عمق آب زیرزمینی در دو ماه فروردین و شهریور با استفاده از روش میان‌یابی کریجینگ (Yang et al, 2008) در نرم‌افزار GIS تهیه و در شکل (۸) ارائه شده است. در سناریوی اول با افزایش ۱۰ درصدی بازده آبیاری، میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی جهت کشاورزی از ۲۸۲ میلیون مترمکعب به ۱۳۴ میلیون مترمکعب کاهش داده شد، همان‌طور که در شکل (۸) ملاحظه می‌گردد وضعیت آب زیرزمینی در سال اول دستخوش تغییرات فاحش نسبت به وضعیت قبل از اعمال سناریو (شکل ۳-الف) نمی‌گردد و زهدار شدن اراضی در قسمت پایین دست و میانی دشت که به علت عمق کمتر آب زیرزمینی در این قسمت و جهت جریان به سمت پایین دست احتمال آن بیشتر است مشاهده نمی‌گردد که علت آن می‌تواند بالا بودن قابلیت انتقال در دشت، افزایش گرایان و وجود مرزهای خروجی به سمت

جدول ۵- مقادیر اولیه و واسنجی ضریب هدایت در رودخانه‌های سیمینه‌رود، زرینه‌رود و قوری‌چای

نام	موقعیت	ضریب هدایت- اولیه day^{-1}	ضریب هدایت - واسنجی (day^{-1})
بستر	منطقه ورودی	۵۰۴/	۰۳/۸
بستر	منطقه میانی	۵۰/۶	۰۴/۷
بستر	منطقه خروجی	۰۱/۲	۰۰/۷
بستر	منطقه ورودی	۰۱۰/۵	۶۰۱۲/
بستر	منطقه میانی	۵۰۲/	۰۱/۶
بستر	منطقه خروجی	۰۰/۸	۰۰/۴
بستر	-	۰۳/۰	۰۱/۵

جدول ۶- مقادیر اولیه و واسنجی هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در چاه‌های اکتشافی

ردیف	مختصات X	مختصات Y	هدایت هیدرولیکی- اولیه (m.day^{-1})	هدایت هیدرولیکی- واسنجی (m.day^{-1})	آبدهی ویژه- اولیه (-)	آبدهی ویژه- واسنجی (-)
۱	۵۸۷۰۰۰	۴۱۰۰۲۵۰	۳/۵۰	۰۵۷/	۰/۱۴	۰/۰۶
۲	۵۸۸۲۵۰	۴۰۸۶۲۵۰	۱۲/۷۰	۰۶۴/	۲۰/۱	۰/۱۱
۳	۵۸۹۰۰۰	۴۰۸۷۰۰۰	۱۲/۱۰	۰۵۲/	۲۰/۱	۰/۱۱
۴	۵۸۹۷۵۰	۴۱۰۳۲۵۰	۰۱۲/	۰۳۳/	۰/۱۴	۰/۰۹
۵	۵۹۰۲۵۰	۴۰۹۰۷۵۰	۴/۷۰	۰۳۱۹/	۰/۱۲	۰/۰۸
۶	۵۹۰۷۵۰	۴۰۹۱۵۰۰	۰۵۶/	۱۷/۴۰	۰/۱۲	۰/۰۷
۷	۵۹۱۲۵۰	۴۰۹۳۲۵۰	۰۳۴/	۳/۳۰	۳۰/۱	۰/۰۸
۸	۵۹۳۰۰۰	۴۱۰۶۰۰۰	۰۵۱/	۰۲۳/	۰/۱۴	۰/۱۰
۹	۵۹۳۱۵۰	۴۰۸۶۸۵۰	۰۳۶/	۰۱۳/	۲۰/۱	۰/۱۷
۱۰	۵۹۳۵۰۰	۴۰۹۶۰۰۰	۰۴۱۶/	۱۰/۲۰	۳۰/۱	۰/۲۰
۱۱	۵۹۴۰۰۰	۴۰۹۵۰۰۰	۰۶۱۲/	۰۳۱۰/	۳۰/۱	۰/۱۹
۱۲	۵۹۶۱۲۵	۴۰۹۵۷۵۰	۰۱۴/	۰۱۴۲/	۰/۱۲	۰/۴۷
۱۳	۵۹۶۵۰۰	۴۰۹۵۵۰۰	۰۴۱۶/	۰۲۴۲/	۰/۱۳	۰/۴۶
۱۴	۵۹۹۱۲۵	۴۱۱۴۱۲۵	۰۲۲/	۰۴۱/	۰/۱۵	۰/۰۷
۱۵	۶۰۱۶۲۵	۴۰۹۶۰۰۰	۰۰۱۱/	۰۶۷/	۰/۱۲	۰/۱۲
۱۶	۶۰۱۷۵۰	۴۰۹۲۷۵۰	۰۰۹/	۰۷۴/	۰/۱۲	۰/۱۱
۱۷	۶۰۳۲۵۰	۴۰۹۴۲۵۰	۰۲/۸	۰۵۳/	۰/۱۲	۰/۱۰
۱۸	۶۰۶۱۲۵	۴۰۹۴۳۷۵	۰۴۸/	۰۶۱۲/	۰/۱۲	۰/۰۷
۱۹	۵۶۱۵۸۲	۴۰۹۴۲۰۳	۴/۵۰	۰۵۹/	۰/۱۱	۰/۱۵
۲۰	۹۶۱۰۴۵	۴۰۷۴۸۰۴	۲/۵۰	۵/۶۰	۰/۰۹	۰/۰۹
۲۱	۶۱۴۵۱۲	۴۰۸۶۸۳۷	۲/۸۰	۴/۲۰	۰/۱۰	۰/۱۰
۲۲	۴۶۰۵۳۰	۴۰۸۳۴۱۵	۳/۵۰	۳/۴۰	۰/۱۰	۰/۰۹



شکل ۷- مقایسه سناریوهای اول و دوم از نظر میزان کاهش برداشت، تغییرات جریان خروجی از مرزهای دشت، تغذیه رودخانه‌ها و ذخیره و تبخیر از سطح دشت نسبت به وضع موجود بر حسب میلیون مترمکعب

تغییری نداشت.

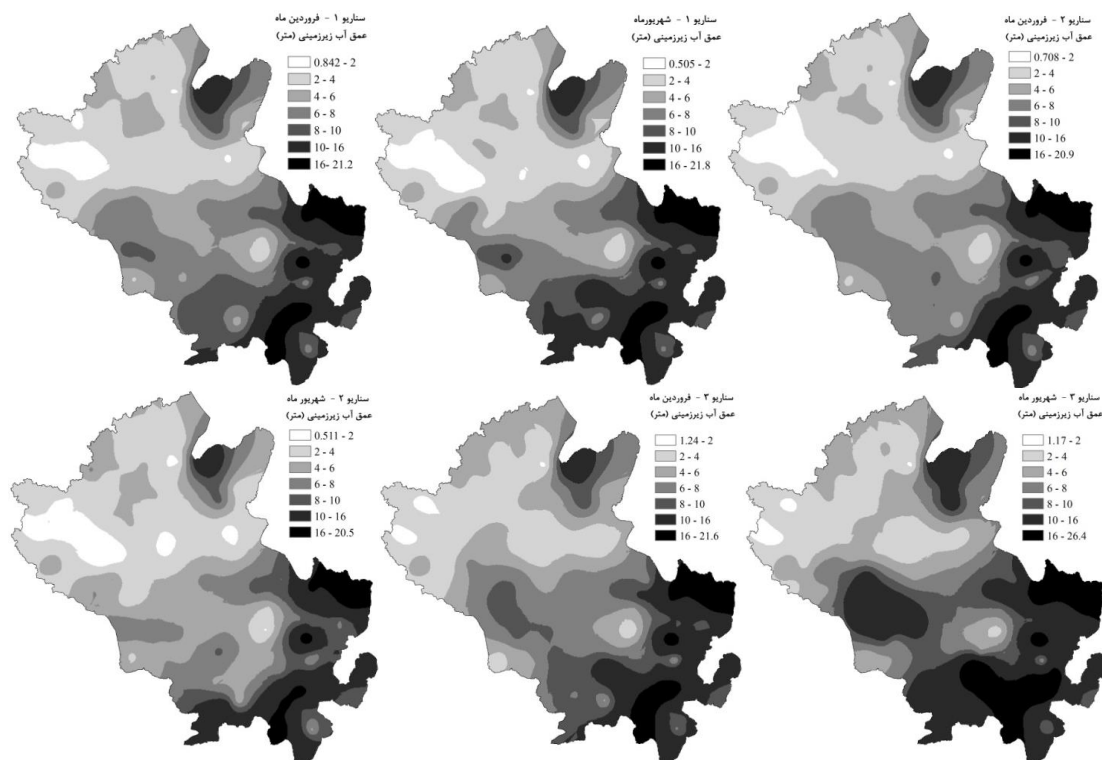
جدول ۷- مقدار کل آب مصرفی در بخش کشاورزی، میزان آب برگشتی و درصد آن در وضع موجود، سناریوهای اول، دوم و سوم

عنوان	کل آب مصرفی کشاورزی (MCM)	آب برگشتی کشاورزی (MCM)	درصد آب برگشتی کشاورزی (%)
وضع موجود	۹۲۳/۷	۳۰۵/۹	۳۳/۱
سناریو اول	۷۷۶/۴	۲۱۶/۴	۲۷/۸
سناریو دوم	۶۶۴/۲	۱۳۵/۷	۲۰/۴
سناریو سوم	۹۲۳/۷	۳۰۷/۰	۳۳/۳

در ادامه اثر دو سناریوی دوم و سوم بر وضعیت آب زیرزمینی در دراز مدت (به مدت ۵ سال) مورد بررسی قرار گیرد. نتایج به صورت نقشه هم عمق آب زیرزمینی در شکل (۹) برای ماه‌های فروردین و شهریور بعد از ۵ سال اعمال سناریوی دوم و سوم ارائه شده است. اگر سناریوی دوم به مدت پنج سال در محدوده مورد مطالعه اجرا شود، سطح آب زیرزمینی به طور متوسط ۲/۸ متر بالا می‌آید و در قسمت‌های میانی دشت زهدار شدن اراضی مشاهده می‌گردد. بیشترین عمق آب مشاهده شده در فروردین و شهریور ماه به ترتیب ۱۵/۸ و ۱۴/۷ متر در بالادست دشت و کمترین عمق مشاهده شده در پایین‌دست دشت به ترتیب ۱/۳- و ۰/۹- متر می‌باشد.

در سناریوی سوم با افزایش برداشت از سفره آب زیرزمینی جهت کشاورزی از ۲۸۲ میلیون مترمکعب به ۳۸۱ میلیون مترمکعب، عمق آب زیرزمینی به طور متوسط ۱/۵ متر در سطح دشت افزایش یافت. بیشترین عمق آب مشاهده شده در فروردین و شهریور ماه به ترتیب ۲۱/۶ و ۲۶/۴ متر در بالادست دشت و کمترین عمق مشاهده شده در پایین دست دشت به ترتیب ۱/۳ و ۱/۲ متر می‌باشد. در این سناریو نیز بیشترین مشاهده افزایش عمق آب زیرزمینی در قسمت‌های بالادست به سمت قسمت‌های میانی دشت و در اطراف سیمینه- رود و زربنه رود که تمرکز چاه‌های بهره‌برداری مشاهده می‌شود اتفاق افتاده بود.

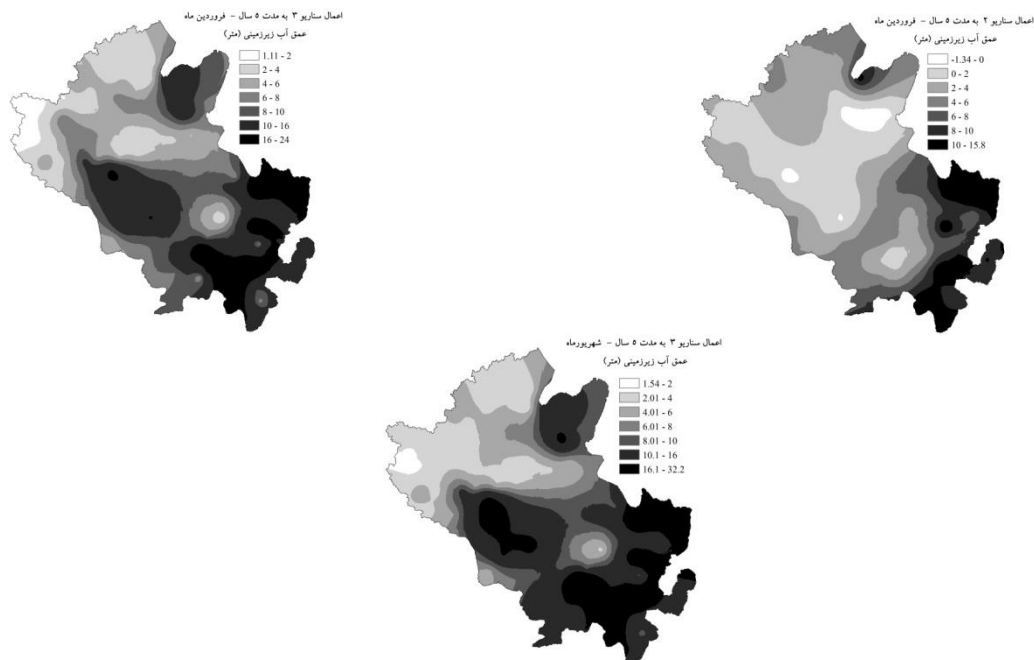
در جدول (۷) مقدار کل آب مصرفی در بخش کشاورزی، میزان آب برگشتی و درصد آن در وضع موجود، سناریوهای اول، دوم و سوم ارائه گردید. میزان کل آب مصرفی در وضع موجود ۹۲۴ میلیون مترمکعب بود که میزان آب برگشتی ۳۰۶ میلیون مترمکعب، معادل ۳۳ درصد می‌باشد. در سناریوی اول با افزایش ۱۰ درصدی بازده، میزان آب برگشتی به ۲۱۶ میلیون مترمکعب رسید و نسبت به وضع موجود ۵ درصد آب برگشتی کاهش داشت. در سناریوی دوم با افزایش ۲۰ درصدی بازده، نیاز آبی و آب برگشتی به ترتیب ۶۶۴ و ۱۳۶ میلیون مترمکعب بود که منجر به کاهش ۱۳ درصدی آب برگشتی نسبت به وضع موجود شد. در سناریوی سوم میزان آب برگشتی نسبت به وضع موجود



شکل ۸- نقشه هم عمق آب زیرزمینی بعد از اعمال سه سناریو مورد نظر در دشت میان‌دوآب

نگیرد، نتایج این مطالعه نیز نشان داده است که بعد از یک سال، سطح آب زیرزمینی آبخوان در نواحی مرکزی دشت تا ۱/۸ متر بالا می‌آید، این مقدار برای پنج سال و ۱۰ سال به ترتیب برابر با ۳/۲ و ۵/۲ متر می‌باشد. همچنین بعد از یک سال ۶/۶ درصد اراضی زهدار می‌شوند. این مقدار برای پنج و ۱۰ سال بعد به ترتیب برابر با ۳۷/۹ و ۵۶/۳ درصد از اراضی دشت است (Ghobadian et al, 2014). با توجه به شکل (۹) با اعمال سناریوی سوم به مدت پنج سال در دشت، سطح آب زیرزمینی به طور متوسط ۳ متر پایین می‌رود. در اینجا نیز این افزایش عمق آب زیرزمینی در قسمت‌هایی که تمرکز چاه‌های بهره‌برداری بیشتر بوده (بالادست و میانه دشت و بین رودخانه‌های زرينه‌رود و سیمینه‌رود) بیشتر ملاحظه شده است. بیشترین عمق آب مشاهده شده در فروردین و شهریور ماه به ترتیب ۲۴ و ۳۲/۷ متر در بالادست دشت و کمترین عمق مشاهده شده در پایین‌دست دشت به ترتیب ۱/۱ و ۱/۵ متر می‌باشد، همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در ماه‌های فصل پاییز و زمستان که بارش اتفاق می‌افتد آب زیرزمینی تغذیه و سطح آب زیرزمینی مجدداً بالا می‌آید.

با تأمین کل نیاز آبی از منابع آب سطحی و به تبع آن عدم استفاده کشاورزان از چاه‌های بهره‌برداری برای مصارف کشاورزی، سطح آب در آبخوان بالا می‌آید. این امر در سال اول، اثرات مثبتی بر روی آبخوان خواهد داشت و می‌تواند به جبران افت سطح ایستابی در آبخوان که به دلیل وقوع خشکسالی‌ها و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در منطقه روی داده است، کمک کند. ولی به مرور زمان این میزان بالآمدگی سطح آب اثرات نامطلوبی بر روی اراضی کشاورزی خواهد گذاشت و باعث زهدار شدن اراضی می‌شود، به طوریکه در دراز مدت تقریباً تمامی اراضی نواحی مرکزی دشت زهدار خواهند شد. اگر چه قابلیت انتقال و گرادیان جریان در جهت خروج آب از دشت است، اما مقدار آبی که از دشت خارج می‌شود کمتر از آبی است که در دشت ذخیره می‌شود. در تحقیقی مشابه نیز، بعد از واسنجی و ارزیابی مدل آب زیرزمینی دشت میان‌دربند با استفاده از بسته نرم‌افزاری GMS6.5، اثر بهره‌برداری از شبکه آبیاری سد گاوشان بر منابع آب زیرزمینی منطقه میان‌دربند برای ۱، ۵ و ۱۰ سال بعد بررسی شده است. بعد از احداث شبکه فرض بر این بوده که استخراج از منابع آب زیرزمینی صورت



شکل ۹- نقشه هم عمق آب زیرزمینی پنج سال پس از اعمال سناریوی ۲ و ۳ در ماه‌های فروردین و شهریور

اندازه‌گیری شده و محاسباتی در تمامی پیژومترهای دشت انجام گرفت. صحت مدل ساخته شده در مرحله صحت‌سنجی مدل به اثبات رسید و نتیجه گردید که مدل ساخته شده با دقت کافی رفتار آبخوان دشت را شبیه‌سازی می‌کند. در سناریوهای اول و دوم با افزایش بازده آبیاری و کاهش برداشت از آب زیرزمینی

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به کمک مدل MODFLOW-NWT آب زیرزمینی آبخوان دشت میان‌دوآب طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴ شبیه‌سازی گردید. واسنجی مدل با تخمین پارامترهای هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و میزان تغذیه و مقایسه هیدروگراف‌های

مصارف شرب و صنعت و زیست محیطی استفاده نمود. در سناریوی سوم میزان ۹۹ میلیون مترمکعبی که دیگر از آب سطحی جهت کشاورزی برداشت نمی‌شود می‌تواند به طور مستقیم به دریاچه ارومیه جهت احیا منتقل گردد. سناریوی سوم را می‌توان به مدت محدود (۵ سال) در منطقه اعمال نمود و در مدت ۵ سال ۴۹۵ میلیون مترمکعب را به دریاچه ارومیه جهت احیای آن منتقل نمود، سپس شرایط را به وضعیت فعلی برگرداند.

جهت مصرف کشاورزی، میزان ۳۴ و ۴۱ میلیون مترمکعب به صورت جریان آب زیرزمینی از پایین‌دست آبخوان به سمت دریاچه ارومیه خارج گردید و میزان ۴۰ و ۵۱ میلیون مترمکعب به ترتیب به منابع آب سطحی تخلیه گردید، بنابراین در سناریوی اول با فرض اینکه کل این آب‌ها به دریاچه ارومیه منتقل شوند، ۷۴ میلیون مترمکعب و در سناریوی دوم ۹۲ میلیون مترمکعب وارد دریاچه خواهند شد. در سناریوی دوم اگر مدیریت صحیحی در بهره‌برداری صورت گیرد، با تغییر کاربری تعدادی از چاه‌های منطقه، از منابع آب زیرزمینی منطقه جهت

REFERENCES

- Abareshi, F., Meftah Halghi, M., Dehghani, A.A., Kaboli A.R., and Rahimian, M. (2015). Management of aquifer of Zarringol plain in Golestan province by using ground water model. *Water and Soil Conservation*, 21(6), 281-291. (In Farsi)
- Asadi, N., Kaki, M., and Jamoor, R. (2016). Groundwater level decline and compensating withdrawal plan in Aleshtar plain, Lorestan province, Iran. *Natural environmental hazards*, 5 (9), 107-126. (In Farsi)
- Baghvand, A., Vosoogh, A., Givehchi, S., and Daryabeigi Zand, A. (2016). Groundwater modeling to estimate nitrate dispersion in critical aquifers (a case study: mashhad city). *Environmental Science and Technology*. 17 (4), 1-22. (In Farsi)
- Banejad, H., Mohebzadeh, H., Ghobadi, A.G and Heydari, M. (2013). Numerical simulation of the flow and contaminant transport in groundwater, Case Study: Nahavand Plain Aquifer. *Water and Soil Science*, 23 (2), 43-57. (In Farsi)
- Barzanouni, S. (2011). Optimization and calibration the hydrodynamic parameters in the groundwater model with the help of genetic algorithms. Master of science thesis, University of Birjand, Iran.
- Boyce, E., Nishikawa, T., and W-G yeh, W. (2015). Reduced order modeling of the Newton formulation of MODFLOW to solve unconfined groundwater flow, *Advances in Water Resources*, 83, 250-262.
- Chit Sazan, M., and Saat saz, M. (2005). Application of MODFLOW mathematical model to investigating different options for water resources Management in Ramhormoz plain. *Shahid chamran Science*, 14, 1-15. (In Farsi)
- Elghany, A., Hassan Mahmoud, S., Ahmed, A., Riad H, P., and Rany, M. (2015). Optimization for number of vertical drainage wells in highly heterogeneous aquifers, *International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research*, 2, 569-582.
- Fernandez, A., lvarez, P., lorena, A., lvarez, L., and Diaz-Noriega, R. (2016). Groundwater numerical simulation in an open pit mine in a limestone formation using MODFLOW, *Mine water and the environment*, 35 (2), 145-155.
- Ghobadian, R., Fattahi, A., and Zare, M. (2014). Influence of irrigation and drainage network of Gavoshan dam on groundwater resources of Main-darband plain using GMS 6.5 model. *Water research in agriculture*, 28 (4), 759-772. (In Farsi)
- Irawan, D., Puradimaja, D., and Silaen H. (2011). Hydrodynamic relationship between ManMade Lake and surrounding aquifer, Cimahi, Banduge, Indonesia. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 58, 100-103.
- Jang, Sh., Fang Chen, Ch., Liang, Ch., and Chen, J. (2016). Combining groundwater quality analysis and a numerical flow simulation for spatially establishing utilization strategies for groundwater and surface water in the Pingtung Plain, *Hydrology*, 533, 541-556.
- Karimi, H., Naderi, F., and Nikseresht, L. (2014). Management of groundwater resources in Mehran plain in Ilam by determining its volume and rate of exploitation. *Two quarterly journal of urban ecology research*, 4 (7), 97-106.
- Khaleghzade, K. (1999). Computer model of water resources of Zarrinehrood plain with the help of MODFLOW computer code. Master of science thesis, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran.
- Kouchakzadeh, M.H., and Nasiri Saleh, F. (2014). Evaluation of the efficiency of using surface water simulation results to improve the accuracy of groundwater simulation. *Modares civil engineering*, 14 (3), 129-138.
- Mittelstet, A.R., Smolen, M.D., Fox G.A. and Adams D.C. (2011). Comparison of aquifer sustainability under groundwater administrations in Oklahoma and Texas. *The American Water Resources Association*, 47 (2), 424-431.
- Mohamed, M., Al-Suwaidi, N., Abdelazim, E., and Al Mulla, M. (2016). Groundwater modeling as a precursor tool for water resources sustainability in Khatt area. *Environmental Earth Science*, 75, 400-418.
- Nameless, 2016a. Executive solutions of 40% reduction in agricultural water use in the

- zarrinehrood and siminehrood basins (Study area of Saeinghaleh and Miandoab). Current status report and irrigation improvement program (Study area of Miandoab). Urmia lake rescue task force, Ministry of Power. (In Farsi)
- Nameless, 2016b. Executive solutions of 40% reduction in agricultural water use in the zarrinehrood and siminehrood basins (The study area of Saeinghaleh and Miandoab). Current agricultural status report and proposed program (Study area of Miandoab). Urmia lake rescue task force, Ministry of Power. (In Farsi)
- Niswonger, R.G., Panday, S., and Ibaraki, M. (2011). MODFLOW-NWT, A Newton Formulation for MODFLOW-2005: U.S. Geological Survey Techniques and methods.6-A37, 44p.
- Omidinia, T., Mirabbasi, R., and Tabatabaei, S.H. (2016). Investigation of fluctuations in ground water level in Borkhar plain of Isfahan using the GMS software. In: *Proceedings of 3th International conference on research in science and technology*, 9 July, Berlin, Germany.
- Parhizkar, S., Ajdary, Kh., Kazemi, Gh., and Emamgholizadeh, S. (2015). Predicting water level drawdown and assessment of land subsidence in Damghan aquifer by combining GMS and GEP models, *Geopersia*, 5, 63-80. (In Farsi)
- Pourseyadi, A., and Kashkuli, H.A. (2012). Studying of groundwater conditions in Jiroft basin with modflow. *Scientific journal of agriculture , Irrigation sciences and engineering*, 35 (2), 51-63. (In Farsi)
- Ronayne, M.J., Roudebush, J.A., and Stednick, J.D. (2017). Analysis of managed aquifer recharge for retiming streamflow in an alluvial river. *Hydrology*, 544 (2017) 373–382.
- Shahabifard, F. (2003). The effects of water pumping rate from Iranshahr aquifer on Bampour river base flow. Master of science thesis, University of Sistan and Baluchestan, Iran.
- Sishodia, R.P., Shukla, S., Graham, W.D., Wani, S.P., Jones J.W., and Heaney, J. (2017). Current and future groundwater withdrawals: effects, management and energy policy options for a semi-arid Indian watershed. *Water Resources*, doi: 10.1016/j.advwatres.2017.05.014.
- Taheri Tizro, A., and Kamali, M. (2017). Groundwater modeling by MODFLOW model in Toyserkan aquifer and evaluation of hydrogeological state under present and future conditions. *Water resources engineering*, 31 (9), 45-60. (In Farsi)
- Wu, B., Zheng, Y., Wu, X., Tian, y., Han, F., Liu, J. and Zheng, Ch. (2015). Optimizing water resources management in large river basins with integrated surface water-groundwater modeling: A surrogate-based approach. *AGU Publications*, 51 (4), 2153–2173.
- Yang F.G., Cao, S.Y., Liu X.N., and Yang K.J. (2008). Design of groundwater level monitoring network with ordinary kriging. *Hydrodynamics*, 20 (3), 339-346.
- Yanxun S., Yuan F., Hui Q., and Xuedi Zh. (2011). Research and application of groundwater numerical simulation-a case study in balasu water source. *procedia environmental sciences*, 8, 146-152.
- Zekri, S., Madani, K., Bazargan-Lari, M.R., Kotagama, H., and Kalbus, E. (2017) Feasibility of adopting smart water meters in aquifer management: An integrated hydro-economic analysis. *Agricultural Water Management*, 181, 85–93.