

## بررسی تأثیر افزایش راندمان آبیاری بر میزان تبخیر و تعرق از سفره آب زیرزمینی - مطالعه موردی دشت زرینه رود

الهام یاری پیلمبرایی<sup>۱\*</sup> و رضا دادمهر<sup>۲</sup>

### چکیده

برای استفاده بهینه از منابع آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، تهیه مدل شبیه‌ساز از طریق اطلاعات موجود، در جهت شناخت پارامترهای مؤثر در سیستم منابع آب زیرزمینی مفید است. در پژوهش حاضر، به دلیل سطوح بالای آب زیرزمینی در دشت زرینه‌رود در استان آذربایجان غربی، تعامل شبکه آبیاری و زهکشی زرینه‌رود با منابع آب زیرزمینی دشت بررسی شد. تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت با لحاظ محدوده فعال شبکه آبیاری و زهکشی که یک منطقه تغذیه‌ای در گستره دشت، با استفاده از مدل عددی MODFLOW شبیه‌سازی شد و تأثیر افزایش راندمان آبیاری در شبکه بررسی شد. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل حاکی از قابلیت مدل پیشنهادی برای سنجش رفتاری منابع آب زیرزمینی دشت زرینه‌رود است. به طوری که خطای تخمین عمق آب زیرزمینی کمتر از ۱/۶۹ درصد است. بدین ترتیب، پس از حصول بیان آب برای مدل اعتبارسنجی شده، سناریوی افزایش راندمان آبیاری در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی به میزان ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصد لحاظ شد. نتایج مدل نشانگر افت سطح آب زیرزمینی دشت زرینه‌رود به ترتیب در حدود ۰/۵، ۱/۲۰ و ۲ متر می‌باشد. همچنین با اعمال سناریوی افزایش راندمان، تبخیر و تعرق به ترتیب در حدود ۱۲، ۳۰ و ۳۹ درصد کاهش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** منابع آب زیرزمینی، MODFLOW، راندمان آبیاری، تبخیر و تعرق.

**ارجاع:** یاری پیلمبرایی ا و دادمهر ر. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر افزایش راندمان آبیاری بر میزان تبخیر و تعرق از سفره آب زیرزمینی - مطالعه موردی دشت زرینه‌رود. مجله پژوهش آب ایران.

۱- کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی - عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

\* نویسنده مسئول: [Elham.Yari@yahoo.com](mailto:Elham.Yari@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۳/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۹/۱۲

بررسی تأثیر افزایش راندمان آبیاری بر میزان تبخیر و تعرق از سفره آب زیرزمینی...

## مقدمه

مسأله کلیدی در توسعه پایدار منابع آب زیرزمینی، مدیریت علمی آن است. این امر نیازمند ارزیابی مناسب منابع موجود و فهم رفتار سیستم و ارتباط متقابل آب سطحی و زیرزمینی است. در این راستا، مدل‌سازی آب زیرزمینی یکی از ابزارهای مورد استفاده در علوم هیدروژئولوژی برای ارزیابی و پیش‌بینی تأثیرات آینده تحت تنش‌های مختلف و تصمیم‌گیری‌های آتی است.

شاکي و آدلوی (۲۰۰۷) مدل کامپیوتری دشت ایروان را در کشور لیبی با استفاده از کُد MODFLOW ارائه دادند. نتایج نشان داد، در شرایطی که روش‌های کشاورزی و آبیاری فعلی در دشت وجود دارد، سطح آب در مرکز منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۳۳ در ۴۷۰ متری از سطح آزاد دریا حفظ می‌شود.

برای مدیریت آب‌های زیرزمینی کم‌عمق در نواحی یومای و آریزونا از یک مدل عددی استفاده شد (هیل، ۱۹۹۶). هدف مدل، کمک به نمایندگی‌های محلی در ارزیابی گزینه‌های مؤثر مدیریت آب برای حل مشکلات ناشی از تراز بالای آب‌های زیرزمینی بود.

مدل یک بُعدی Agro-Hydrological خاک-آب-اتمسفر-گیاه (SWAP) همراه با داده‌های موجود در ارگان‌های دولتی کنار هم قرار داده شده و در یک سیستم اطلاعات گرافیکی ادغام گردیدند (آنوراگا و همکاران، ۲۰۰۶). مدل در زیرحوضه بتاماگالای هند آزمایش شد. نتایج نشان داد که روش‌های جاری کشاورزی، منجر به تغذیه آب زیرزمینی تا ۷۰ میلی‌متر در سال می‌شود.

اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه شده در منطقه سیدی آید در تونس بر سفره آب زیرزمینی بررسی شد و شوری آب زیرزمینی ارزیابی شد. نقشه ارزیابی پیزومتریک، به طور کلی صعود در سطح پیزومتریک را در مجاورت ناحیه آبیاری نشان می‌دهد (بوری و همکاران، ۲۰۰۷). میزان تأثیر آبیاری بر تغذیه آب زیرزمینی و میزان افزایش در شدت نفوذ عمقی در اثر آبیاری محصول پنبه در ۴ نوع خاک در دره مک‌کواری در ایالت نیوساوت‌ولز استرالیا را بررسی شد. نتایج نشان داد که توسعه سطح ایستابی کم‌عمق مربوط به تغذیه در اثر زراعت آبی است (ویلیس و بلاک، ۱۹۹۶).

اثرات آبیاری بر آب زیرزمینی کم‌عمق در استان شرقی عربستان سعودی را بررسی کردند و برای پایین انداختن سطح ایستابی سیستم زهکشی پیشنهاد کردند (ولید عبدالرحمان و همکاران، ۲۰۰۰). چپو و مک‌ماهان (۱۹۹۲) میزان تغذیه آب زیرزمینی در اثر بارندگی و آبیاری در حوضه رودخانه کمپاسپ در جنوب‌شرقی استرالیا را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که بارندگی در مناطق تحت آبیاری سهم بیشتری در تغذیه مناطق خشک را دارد.

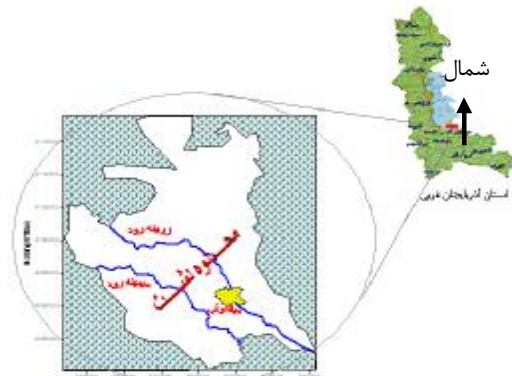
دادمهر (۱۹۹۶) در حوضه مک‌کواری در ایالت نیوساوت ولز استرالیا، عکس‌العمل بار هیدرولیکی آب زیرزمینی در نقاط مختلف منطقه بر اثر سناریوهای متفاوت اعمال شده، در بلندمدت را سنجیده و از طریق تخصیص کمی آب سطحی و زیرسطحی برای هر سلول در زمان و مکان، روند مدیریتی در منطقه را پیشنهاد کردند.

ارتباط مکانی بین پوشش گیاهی و تخلیه آب زیرزمینی برای آبیاری یک دشت سیلابی نیمه خشک در استرالیا به وسیله MODFLOW-2000 مدل‌سازی شد. توزیع مکانی پوشش گیاهی بالاترین همبستگی را با الگوهای تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی دارد (دوبل و همکاران، ۲۰۰۶).

مدل عددی آب زیرزمینی MODFLOW در یک منطقه مطالعاتی ۶۰۰ هکتاری در یک دشت رسوبی در طول رودخانه چیکوگو در جنوب شرقی ژاپن توسعه داده شد (آنان و همکاران، ۲۰۰۷). برای کمیت‌دهی این اثرات، سطح آب زیرزمینی در طول دوره آبیاری در هنگامی که تمام مزارع کشاورزی در منطقه مورد مطالعه به صورت حوضچه بودند، شبیه‌سازی شد. در این موقعیت، سطح آب زیرزمینی ۰/۵ تا ۱ متر بالاتر بود، ذخیره آب زیرزمینی ۲۰٪ بزرگتر است و جریان برگشتی آب زیرزمینی به رودخانه ۵۰٪ بیشتر از شرایط کنونی کاربری اراضی است.

برای مطالعه آبخوان و بهره‌برداری بهینه از آب زیرزمینی دشت مهیار شمالی، تغییرات سطح ایستابی با مدل کامپیوتری MODFLOW شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که سطح آب در تمام بخش‌های دشت همواره در حالت افت بوده و میزان بالا آمدگی آن در دوره‌های تر

دریاچه ارومیه است. حداکثر مقدار شیب هیدرولیکی برابر ۵ در هزار در قسمت شمالی دشت و حداقل آن برابر ۰/۴۵ در هزار و مربوط به نواحی خروجی می‌باشد. عمده-ترین منابع آب‌های سطحی دشت، رودخانه‌های زرينه‌رود و سيمينه‌رود هستند که پس از مشروب ساختن اراضی دشت مزبور، به دریاچه ارومیه می‌ریزند. روش‌های آبیاری پیشنهادی طرح در اراضی تا شیب ۳ درصد با توجه به نوع محصول بصورت یکی از روش‌های ردیفی، کرتی، جوی و پشته‌ای توصیه می‌شود و برای اراضی با شیب بیش از ۳ درصد به صورت شیاری یا جوی و پشته با استقرار شیارها و جوی‌ها در جهت تقریباً عمود بر شیب پیشنهاد می‌شود (شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۷۸).



شکل ۱- محدوده جغرافیایی دشت مورد مطالعه

#### اعتبارسنجی جدید مدل

در این مطالعه، ابتدا کلیه اطلاعات مورد نیاز موجود در دشت از قبیل اطلاعات رقوم سطح زمین، مقادیر بارش، تبخیر و تعرق، مقادیر برداشت از چاه‌های بهره‌برداری، مقاطع چاه‌های اکتشافی، اطلاعات رودخانه‌ای، اطلاعات مربوط به آبیاری و زمین‌شناسی دشت جمع‌آوری و تحلیل شد. سپس محدوده مورد مطالعه دشت تا حد مرزهای غیر قابل نفوذ انتخاب شد.

در ساخت مدل از گام‌های زمانی یک روزه و دوره‌های زمانی تنش یک ماهه استفاده شد. در این ارتباط، منطقه مورد مطالعه به  $78 \times 68$  (تعداد ردیف در تعداد ستون) مربع به ابعاد  $500 \times 500$  متر تقسیم شد. منطقه مدل شامل  $5304$  شبکه است که تعداد  $2821$  شبکه در داخل محدوده است و به نام شبکه‌های فعال و  $2483$  شبکه

همواره کمتر از میزان پایین افتادگی آن در دوره‌های خشک است (آیتی، ۱۳۸۶).

در مطالعه‌ای مدل ریاضی و مدیریتی سفره آب زیرزمینی دشت دامنه فریدن اصفهان شبیه‌سازی گردید. براساس نتایج بدست آمده در صورت عدم تغذیه آبخوان، صدور پروانه چاه در نواحی شمالی و حفر چاه شمال غربی دشت، آبخوان را با خطر افت سطح آب روبه‌رو خواهد کرد (طباطبایی، ۱۳۷۷).

یاری و دادمهر (۱۳۸۸) با افزایش ۵۰ درصدی راندمان آبیاری در سطح شبکه آبیاری و زهکشی میاندوآب، مشاهده نمودند که سطح ایستابی حدود ۲ متر در سطح دشت افت می‌کند، همچنین مؤلفه تبخیر و تعرق در اثر اعمال این سناریو ۳۹ درصد کاهش یافت.

در مطالعه حاضر با در نظر گرفتن شبکه آبیاری و زهکشی زرينه‌رود به عنوان یک منطقه تغذیه‌ای و تخلیه‌ای مجزا در گستره دشت، با استفاده از بسته‌های مختلف کد کامپیوتری مادفلو، تأثیر آبیاری صورت گرفته در شبکه بر منابع آب زیرزمینی دشت مورد تحقیق قرار می‌گیرد. بنابراین، اهداف مطالعه حاضر عبارتند از: اعتبارسنجی جدید مدل آب زیرزمینی دشت زرينه‌رود و بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی و تبخیر و تعرق از سفره آب زیرزمینی، از طریق اعمال سناریوی افزایش راندمان آبیاری در اراضی کنونی دشت.

#### مواد و روش‌ها

طرح زرينه‌رود (شکل ۱)، در استان آذربایجان غربی واقع در شمال غربی ایران، بین عرض‌های جغرافیایی  $36^{\circ}50'$  تا  $37^{\circ}15'$  شمالی و طول‌های جغرافیایی  $45^{\circ}50'$  تا  $46^{\circ}15'$  شرقی قرار گرفته است. دشت زرينه‌رود، دشتی هموار می‌باشد که فقط تعدادی تپه کوچک در مرکز آن وجود دارد و با شیب ملایمی به دریاچه ارومیه ختم می‌شود. میزان متوسط نزولات سالیانه در دشت مذکور معادل  $296$  میلی‌متر و متوسط دمای منطقه  $11/8^{\circ}C$  گزارش شده است. روند کلی جهت جریان آب زیرزمینی با توپوگرافی منطقه هماهنگ بوده به طوری که شیب هیدرولیکی از ارتفاعات شرقی و شمالی و همچنین جنوب شرقی به طرف مرکز و غرب دشت و نهایتاً با شیب ملایم به طرف

با توجه به آمارهای موجود، راندمان کل آبیاری در سطح شبکه آبیاری و زهکشی زرینه رود کم است (۴۸ درصد) و این تلفات علاوه بر هدررفت آب، در دراز مدت باعث بروز مشکلاتی از قبیل شوری و ماندابی می شود (شواهد تاریخی در مناطق بین‌النهرین و خوزستان این ادعا را تأیید می کند). برای جلوگیری از هدررفت آب و استفاده درست و بهینه از آن و همچنین حفظ منابع آب و خاک منطقه برای نسل‌های آینده، افزایش انواع راندمان‌های آبیاری (انتقال، توزیع و کاربرد) در سطح شبکه آبیاری و زهکشی زرینه رود به وسیله بهبود وضعیت فیزیکی شبکه، انجام عملیات تسطیح در سطح اراضی، ترویج الگوی کشت مناسب، اجرای صحیح روش‌های آبیاری موجود و اصلاح و مدرنیزه کردن این روش‌ها ضروری به نظر می‌رسد (شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۷۸). در این راستا، افزایش راندمان آبیاری در سطح شبکه آبیاری و زهکشی به ترتیب به میزان ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصد در نظر گرفته شد. برای اعمال این سناریوها از بخش تغذیه در حالت طراحی در پیش‌پردازنده MODEL CAD، استفاده شد. در این بخش که به صورت گرافیکی است، شدت تغذیه در ناحیه تغذیه‌ای داخل شبکه آبیاری و زهکشی به ترتیب به میزان ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصد کاهش یافت و بسته تغذیه در هر بار دوباره تولید شد (با این کار، افزایش راندمان آبیاری در سطح شبکه اعمال شد). در پوشه مدل صحت‌سنجی شده، بسته تغذیه جدید جایگزین بسته قدیمی تغذیه شد و یک بار دیگر مدل اجرا گردید. پس از اجرای مدل، مقادیر تغییرات ناشی از اعمال سناریوی افزایش راندمان در میزان تبخیر و تعرق بیلان سالانه منطقه بررسی شد.

#### معیارهای اعتبارسنجی مدل

مبنای اصلی تنظیم مدل، آمار سطح آب در چاه‌های پیژومتری می‌باشد که پیش‌بینی می‌شود در هر آمارگیری اطلاعات مربوط به سطح آب زیرزمینی صحیح باشد. بنابراین واسنجی مدل بر اساس مقایسه سطوح ایستابی مشاهده شده و محاسبه شده توسط مدل، اجرا می‌شود. برای مقایسه از سه روش می‌توان استفاده کرد. روش اول، مقایسه به کمک خطوط تراز و روش دوم، مقایسه به کمک هیدروگراف چاه‌های پیژومتری است. روش مقایسه

خارج از محدوده و جزء شبکه‌های غیرفعال می‌باشند. سپس با استفاده از نرم‌افزار SURFER و پیش‌پردازنده MODEL CAD برای هر یک از شبکه‌های مربعی مقادیر پارامترها تخصیص داده شد و بسته‌های نرم‌افزاری توپوگرافی، رقوم سنگ کف، ضریب هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه، رقوم اولیه سطح آب، تغذیه و تبخیر و تعرق تولید شدند و اطلاعات مربوط به رودخانه‌ها و چاه‌های بهره‌برداری به مدل معرفی گشتند. پس از تولید بسته‌های نرم‌افزاری مورد نیاز و با استفاده از سطح آب اولیه به عنوان شرایط اولیه، مدل با گام‌های زمانی یک روزه برای ماه‌های متوالی اجرا و هیدروگراف‌ها و منحنی‌های هم‌تراز سطح ایستابی محاسبه شده توسط مدل با هیدروگراف‌ها و منحنی‌های هم‌تراز به دست آمده از اندازه‌گیری‌های موجود در منطقه از طریق چاه‌های مشاهده‌ای، در انتهای هر دوره تنش یک ماهه مقایسه گردیدند. سپس، مدل از طریق روش آزمون و خطا برای دوره زمانی تنش اول، با تصحیح مشخصات هیدرودینامیک سفره (ضریب هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه) برای سال آبی ۷۲-۱۳۷۰ واسنجی گردید. برای دوره‌های زمانی تنش بعدی با تغییر دادن سایر پارامترهای مربوط به تغذیه و تخلیه در حد مجاز، اعتبار مدل برای سال‌های ۸۰-۱۳۷۹ و سپس ۸۶-۱۳۸۵ مورد سنجش قرار گرفت. بدین منظور از ۳۰ حلقه چاه مشاهداتی فعال در منطقه که سطح آب زیرزمینی را به طور منظم و به صورت ماهانه نشان می‌دهند، استفاده گردید. همچنین، هیدروگراف‌های حاصل از اجرای مدل با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای در دوره زمانی تنش مربوطه، در طول دوره صحت‌سنجی مدل، مورد مقایسه قرار گرفتند. اختلاف تراز مشاهداتی و محاسباتی به عنوان معیار حداکثر خطای قابل قبول برابر با ۵ درصد ضخامت آبرفت سفره آزاد در محل هر یک از چاه‌های نمونه در نظر گرفته شد. (چاه‌های بهره‌برداری و نمونه در تمام منطقه پراکنده‌اند- مصرف آب چاه‌ها برای آبیاری اراضی دشت است- عمق چاه‌ها متفاوت است و سطح ایستابی محاسباتی هر چاه با سطح ایستابی مشاهده‌ای همان چاه مقایسه می‌شود).

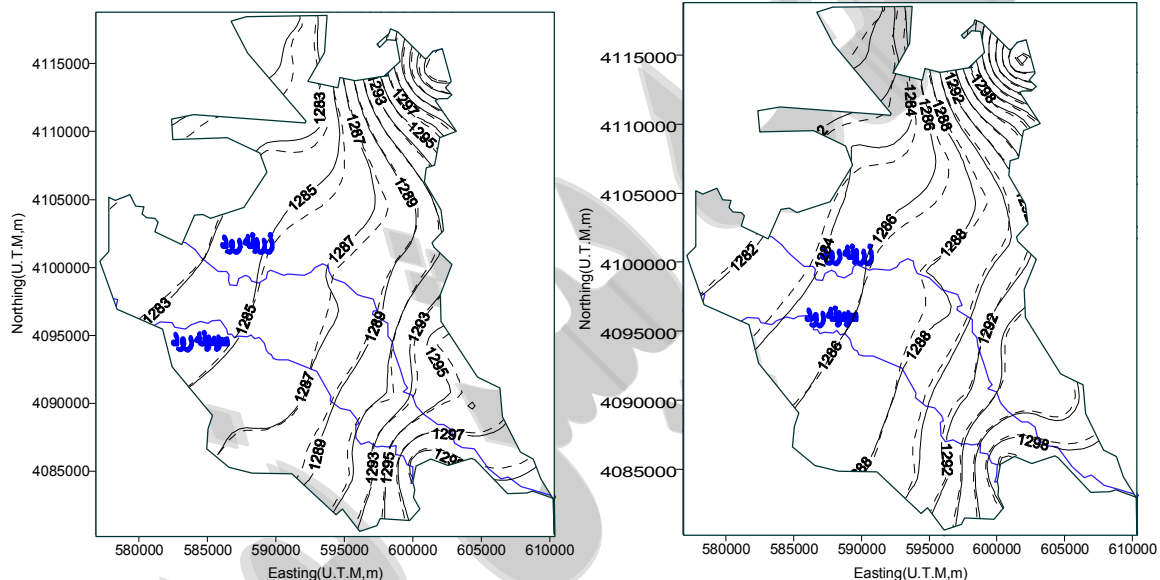
#### سناریوی افزایش راندمان آبیاری

می‌باشند که ناشی از تراز یابی هستند. بنابراین از این نقشه‌ها نباید به عنوان تنها اثبات واسنجی استفاده کرد. این نقشه‌ها خطوط تراز بارهای هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی را برای تک تک دوره‌های نظیرسازی نشان می‌دهند. سیستم مختصاتی مورد استفاده در ترسیم این نقشه‌ها سیستم UTM می‌باشد. نتایج حاصله از ارزیابی کیفی نقشه‌ها، نشانگر تطابق خوب بین مقادیر محاسباتی و مشاهداتی است. برای نمونه، در شکل ۲، منحنی‌های هم‌تراز سطح آب زیرزمینی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دو ماه بهمن ۱۳۸۵ و فروردین ۱۳۸۶ نشان داده شده‌اند.

هیدروگراف‌ها از روش خطوط تراز دقیقتر است، اما لازمه آن حجم عملیات بیشتری است. روش سوم نیز محاسبه درصد خطای رقوم محاسبه شده توسط مدل در انتهای هر دوره تنش برای هر پیژومتر است.

## نتایج و بحث

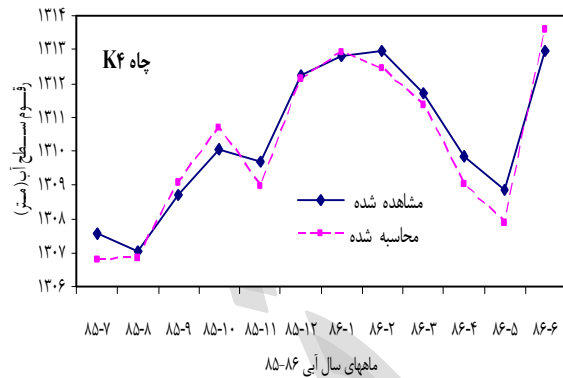
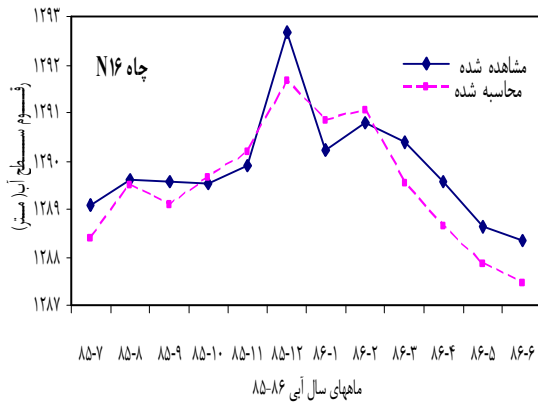
الف: مقایسه سطح ایستابی مشاهداتی و محاسباتی به کمک خطوط تراز: مقایسه بین نقشه‌های خطوط تراز مشاهداتی و محاسباتی بارهای هیدرولیکی یک معیار کیفی و مصور از تشابه بین الگوها است. به هر حال نقشه‌های خطوط تراز داده‌های صحرایی دارای خطاهایی



شکل ۲- مقایسه منحنی‌های هم‌تراز سطح آب زیرزمینی مشاهداتی (خط پُر) و شبیه‌سازی شده (خط چین) در بهمن ۱۳۸۵ (شکل اول) و فروردین ۱۳۸۶ (شکل دوم)

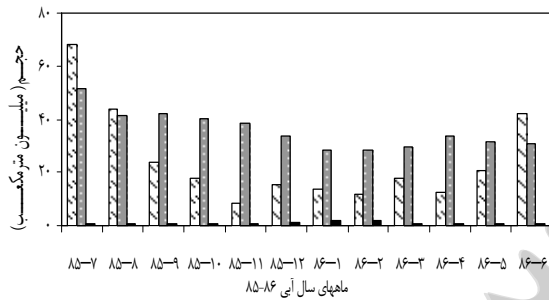
متر در چاه L۵ در آبان ماه سال ۱۳۸۵ می‌باشد (ضخامت آبخوان در محل این چاه ۱۱۳/۷ متر می‌باشد). به طور میانگین قدرمطلق بیشترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی سطح آب برابر ۰/۸۴ متر است که نشان می‌دهد مشابهت روند تغییرات هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی در کل چاه‌ها خیلی خوب بوده است. مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی در حالت صحت-سنجی مدل، برای دو چاه نمونه در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ در شکل ۳ ارائه شده است.

ب: مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی چاه‌های پیژومتری: در این، روش تغییرات رقوم سطح آب زیرزمینی محاسبه شده و مشاهده شده در چاه‌های پیژومتری در طول زمان ترسیم شدند. بدین ترتیب هیدروگراف‌های مشاهده شده و محاسبه شده هر پیژومتر به دست آمد. با مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی در حالت صحت‌سنجی مدل، ملاحظه می‌شود که مقادیر بار هیدرولیکی در اکثر دوره‌های زمانی برای کلیه چاه‌ها بسیار به هم نزدیکند. به طوری که بیشترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی برابر با ۱/۹۲



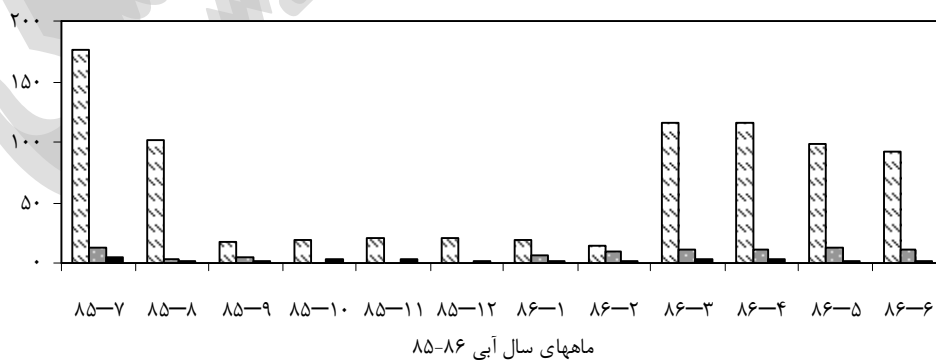
شکل ۳- مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی در حالت صحت‌سنجی، برای چاه‌های K4 و N16 در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵

سه‌م بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۴).



شکل ۴- بیان مدلی، مقادیر تغذیه به منابع آب زیرزمینی دشت زرينه‌رود در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵

تخلیه سیستم منابع آب زیرزمینی دشت زرينه‌رود، بیشتر از طریق پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداري صورت می‌پذیرد (شکل ۵).



شکل ۵- بیان مدلی، مقادیر تخلیه از منابع آب زیرزمینی دشت زرينه‌رود در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵

ج: خطای برآورد نسبت به ضخامت آبخوان: در صورتی که درصد خطای سطح ایستابی محاسبه شده را به صورت درصد اختلاف بین سطح ایستابی مشاهده شده و محاسبه شده نسبت به ضخامت لایه آبدار تعریف کنیم، می‌توان درصد خطای رقوم محاسبه شده توسط مدل در انتهای هر دوره تنش را برای هر پیزومتر محاسبه کرد. حداکثر خطا در طول دوره صحت‌سنجی برابر ۱/۶۹ درصد است.

بدین ترتیب پس از انجام مقایسات می‌توان نتیجه گرفت که مدل برای محدوده منطقه مورد مطالعه در طول دوره صحت‌سنجی به خوبی و انسجی شده است.

به طور کلی نتایج زیر از بیان سیستم مدلی منابع آب دشت زرينه‌رود ارائه می‌شود:

- تغذیه سیستم منابع آب زیرزمینی دشت زرينه‌رود، بیشتر از طریق تغذیه سطحی و مرزهای سیستم صورت می‌گیرد. در این میان تغذیه سطحی از طریق آب آبیاری

نواحی مرکزی و خروجی دشت (۰/۴۵ متر) و حداکثر آن در نواحی جنوب شرقی و شمال شرقی دشت (۱۳/۹۱ متر) است. - اختلاف بین مقادیر کل تغذیه آب زیرزمینی دشت زرينه رود از طریق عوامل تغذیه سفره و مقادیر کل تخلیه سفره آب زیرزمینی این دشت از طریق عوامل تخلیه، در طول دوره‌های واسنجی، صحت‌سنجی و اعمال سناریوها کم است و این حاکی از این است که منابع آب زیرزمینی دشت زرينه رود در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ تقریباً در یک حالت تعادلی بوده است (جدول ۱).

- تغذیه سطحی منابع آب زیرزمینی دشت در دوره شبیه‌سازی تقریباً ثابت است. مقدار این مؤلفه در شش ماه اول کمی بیشتر از شش ماه دوم است. - محدوده زمانی بین ماه‌های خرداد تا آبان، محدوده‌ای است که در آن آثار تخلیه چاه‌های مورد بهره‌برداری در سیستم از طریق پمپاژ صورت می‌گیرد، بیش از سایر ماه‌ها است. - جهت جریان آب زیرزمینی در بیشتر نقاط خصوصاً در نواحی شمالی دشت، منطبق با توپوگرافی محل و به طرف دریاچه ارومیه است. حداقل عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی در

جدول ۱- مقادیر ورودی و خروجی از منابع آب زیرزمینی دشت زرينه رود در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ (میلیون متر مکعب)

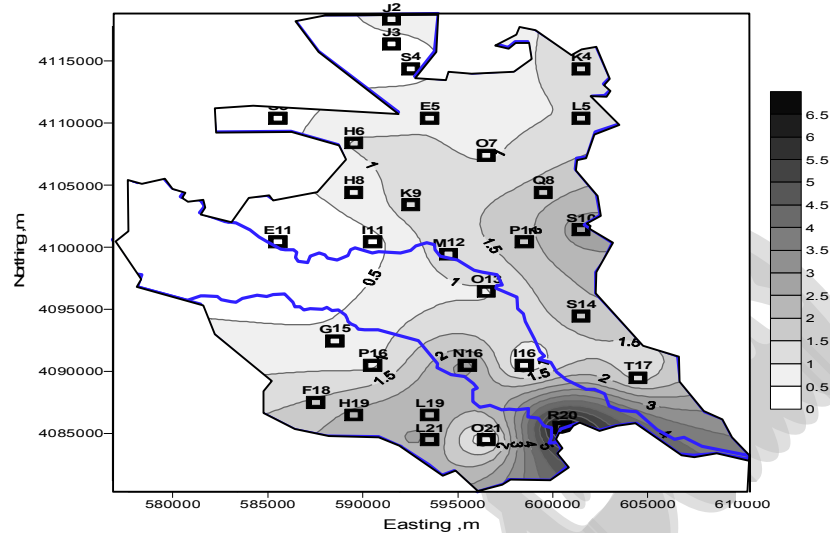
مقادیر تغذیه و تخلیه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
ذخیره	۱۴۹/۴۷	۶۲/۹۹	۱۳/۹	۶/۷۱	۷/۰۲	۴/۶۵	۷/۵۶	۷/۰۹	۹۰/۴۴	۸۷/۰۳	۶۸/۹۵	۵۰/۲۵
تغذیه از طریق مرزها	۶۷/۹۳۸	۴۳/۶۲۲	۲۳/۹۸	۱۷/۸۸	۸/۳۲	۱۵/۵۳	۱۳/۷۶	۱۲/۱	۱۷/۵۴	۱۲/۵۱	۲۰/۶۷	۴۱/۹۷
تغذیه از طریق آبیاری	۵۱/۲۸۷	۹۲/۹۱	۴۲/۱۶۹	۴۰/۵۷	۳۸/۶۵	۳۳/۹۲	۲۸/۶۴	۲۸/۲۵	۲۹/۴۲	۳۳/۷۶	۳۱/۶۵	۳۰/۶۳
تغذیه از طریق رودخانه	۰/۳۶۹	۰/۶۱۰	۰/۸۴۵	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۹۴	۱/۸۸	۱/۶۹۸	۰/۷۹۹	۰/۴۴۵	۰/۴۸۵	۰/۴۶۳
مقادیر کل تغذیه به آب زیرزمینی	۲۶۹/۰۶	۱۴۸/۸۵	۸۰/۹	۶۵/۷۹	۵۴/۶۹	۵۵/۰۵	۵۱/۸۳	۴۹/۱۴	۱۳۸/۲	۱۳۳/۷۹	۱۲۱/۷	۱۲۳/۳
ذخیره	۸۳/۸۹۲	۴۲/۷۲۸	۵۸/۰۱	۴۴/۰۸	۳۱/۵۸	۳۲/۶۴	۲۵/۸۳	۲۴/۱۶	۸/۸۹	۳/۶	۸/۷۲	۱۸/۱۳
تخلیه از طریق چاه‌ها	۱۷۶/۷۷	۱۰۱/۳۹	۱۶/۷۹	۱۹/۲۱	۲۰/۶۳	۲۰/۰۳	۱۸/۵۹	۱۳/۸	۱۱۵/۰۸	۱۱۵/۳۱	۹۷/۷۶	۹۱/۸۸
تخلیه از طریق تبخیر و تعرق	۱۳/۰۹۴	۲/۸۹۳	۴/۲۰۷	۰	۰	۰	۵/۷۲۵	۹/۳۷۳	۱۱/۰۶	۱۱/۸۴۹	۱۳/۰۶۶	۱۱/۳۷۴
تخلیه از طریق رودخانه	۵/۲۹۸	۱/۸۲۸	۱/۸۸۱	۲/۵۱۷	۲/۴۹۶	۲/۳۶۵	۱/۶۸۵	۱/۷۹۹	۳/۱۶۵	۲/۹۸۶	۲/۱۹۷	۱/۹۱۶
مقادیر کل تغذیه از سفره آب زیرزمینی	۲۶۹/۰۵	۱۴۸/۸۴	۸۰/۹	۶۵/۸	۵۴/۷	۵۵/۰۴	۵۱/۸۳	۴۹/۱۲	۱۳۸/۲۱	۱۳۳/۷۱	۱۲۱/۸	۱۲۳/۳

با کاهش در مؤلفه تغذیه، سطح ایستابی پیش‌بینی شده افت می‌کند. به طوری که با کاهش ۱۰ درصدی مقدار تغذیه، سطح ایستابی پیش‌بینی شده در حدود ۰/۵ متر، با کاهش

اعمال سناریوی افزایش راندمان آبیاری باعث تغییر در مؤلفه‌های ورودی و خروجی سیستم منابع آب زیرزمینی دشت زرينه رود می‌شود. همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد،

جنوب شرقی و شرق دشت بیشتر می‌باشد و در غرب و نواحی خروجی دشت به طرف دریاچه ارومیه، مقدار افت بسیار ناچیز است (شکل ۶).

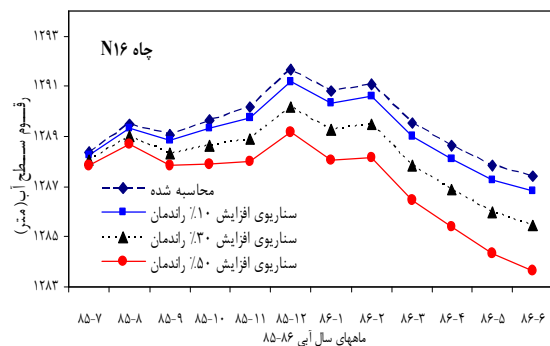
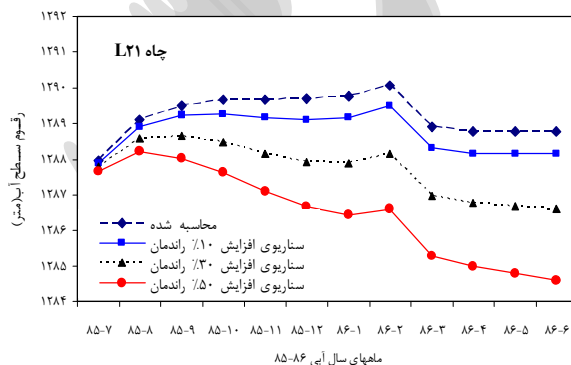
۳۰ درصدی تغذیه، سطح ایستابی حدود ۱/۲۰ متر و با کاهش ۵۰ درصدی، سطح ایستابی به طور متوسط در حدود ۰/۲ متر افت کرد، که مقدار افت در قسمت‌های جنوب،



شکل ۶ - متوسط افت ماهانه در چاه‌های نماینده (□) در اثر اعمال سناریوی افزایش ۵۰ درصدی راندمان آبیاری

راندمان آبیاری از ۱۰ تا ۶۰ درصد در سطح شبکه آبیاری و زهکشی دشت خوی در شمال غربی ایران، با استفاده از مدل مادفلو، مشاهده کرد به ترتیب تبخیر و تعرق تا عمق مؤثر ۲ متر، به میزان ۰/۳۱ تا ۱/۶۰ درصد کاهش یافت. همچنین نصری (۱۳۸۶) با افزایش ۵۰ درصدی راندمان آبیاری در سطح شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد، مشاهده کرد که سطح ایستابی به طور متوسط ۶/۴ متر در سطح دشت افت می‌کند، همچنین، مؤلفه تبخیر و تعرق در اثر اعمال این سناریو کاهش یافت.

همچنین در بخش مؤلفه‌های خروجی، تبخیر و تعرق را کاهش یافت. به طوری که با افزایش ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصد راندمان، تبخیر و تعرق به اندازه ۱۲، ۳۰ و ۳۹ درصد کاهش داشت. در شکل ۷، نمونه هیدروگراف‌های مقایسه سطح ایستابی در اثر اعمال سناریو با سطح ایستابی مشاهده شده برای دوره شبیه سازی ۸۶-۱۳۸۵ در دو چاه ارائه شده است. نایب لویی و نصری نیز به نتایجی مشابه با این تحقیق دست یافتند. نایب لویی (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای در اثر افزایش



شکل ۷ - بار هیدرولیکی پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر محاسباتی در اثر اعمال سناریوی افزایش راندمان برای چاه‌های L21 و N16 در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵



جدول ۲- متوسط افت در چاه‌های نماینده در اثر سناریوی افزایش ۱۰، ۳۰ و ۵۰٪ راندمان آبیاری

نام چاه	متوسط افت در اثر سناریوی افزایش ۱۰٪ راندمان	متوسط افت در اثر سناریوی افزایش ۳۰٪ راندمان	متوسط افت در اثر سناریوی افزایش ۵۰٪ راندمان
J۲	۰/۹۹	۱/۸۷	۲/۹۵
J۳	۱/۵۸	۲/۳۵	۳/۱۲
K۴	۰/۲۱	۰/۶۳	۱/۰۳
S۴	۰/۹۴	۱/۴۳	۲/۴۶
E۵	۱/۰۳	۱/۶۴	۲/۷۸
L۵	۰/۲۰	۰/۶۱	۱/۰۴
S۵	۰/۰۹	۰/۲۷	۰/۴۵
H۶	۰/۰۸	۰/۲۶	۰/۴۵
O۷	۰/۱۱	۰/۳۴	۰/۵۶
H۸	۰/۰۹	۰/۲۹	۰/۴۹
Q۸	۰/۲۵	۰/۷۵	۱/۲۵
K۹	۰/۱۲	۰/۳۵	۰/۵۹
S۱۰	۰/۶۴	۱/۹۸	۳/۳۷
E۱۱	۰/۹۸	۱/۱۵	۳/۱۲
I۱۲	۰/۷۴	۱/۴۸	۲/۸۹
P۱۱	۰/۲۸	۰/۸۸	۱/۴۹
M۱۲	۰/۱۳	۰/۴۰	۰/۶۹
O۱۳	۰/۱۸	۰/۵۸	۱/۰۱
S۱۴	۰/۲۳	۰/۷۱	۱/۲۶
G۱۵	۰/۱۳	۰/۴۱	۰/۶۹
I۱۶	۰/۱۰	۰/۳۲	۰/۵۳
N۱۶	۰/۴۱	۱/۳۱	۲/۳۶
P۱۶	۰/۱۷	۰/۵۰	۰/۸۴
T۱۷	۰/۲۷	۰/۸۹	۱/۶۴
F۱۸	۰/۲۰	۰/۸۶	۱/۶۰
H۱۹	۰/۳۳	۱/۱۹	۲/۲۱
L۱۹	۰/۴۷	۱/۵۲	۲/۷۴
R۲۰	۱/۲۹	۳/۹۵	۷/۲۴
L۲۱	۰/۴۷	۱/۵۱	۲/۷۲
O۲۱	۰/۱۱	۰/۴۰	۰/۷۴
متوسط	۰/۴۳	۱/۰۳	۱/۸۱

افزایش ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصدی راندمان آبیاری اعمال شد و نتایج تحلیل شد و پس از مقایسه پیش‌بینی‌های حاصل از افزایش راندمان آبیاری با مدل صحت‌سنجی شده، مشاهده شد که در اثر افزایش راندمان، کاهش رقوم سطح آب زیرزمینی اتفاق خواهد افتاد که مقدار این افت در قسمت‌های جنوب، جنوب شرقی و شرق دشت بیشتر می‌باشد و در غرب و نواحی خروجی دشت به طرف دریاچه ارومیه، مقدار افت بسیار ناچیز

### نتیجه‌گیری

برای اعمال مدیریت کارا در استفاده از منابع آب دشت زرینه‌رود، مدل کامپیوتری منابع آب زیرزمینی دشت با تأکید بر شبکه آبیاری و زهکشی زرینه‌رود به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر مؤلفه‌های ورودی و خروجی سفره مورد واسنجی و صحت‌سنجی جدید (ابتدا در سال ۸۰-۱۳۷۹ و سپس در سال ۸۶-۱۳۸۵) قرار گرفت و در نهایت سناریوی مدیریتی

۵- نصری ب. ۱۳۸۶. واکنش مدل منابع آب زیرزمینی دشت مهاباد به عوامل تغذیه و تخلیه از طریق شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه مهندسی آب. دانشکده کشاورزی. دانشگاه ارومیه.

۶- یاری پیلمبرایی. الف. ۱۳۸۸. تعامل شبکه آبیاری و زهکشی دشت میاندوآب با مدل منابع آب زیرزمینی دشت. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه مهندسی آب. دانشکده کشاورزی. دانشگاه ارومیه.

- 7- Abderrahman A. Walid M. and Nejem K. 2000. Impacts of Irrigation on Shallow Groundwater in Eastern Province. Saudi Arabia. Water Resources Development. 16(3): 369-390.
- 8- Anan M. Yuge K. Nakano Y. Saptomo S. and Haraguchi T. 2007. Quantification of the effect of rice paddy area changes on recharging groundwater. Paddy Water Environ. 5: 41- 47.
- 9- Anuraga T.S. Ruiz L. Kumar M.S. Sekhar M. and Leijnse A. 2006. Estimating groundwater recharge using land use and soil data: A case study in South India. Agricultural Water Management 84: 65-76.
- 10- Bouri S. Abida H. and Khanfir H. 2007. Impacts of wastewater irrigation in arid and semi arid regions: case of Sidi Abid region, Tunisia. Environ. Geology. 53(7):1421-1432.
- 11- Chiew F.H.S and McMahan T.A. 1992. Groundwater recharge from rainfall and irrigation in the campaspe river basin. Australian Journal of Soil Research. 29:651-670.
- 12- Dadmehr R. 1996. Optimal Water Resources Hydraulic Modeling and Management in the Lower Macquarie Vally. Ph.D Thesis. University of technology Sydney. N.S.W. Australian.
- 13- Doble R. Simmons C. Jolly I. and Walker G. 2006. Spatial relationships between vegetation cover and irrigation-induced groundwater discharge on a semi-arid floodplain. Australian Hydrology 329: 75-97.
- 14- Hill B.M. 1996. Use of a numerical model for management of shallow ground-water levels in the Yuma, Arizona area. Groundwater 34(3): 397-404.
- 15- Shaki A.A. and Adeloje A.J. 2007. Mathematical modelling of effects of Irawan irrigation project water abstractions on the Murzuq aquifer systems in Libya. Arid Environments 71: 133-156.
- 16- Willis T.M. and Black A.S. 1996. Irrigation increases groundwater recharge in the Macquarie Valley. Australian Journal of Soil Research. 34(6): 837-847.

است. این نشان می‌دهد که با اصلاح روش‌های آبیاری و مدیریت بهینه انتقال، توزیع و مصرف آب در دشت زرینه‌رود، سطح آب زیرزمینی در دشت پایین رفته که این امر می‌تواند از نظر مدیریتی در راستای جلوگیری از زهدار شدن اراضی، مورد توجه باشد و بدین ترتیب خطری (شور و ماندابی شدن اراضی) که دشت را تهدید می‌کند رفع می‌شود. همچنین در اثر افت سطح ایستابی ناشی از افزایش راندمان آبیاری، تبخیر و تعرق نیز به میزان ۱۲ تا ۴۰ درصد کاهش می‌یابد، که می‌تواند کاهش تبخیر از سفره آب زیرزمینی را از مزایای افزایش راندمان به حساب آورد. به این ترتیب مدل‌سازی منابع آب زیرزمینی هر دشت و اعمال سناریوهای مدیریتی موردنظر یک راه سودمند برای سنجش تأثیر پارامترهای مؤثر در نوسانات سطح آب زیرزمینی آن دشت است. همچنین اعمال این سناریوها و بررسی اثرات آنها بر نوسانات سطح ایستابی، به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در خصوص تخصیص موفق و توأمان منابع آب زیرزمینی و سطحی دشت کمک خواهد کرد و برنامه‌ریزان و بهره‌برداران از شبکه می‌توانند با استفاده از این نتایج به اثرات احتمالی واقف شوند و برنامه‌های اجرای درست و منطقی را در این رابطه اتخاذ کنند.

#### منابع

- ۱- آیتی س.ح. ۱۳۸۶. شبیه‌سازی آب‌های زیرزمینی دشت مهبیار با استفاده از مدل کامپیوتری MODFLOW. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مکانیک. دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد.
- ۲- شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس. ۱۳۷۸. طرح شبکه آبیاری و زهکشی منطقه مرکزی و اراضی پایین دست دشت میاندوآب. مطالعات مرحله اول و دوم.
- ۳- طباطبایی س.ح. ۱۳۷۷. مدل ریاضی و مدیریتی سفره آب زیرزمینی دشت دامنه فریدن اصفهان با تاکید بر تغذیه مصنوعی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۴- نایب لویی ف. ۱۳۸۸. مدیریت منابع آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی با توجه به پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی دشت، مطالعه موردی: دشت خوی. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه مهندسی آب. دانشکده کشاورزی. دانشگاه ارومیه.