پیش بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت جیرفت و ارتباط آن با الگوی توسعه کشت محصولات باغی

محسن عادلی ساردوئی[۱]، علی اسدی[۲]، خلیل کلانتری[۲]، علی اکبر براتی[۳]، حسن خسروی[۴]

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۴/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۹

مقاله پژوهشی برگرفته از پایان نامه دکتری در رشته توسعه کشاورزی، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران

چکیده

دشت جیرفت در چند سال اخیر به دلیل برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی دچار افت شدید سطح ایستابی گردیده است و با توجه به نقش استراتژیک این دشت در تامین اب مورد نیاز محصولات کشاورزی، برنامه ریزی جهت بهبود وضعیت منابع آب این دشت امری ضروری می‌باشد. لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات مدیریتی منابع آب زیرزمینی دشت جیرفت در گذشته (۱۳۸۴-۱۳۹۸) و آینده نزدیک (۱۳۹۸-۱۴۱۰) با استفاده از نرم‌افزار GMS 10.4 و داده‌های هیدرولوژیکی، هیدروژئولوژیکی و نقشه‌های توپوگرافی انجام شده است. همچنین به منظور بررسی تأثیرپذیری الگوی کشت محصولات از تغییرات منابع آبی، تغییرات الگوی توسعه کشت محصولات عمده باغی از منظر نیاز آبی‌شان در دشت جیرفت با استفاده از اطلاعات و آمار محصولات عمده باغی دشت جیرفت طی سه دهه گذشته مطالعه شد. نتایج نشان داد که در دوره پایه (۱۳۹۸-۱۳۸۴) سالانه به طور متوسط آبخوان دارای افتی برابر ۰/۸۶ متر است که نشان دهنده بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی این دشت است. پیش بینی وضعیت آبخوان در دوره آتی تحت سناریوهای مختلف توسط مدلGMS 10.4 انجام گردید. همچنین نتایج بررسی روند توسعه محصولات عمده باغی دشت جیرفت نشان داد که علی‌رغم روند نزولی سطح منابع آب زیر زمینی طی سه دهه گذشته، سهم محصولات باغی با نیاز آبی بالا در الگوی کشت محصولات کشاورزی دشت افزایش داشته است و رفتار کشاورزان در راستای توسعه الگوی کشت محصولات کشاورزی تحت تأثیر عواملی به غیر از محدودیت منابع آبی بوده است. از اینرو پیشنهاد می‌گردد در دشت جیرفت سناریوهای کاهش برداشت از منابع آب زیر زمینی و همچنین توجه به الگوی کشت متناسب با منابع آبی در نقاط مختلف دشت در اولویت برنامه‌ریزان بخش کشاورزی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، دشت جیرفت، سناریو، کشاورزی، نیاز آبی

[۱] گروه مدیریت و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. mohsen.adelis@ut.ac.ir؛ عضو هیات علمی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران
[۲] استاد، گروه مدیریت و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. aasadi@ut.ac.ir ”Email(نویسنده مسئول)
[۲] استاد، گروه مدیریت و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. Email:khkalan@ut.ac.ir
[۳] استادیار، گروه مدیریت و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. Email :aabarati@ut.ac.ir
[۴] دانشیار، گروه احیای مناطق خشک وکوهستانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. Email:hakhosravi@ut.ac.ir

مقدمه

یکی از مهمترین چالش‌های پیش روی تحقق توسعه پایدار در سطح جهانی، منطقه‌ای و محلی برداشت بی‌رویه و بهره‌برداری نامطلوب از منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی می‌باشد که منجر به کاهش کیفیت و کمیت آب زیرزمینی می‌گردد و یک مسئله اساسی را در سطح دنیا به دلیل محدودیت این منابع ایجاد نموده و باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد (Rossetto et al., 2018؛ حاجی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). در سال‌های اخیر، با افزایش جمعیت و توسعه صنعتی با سرعتی بسیار سریع و نوسازی کشاورزی، منابع آب زیرزمینی به تدریج در حال کاهش است. منابع آب زیرزمینی در زیر سطح زمین به دور از مشاهده مستقیم ذخیره می‌شوند، بنابراین درک کامل از خصوصیات آنها برای انجام بسیاری از مطالعات که مدت هاست انجام می-گیرد، بسیار وقت‌گیر و گران است، لذا مدل‌های آب زیرزمینی ابزار مناسبی برای نظارت مداوم بر کمیت سفره-های آب هستند. شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی توسط مدل‌های ریاضی یک روش غیرمستقیم برای حل مشکلات با کمترین هزینه نسبت به روش‌های مستقیم است (Malekzadeh et al., 2019; Wang et al., 2016). لذا از مدل‌های آب زیرزمینی برای ارزیابی تأثیر آب‌وهوا یا استراتژی‌های مدیریت بر منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان استفاده می‌شود (Xiang et al., 2020). نرم‌افزارهای MODFLOW و GSFLOW یک ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری قدرتمند برای کاربرد بهینه آب در کشاورزی را فراهم می‌کند که می‌تواند درک منابع آب در حوضه‌های کشاورزی را به حداکثر برساند و اطلاعات متوقف در مورد بیلان تاریخی آب و پاسخ سیستم و همچنین پیش‌بینی‌های آینده از پایداری و تغییر مدیریت را ارائه دهد (Niswonger et al., 2020). به منظور توسعه آب در کشور قطر نتایج مدل‌سازی آب زیرزمینی حاکی از آن است که شارژ مجدد طبیعی آب‌های زیرزمینی سالانه ۶۵/۶ میلیون متر مکعب مشاهده شده است و نتایج این مدل‌سازی می‌تواند به درک رژیم جریان و طراحی طرح شارژ مصنوعی در قطر کمک کند (Baalousha, 2016). همچنین تخمین نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت زنجان با فرض نرخ کاهش آب‌های زیرزمینی و مقدار ثابت تغذیه از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ نشان دهنده افت شدید تراز آب با ادامه برداشت های بی‌رویه از ذخیره آب های زیرزمینی این دشت است (پناهی و همکاران، ۱۳۹۷). از طرفی برداشت بی‌رویه از سطح آب زیرزمینی در دشت ملکان موجب افت سطح ایستابی گردیده است که این برداشت بیش از حد گسترش نفوذ آب شور را در قسمت شمال غربی دشت تسریع و در نتیجه باعث افت کمی و کیفی در این بخش از آبخوان گریده است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین نتایج شبیه‌سازی آب زیرزمینی دشت همدان-بهار حاکی از آن است که با توجه ادامه روند فعلی جریان آب زیرزمینی، افزایش آلودگی سطح این آبخوان را در پی خواهد داشت که خسارت‌های جبران ناپذیری به سفره آب زیرزمینی وارد خواهد نمود (بیات ورکشی و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به مطالعات صورت گرفته مدل آب‌های زیرزمینی یک ابزار کمی ساده است که به منظور ترکیب و نمایندگی فرآیندهای هیدرولوژیکی واقعی تولید شده است، همچنین قادر به توصیف و پیش-بینی پیشرفت و روندهای آینده در بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی می‌باشد (Todorov et al., 2020). لذا به منظور بررسی هم وضعیت پایدار و هم رفتار ناپایدار (به دلیل تنش‌های اضافی تولید شده از جمله پمپاژ)، شبیه‌سازی سه بعدی آب زیرزمینی و بسیاری از قابلیت‌های اضافی مانند نمایش ویژگی‌های سطح آب و غیره از مدل آب زیرزمینی GMS با استفاده از کد تفاضل محدود MODFLOW-2005 (Harbaugh, 2005; Langevin et al., 2017) استفاده می‌گردد.

نتایج مطالعات در منطقه حاکی از وضعیت بد پایداری کشت محصولات کشاورزی داشته است (عادلی و همکاران، ۲۰۱۱) از اینرو در این مطالعه در بخش دوم در پی مطالعه الگوی تغییرات توسعه کشت محصولات عمده باغی در دشت جیرفت بودیم تا مشخص گردد آیا رفتار کشاورزان در این دشت که از منابع آبی زیر زمینی استفاده می‌کنند طی سال‌های گذشته چه الگویی را دنبال می کرده است و آیا تحت تأثیر تغییرات منابع آبی بوده است؟

مال و ناتالی (۲۰۱۹) اثر توسعه کشت محصولات چند ساله مثل انگور و درختان چند ساله بر منابع آبی و آثار اقتصادی آن در را تحت سناریوهای آبی در کالیفرنیای

آمریکا بین سال های ۱۹۷۴ تا ۲۰۱۶ بررسی کردند. نتایج نشان داد که در طی این مدت الگوی کشت در منطقه به سمت محصولات چند ساله تغییر داشته است و سطح زیر کشت این محصولات ۳ برابر شده است و در سال ۲۰۱۶ حدود ۶۰ درصد سطح زیر کشت و ۸۰ درصد درآمد کشاورزان از این محصولات چند ساله کشاورزی حاصل شده است. روان و همکاران (۲۰۲۰)، نیاز آبی محصولات کشاورزی را بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ در حوزه آبخیز سیر دریا در آسیای مرکزی را با استفاده از مدل آکوا وات مورد مطالعه قرار دادند. آنها ضمن مطالعه گسترش سطح زیر کشت محصولات، میزان تأثیرات پارامترهای اقلیمی و تغییر اراضی زیر کشت بر روی نیار آبی زراعی بررسی کردند. نتایج نشان داد که در طی این ۱۸ سال الگوی کشت در منطقه تغییییر یافته است و هر چه به سمت سال ۲۰۱۸ حرکت می کنیم محصولات آب بری مثل برنج و ذرت سطح زیر کشت شان افزایش یافته است و همچنین بیشترین افزایش سطح زیر کشت را گندم داشته است. در مطالعه‌ای دیگر هوایی و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند تولید محصولات زراعی در چین تغییر مکانی شدیدی بین سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ کرده است و این تغییر ممکن است به دلیل عدم تطابق جغرافیایی بین منابع آب و محصولات، تأثیر چشمگیری بر منابع آب کشور داشته باشد. آنها با استفاده از مدل AquaCrop تأثیر گسترش محصول دانه (برنج و ذرت) در شمال شرقی چین را بر منابع آبی این کشور را تعیین کرد. آنها دریافتند که تولید برنج و ذرت به ترتیب ۶۰ و ۴۳ درصد در شمال شرقی افزایش یافته است، در حالی که شاخص ردپای کمبود آب به ترتیب ۲۰۰ و ۱۲۵ درصد افزایش یافته است. نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت نشان دادند که افزایش این شاخص عمدتاً ناشی از افزایش کمبود آب منطقه‌ای و افزایش تولیدات کشاورزی است.

با توجه به جایگاه بخش کشاورزی در اشتغال منطقه و اهمیت تولیدات این دشت در تأمین امنیت غذایی جامعه ارزیابی مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت جیرفت در دهه گذشته و پیش بینی آینده آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از اینرو در این مطالعه به بررسی وضعیت منابع آبی دشت جیرفت و پیش بینی روند آینده آن پرداخته شد تا تصویر بهتری از آینده منابع آبی در نقاط مختلف دشت ارائه گردد تا در برنامه‌های توسعه منطقه‌ای با دانش بهتری به مسائل مرتبط با آب پرداخته شود. در بخش دوم تحقیق سعی شد تا با بررسی روند تغییر سطح زیر کشت محصولات باغی اصلی در دشت جیرفت طی سه دهه گذشته، الگوی مصرف آب و روند توسعه زمانی و مکانی این محصولات در دشت جیرفت مشخص گردد تا برای برنامه ریزی تصمیم‌گیران بخش کشاورزی در راستای مدیریت بهتر منابع آبی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت جیرفت واقع در جنوب استان کرمان در جنوب شرقی ایران با وسعت ۲۲۳۹/۲۵ کیلومترمربع در موقعیت ″۵۹ ′۲۴ °۵۷ تا ″۱۰ ′۱۰ °۵۸ طول شرقی و ″۳۶ ′۱۰ °۲۸ تا ″۵۳ ′۵۰ °۲۸ عرض شمالی و محدوده ارتفاعی ۴۵۶ متر تا ۱۳۱۸ متر بالاتر از سطح دریا آزاد قرار دارد. این منطقه از نظر آب‌وهوایی جزء مناطق نیمه‌خشک به شمار می‌آید و متوسط بارندگی سالانه آن ۱۳۸/۱۸ میلی‌متر می‌باشد. این دشت از رسوبات کواترنری تشکیل شده و هر چه از قسمت شمالی به طرف مرکز دشت نزدیک می‌شویم، آبرفت‌ها ریزدانه شده و از قطعات سنگی بزرگ، قلوه سنگ و شن به ماسه، رس و سیلت تبدیل می‌شوند. جهت کلی آب زیرزمینی از شمال باختری به سمت جنوب خاوری دشت است و متوسط رژفای برخورد به آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه ۲۱ متر است. مخروط افکنه‌های جوان در حاشیه خاوری دشت که از قطعات سنگی با جورشدگی ضعیف به‌وجود آمده‌اند، یکی از منابع مهم تغذیه کننده آبخوان هستند. به طور کلی منابع تغذیه کننده دشت شامل نزولات جوی، نفوذ از بستر رودخانه هلیل‌رود، مسیل‌ها، کانال‌های آبیاری، زهکشی و آب برگشتی کشاورزی است (فاریابی و همکاران، ۱۳۸۹؛ سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۵).

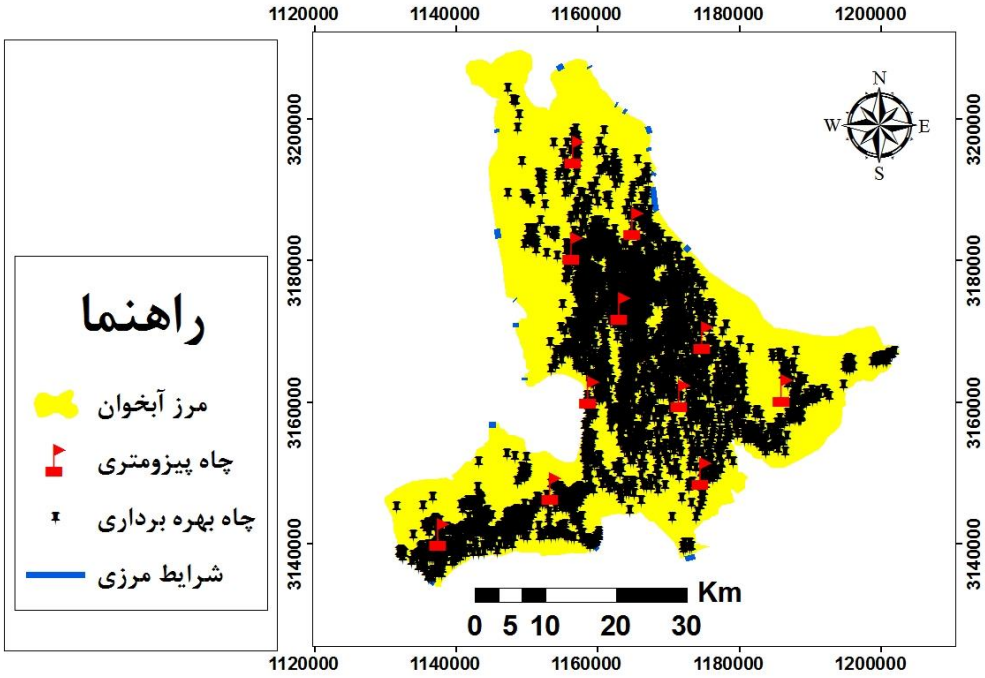
روش تحقیق

در این تحقیق برای بررسی وضعیت سفره‌ی آب زیرزمینی داده‌های آب زیرزمینی به همراه چاه‌های بهره-برداری از شرکت مدیریت منابع آب ایران (تماب) و داده-های بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک جیرفت در بازه زمانی (۱۳۸۱-۱۳۹۸) از سازمان هواشناسی استفاده گردید. در ادامه مراحل انجام تحقیق شرح می‌گردد:

مدل‌سازی آب زیرزمینی

سیستم مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی (GMS) یک بسته نرم‌افزاری است که مدل‌های قوی مانند MODFLOW را برای شبیه‌سازی مسائل مختلف آب زیرزمینی در اختیار محققین قرار می‌دهد. یکی از مدل‌هایی که GMS از آن پشتیبانی می‌کند MODFLOW است (El Yaouti et al., 2008). تنش‌های مربوط به رژیم آب زیرزمینی شامل ورودی و خروجی سیستم آبخوان است. شارژ مجدد به دلیل بارندگی، آب برگشتی کشاورزی و جریان آب زیرزمینی جانبی ورودی آبخوان، هچنین پمپاژ، تبخیروتعرق و آب خروجی زیرزمینی جانبی خروجی یک سیستم آبخوان را تشکیل می‌دهند.

۱۱ چاه مشاهداتی (پیزومتری) و ۴۶۸۶ چاه بهره-برداری، خصوصیات هیدروژئولوژی آبخوان، اطلاعات مربوط به نوع مرزهای ورودی، سنگ کف و توپوگرافی منطقه، برای ایجاد مدل مفهومی استفاده گردید (شکل ۱).



شکل(۱): موقعیت چاه‌های پیزومتری، بهره‌برداری و شرایط مرزی دشت جیرفت

همچنین با وجود شرایط خشک این دشت و کمبود میزان بارندگی، تغذیه دشت از مناطق شمالی آن صورت می‌گیرد. شارژ اولیه ۱۰٪ از کل بارندگی‌ها به میزان ۰/۰۰۰۰۴ متر بر روز از طریق بسته شارژ مجدد به سیستم آبخوان انجام شد (Sundararajan and Sankaran, 2020; Simmers et al., 2013; Varalakshmi et al., 2014) (رابطه ۱).

$$R = \frac{P}{365} * a \qquad (۱)$$

که در آن: R، تغذیه ناشی از بارندگی (M/day)، P بارش سالانه به (M/years)، a درصد تغذیه ناشی از بارندگی. مقدار ضریب تغذیه با توجه به مطالعات مهندسین مشاور بررسی منابع آب (۱۳۹۵) به میزان ۳/۴ درصد به مدل مفهومی اعمال گردید. پس از ایجاد مدل مفهومی شبکه به شکلی ساخته شد که متناسب با مدل مفهومی باشد. سلول‌ها در ابعاد ۵۰۰ متر به ۵۰۰ متر تفکیک است. شبکه اختلاف محدود از ۱۴۷ ستون و ۱۵۰ ردیف تشکیل شده است. از این رو تعداد کل سلول‌های مدل ۲۲۰۵۰ بود.

قدم مهم دیگر کالیبراسیون مدل است که به تنظیم دقیق پارامترهای مدل به گونه‌ای که نتایج شبیه‌سازی شده مدل به طور مناسب با شرایط میدانی مطابقت داشته باشد اشاره دارد. بنابراین برای این منظور لازم است که شرایط آبخوان به درستی مشخص شد (Anderson & Woessner, 1992). از پارامتر ESTimation (PEST) برای کالیبره کردن مدل که یک بسته تخمین و بهینه‌سازی پارامتر غیر خطی است (Doherty & Johnston, 2003)، استفاده گردید. هدف در مورد کالیبراسیون مدل آب‌های زیرزمینی، به حداقل رساندن مقدار باقیمانده مربع خطا (باقیمانده تفاوت بین سطح آب زیرزمینی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده) است (Compendex, 2016). لذا عمل کالیبراسیون برای مهر ۱۳۸۴ در حالت پایدار با تغییر در مقادیر تغذیه آب زیرزمینی و هدایت هیدرولیکی افقی و انیزوتراپی تا رسیدن به بهترین انطباق برای مدل و همچنین عمل کالیبراسیون برای دوره (۱۳۸۴-۱۳۹۷) برای حالت ناپایدار با تغییر در مقادیر هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره، ادامه یافت. همچنین به منظور صحت سنجی مدل، داده‌های سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۷ انتخاب گردیدند. دقت کالیبراسیون مدل با پارامترهای آماری میانگین خطا (ME)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ریشه میانگین مربع خطای (RMSE) بررسی شد (به ترتیب رابطه ۲، ۳ و ۴).

$$ME = \frac{1}{n}\sum_{i}^{n}(h_m - h_s)_i \qquad (۲)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i}^{n}|(h_m - h_s)|_i \qquad (۳)$$

$$RMSE = \sqrt[2]{\frac{1}{n}\sum_{i}^{n}(h_m - h_s)^2} \qquad (۴)$$

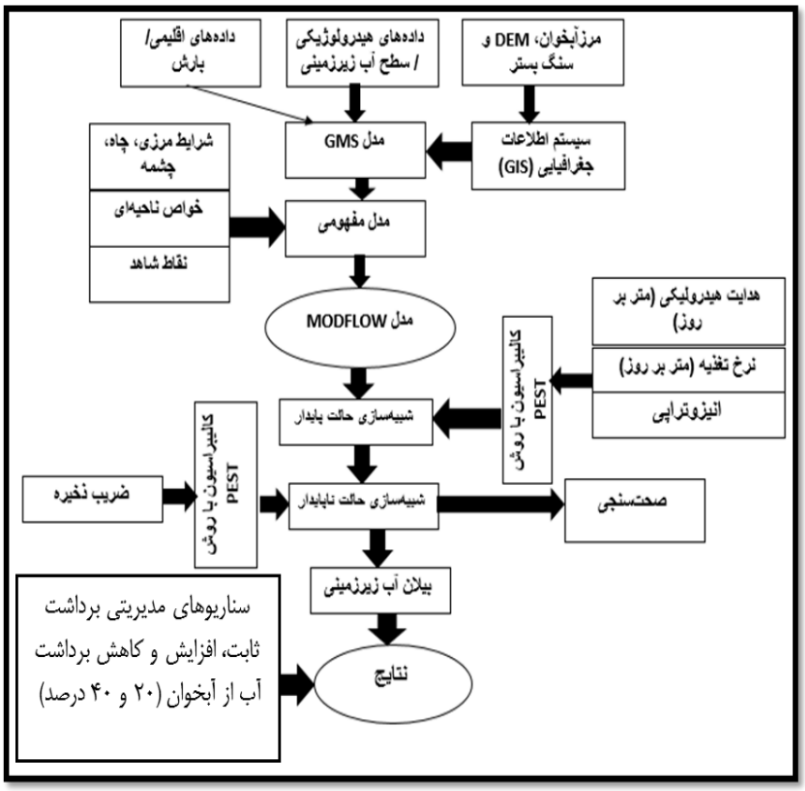
که در آن n تعداد چاه‌های مشاهداتی، h_m و h_s به ترتیب مقادیر سطح آب مشاهده شده و شبیه‌سازی شده به متر. در نهایت به منظور بررسی اثرات مدیریتی بر روی سفره‌ی آب زیرزمینی دشت جیرفت در آینده نزدیک (۱۳۹۸-۱۴۱۰) و مقایسه آن با دوره گذشته (۱۳۹۸-۱۳۸۴) از پنج سناریو که شامل دو سناریوی افزایش برداشت به میزان ۲۰ و ۴۰ درصد و دو سناریوی کاهش برداشت به میزان ۲۰ و ۴۰ درصد و همچنین سناریوی بهره‌برداری با نرخ ثابت استفاده گردید (فدر و همکاران[1]، ۲۰۱۶.، شیرمحمدی و همکاران، ۲۰۱۹.، براتی و همکاران، ۲۰۱۹). مبنای انتخاب سناریوهای فوق در این تحقیق بر پایه حجم فعالیت آب و خاک صورت گرفته در برنامه‌های توسعه کشاورزی منطقه مورد مطالعه و بر اساس مطالعات گذشته و تحت دو سناریو خوش‌بینانه و بد بینانه سناریو سازی صورت پذیرفته است. بر اساس آمار و اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی جنوب استان کرمان (اراضی کشاورزی دشت جیرفت در این حوزه قرار دارند) فعالیت‌های آب و خاک در راستای بهبود کارایی مصرف آب در اراضی دشت جیرفت صورت گرفته است که شامل توسعه روش‌های آبیاری نوین، به سازی کانال‌های انتقال آب، احداث کانال بتنی، بهسازی کانال (لایروبی کانال های خاکی) و انتقال با لوله است که هر یک در سطح مشخصی در سال اجرا شده اند و بر کارایی مصرف آب تأثیر دارند. این اطلاعات با توجه به مطالعات قبلی مبنای سناریوسازی تغییرات برداشت از منابع آبی قرار گرفت. چارپوب عملیاتی مدل در شکل (۲) نشان داده شده است.

بررسی روند الگوی کشت محصولات باغی

در بخش دوم این تحقیق روند توسعه محصولات عمده باغی از منظر نیاز آبی مورد مطالعه قرار گرفت. به این منظور بر اساس اطلاعات و آمار سطح زیر کشت محصولات کشاورزی طی سه دهه گذشته از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفت (سال نامه های آماری، سازمان جهاد کشاورزی جنوب کرمان). نرم افزار NETWAT که تحت عنوان سند ملی آبیاری کشور شناخته شده و به طور گسترده‌ای توسط کارشناسان بخش کشاورزی و منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سند در سال ۱۳۷۸ بر اساس مطالعات متخصصین وزارت کشاورزی و همچنین سازمان هواشناسی کشور به روش توصیه شده توسط سازمان فائو تهیه شد و کماکان اطلاعات موجود در آن جهت انجام برنامه ریزی‌های آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. شایان ذکر است مطالعات تفاوت بین نیاز برخی

[1] Feder et al

محصولات در برخی مناطق کشور بین نتایج این مدل و سایر روش‌ها بیان داشته اند. براتی و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند که نیاز آبی الگوی کشت در کرمانشاه با استفاده از نتایج نرم افزار ET_0 Calculater ۱/۲ برابر نتایج سند ملی آبیاری کشور بوده است. از آنجایی که در این مطالعه فقط قصد مقایسه محصولات به لحاظ نیاز آبی است و همچنین از نتایج سند ملی آبیاری کشور در مطالعات داخلی زیاد استفاده شده (کریمی و جلینی، ۱۳۹۶.، براتی و همکاران، ۱۳۹۷)، لذا نتایج این سند را برای بررسی نیاز آبی محصولات کشاورزی در دشت جیرفت استخراج نمودیم. همچنین با استفاده از اطلاعات آماری سعی شد تا روند تغییر سطح زیر کشت محصولات آبی عمده در دشت جیرفت بررسی شود تا مشخص گردد که آیا رفتار و واکنش کشاورزان در انتخاب الگوی کشت متأثر از تغییرات منابع آبی بوده یا الگوی رفتاری متفاوتی را داشته است.



شکل ۲: مراحل مدل‌سازی آب زیرزمینی

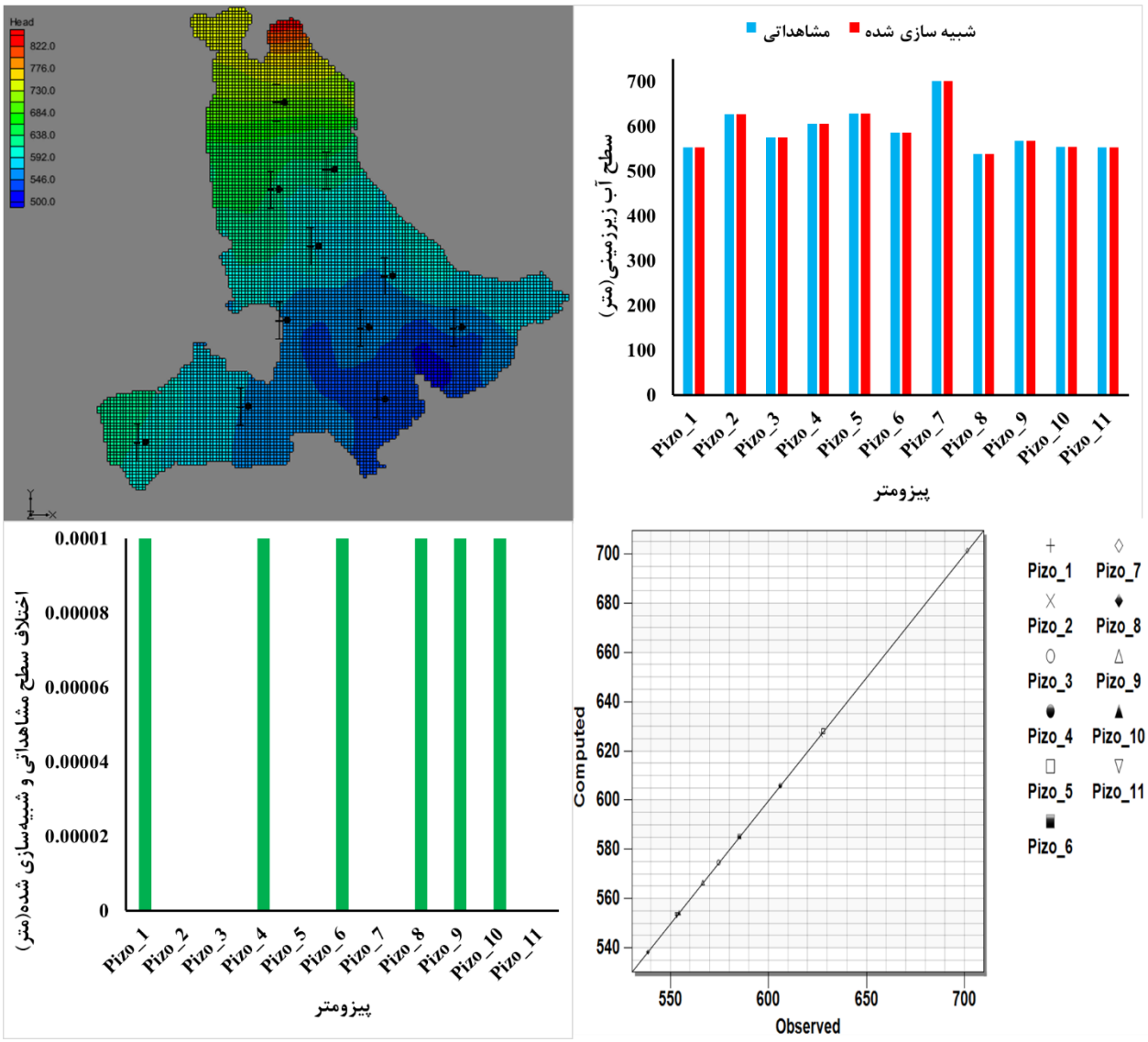
نتایج

نتایج آب زیرزمینی

بیلان آب زیرزمینی در شرایط پایدار در جدول (۱) نشان داده شده است. همچنین در شکل (۳) وضعیت پیزومترها را برای مهرماه ۱۳۸۴ نشان می‌دهد که در سطح interval یک متر تمامی چاه‌ها به رنگ سبز نمایان شده‌اند که با توجه به مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده و اختلاف این دو سطح، مشخص کننده این موضوع می-باشد.

جدول (۱): بیلان آب زیرزمینی در حالت پایدار (میلیون متر مکعب در سال)

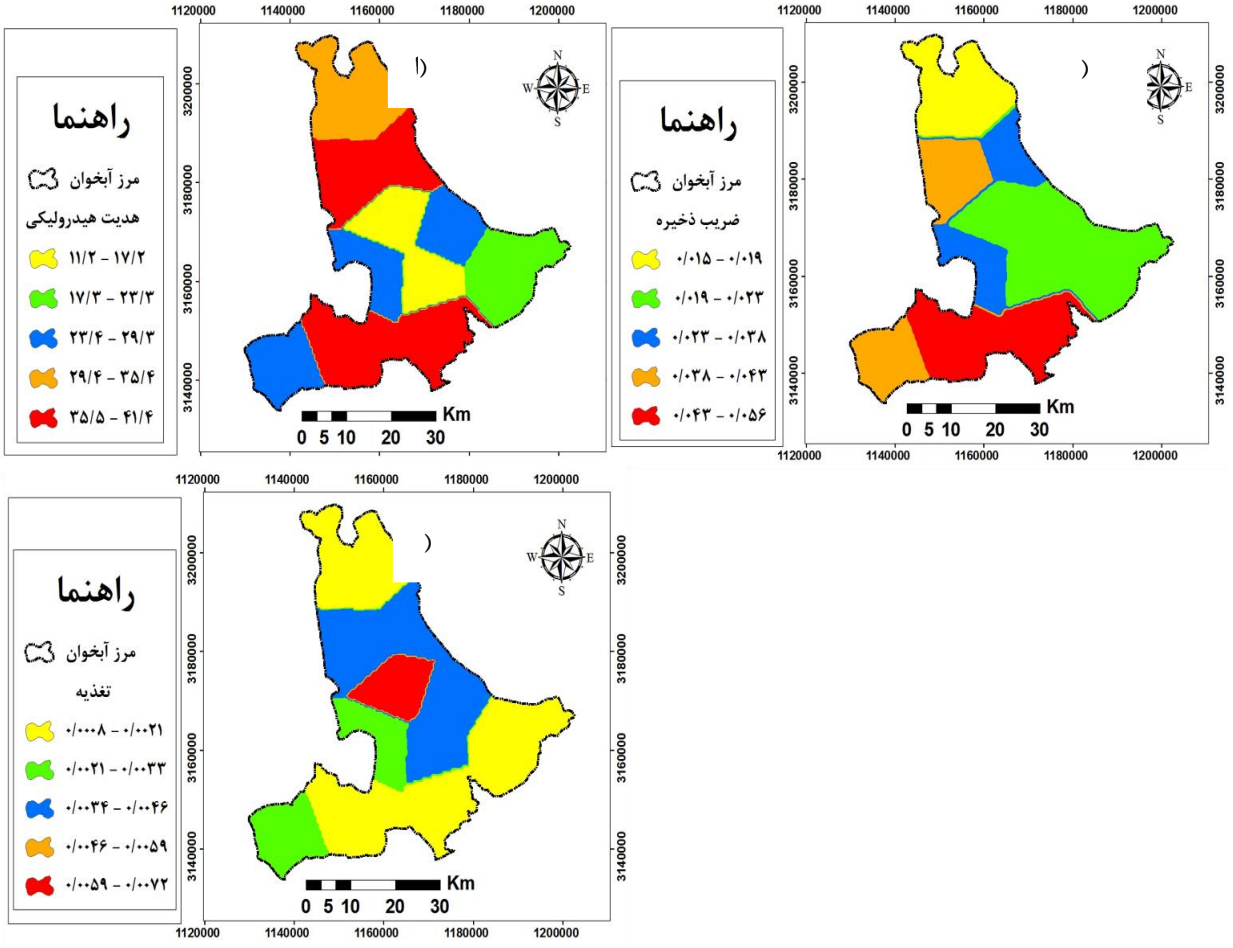
ردیف	تغذیه	برداشت	تخلیه
۱	182/0294	182/0293	0/00006



شکل (۳): سطح آب زیرزمینی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در طول دوره پایدار

نتایج بدست آمده از پارامترهای ضریب ذخیره، هدایت هیدرولیکی و تغذیه آب زیرزمینی مورد سنجش در مدل GMS10.4 به نرم‌افزار GIS10.3 منتقل و همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است پهنه‌بندی گردید. این سه پارامتر در قسمت‌های مختلف آبخوان دارای مقادیر متفاوت بود. بر اساس نتایج واسنجی در شرایط غیرماندگار، میزان پارامتر آبدهی ویژه برابر با ۰/۰۱۵ تا ۰/۰۵۶ می‌باشد. حداقل و حداکثر مقدار هدایت هیدرولیکی برابر ۱۱/۲ و ۴۱/۴ متر بر روز است. همچنین حداکثر میزان تغذیه در قسمت‌های میانی دشت به میزان ۰/۰۰۷۲ که بافت آن از رسوبات درشت تشکیل گردیده صورت می‌گیرد

.



شکل (۳):: نتایج پارامترهای تغذیه، هدایت هیدولیکی (متر بر روز) و ضریب ذخیره (درصد) در آبخوان دشت جیرفت

نوسانات مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در مرحله ناپایدار برای ۱۱ چاه مشاهده‌ای در شکل (۴) نشان داده شده است. لذا انطابق مناسب سطح آب زیرزمینی مشاهده شده با شبیه‌سازی شده در قسمت واسنجی و همچنین پایین بودن خطاهای RMSE، MAE و ME حاکی از قابلیت این مدل در شبیه‌سازی آب زیرزمینی سطح آب-زیرزمینی در مراحل پایدار، ناپایدار و صحت‌سنجی می‌باشد (جدول ۲). لذا با توجه به نتایج (جدول ۲) مدل ریاضی می‌تواند به خوبی شرایط طبیعی حاکم بر آبخوان دشت جیرفت را شبیه‌سازی نماید.

جدول (۲): مقادیر خطا در دوره‌های مختلف واسنجی

سال آبی	ME	MAE	RMSE
۱۳۸۵-۱۳۸۴	۰/۰۰۰۰۹۷	۰/۰۰۰۰۹۷	۰/۰۰۰۱۴
۱۳۹۷-۱۳۸۴	-۰/۵۰	۱/۸۹	۲/۴۱
۱۳۹۸-۱۳۹۷	-۱/۰۱	۲/۲۲	۳/۳۷

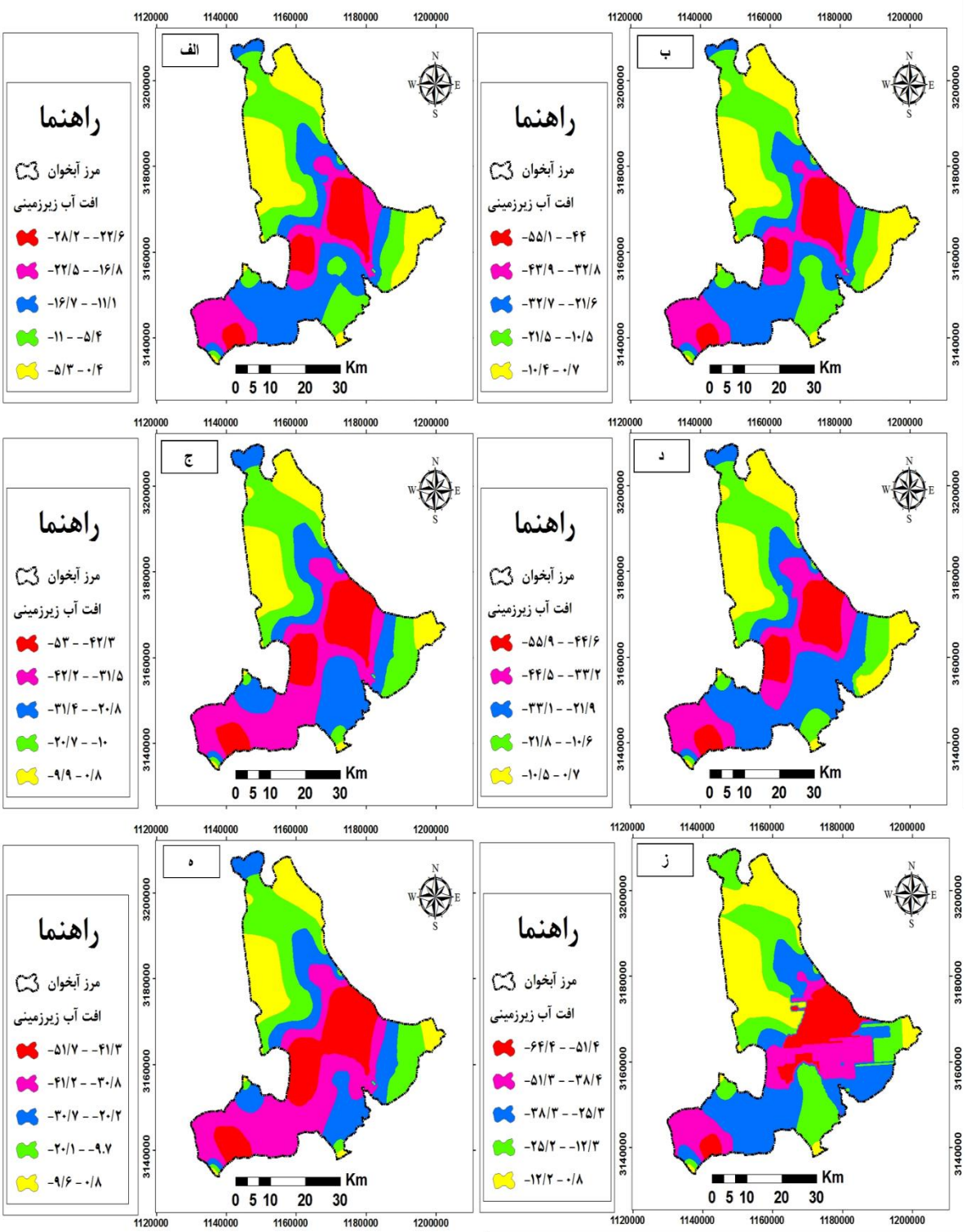
با توجه نتایج حاصل از بیلان آب زیرزمینی در جدول (۳) می‌توان به این نتیجه رسید که بیلان در دشت جیرفت منفی بوده و به طور متوسط به میزان ۸۶/۳۵- میلیون مترمکعب می‌باشد که حاکی از آن است که میزان خروجی از آبخوان بیش از ورودی به آبخوان می‌باشد.

جدول (۳): بیلان آب زیرزمینی در حالت ناپایدار در دشت جیرفت

ردیف	سال	تغذیه (MCM[1])	برداشت (MCM)	تخلیه (MCM)
۱	۱۳۸۴	۱۰۰۵/۱۹	۱۰۹۵/۸۶	-۹۰/۶۷
۲	۱۳۸۵	۲۰۷۶/۰۳	۲۱۷۴/۶۴	-۹۸/۶۲
۳	۱۳۸۶	۲۰۷۹/۷۶	۲۱۶۷/۷۹	-۸۸/۰۴
۴	۱۳۸۷	۲۰۷۲/۷۶	۲۱۶۲/۷۹	-۹۰/۰۴
۵	۱۳۸۸	۲۰۵۹/۰۲	۲۱۵۸/۸۲	-۹۹/۸۰
۶	۱۳۸۹	۲۰۵۱/۸۱	۲۱۴۷/۱۷	-۹۵/۳۷
۷	۱۳۹۰	۲۰۳۴/۹۱	۲۱۳۷/۱۲	-۱۰۲/۲۲
۸	۱۳۹۱	۲۰۵۵/۰۱	۲۱۲۹/۱۳	-۷۴/۱۲
۹	۱۳۹۲	۲۰۳۶/۸۸	۲۱۲۲/۲۳	-۸۵/۳۶
۱۰	۱۳۹۳	۲۰۴۴/۲۷	۲۱۱۵/۵۸	-۷۱/۳۲
۱۱	۱۳۹۴	۲۰۱۷/۴۰	۲۱۱۰/۳۵	-۹۲/۹۵
۱۲	۱۳۹۵	۲۰۳۰/۲۶	۲۱۰۵/۴۰	-۷۵/۱۵
۱۳	۱۳۹۶	۲۰۲۷/۶۷	۲۱۰۱/۵۸	-۷۳/۹۱
۱۴	۱۳۹۷	۹۷۷/۴۶	۱۰۴۸/۸۶	-۷۱/۴۱
۱۵	متوسط	۱۸۹۷/۷۵	۱۹۸۴/۱۰	-۸۶/۳۵

به منظور بررسی تأثیر چاه‌های بهره‌برداری در دوره مذکور بر سطح آبخوان دشت جیرفت، مدل تهیه شده در دوره ۱۳۹۸-۱۳۸۴ به هنگام شد. اختلاف متوسط تراز سطح آب در دوره ۱۳۹۸-۱۳۸۴ و در دوره ۱۴۱۰-۱۳۹۸ تحت پنج سناریوی نسبت به سال پایه (۱۳۸۴-۱۳۸۵) مطابق با شکل (۵) به دست آمد. در دوره پایه متوسط افت در این دشت به میزان ۱۲/۱۴ متر رخ داده است. در حالی که تحت سناریوی ثابت، ۲۰ و ۴۰ درصد افزایش و ۲۰ و ۴۰ درصد کاهش برداشت از آبخوان متوسط افت به ترتیب به میزان ۲۵/۵۶، ۳۲/۳۷، ۳۸/۵۰، ۱۵/۴۳ و ۹/۲۰ متر رخ داده است. لذا این تغییرات برداشت ثابت، کاهشی و افزایشی از سطح آبخوان منجر به تغییر در بیلان آبخوان گردیده است که طبق نتایج جدول (۴) می‌توان به این اثرات مدیریتی پی برد.

[1] - میلیون متر مکعب در سال



شکل ۵: وضعیت افت آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۸ (شکل الف)، سال ۱۴۱۰ سناریوی مدیریتی ثابت (ب)، سناریوی ۲۰ درصد کاهش و افزایش سطح آب (به ترتیب شکل ج و د) و سناریوی ۴۰ درصد کاهش و افزایش سطح آب (به ترتیب شکل ه و ز)

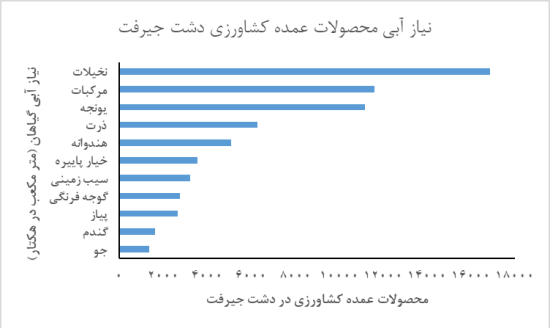
جدول (۴): بیلان آب زیرزمینی (میلیون متر مکعب در سال) تحت سناریوهای مختلف مدیریتی

سال	سناریو ثابت	۲۰ درصد افزایش	۴۰ درصد افزایش	۲۰ درصد کاهش	۴۰ درصد کاهش
۱۳۹۸	-۹۵/۵۳	-۱۱۵/۸۴	-۱۶۳/۰۱	-۵۱/۵۷	-۳۰/۲۳
۱۳۹۹	-۹۱/۴۹	-۱۱۶/۵۱	-۱۶۳/۳۱	-۵۲/۸۶	-۳۰/۶۸
۱۴۰۰	-۹۱/۲۶	-۱۱۶/۶۹	-۱۶۳/۷۳	-۵۳/۳۸	-۳۱/۲۹
۱۴۰۱	-۹۱/۰۹	-۱۱۶/۸۸	-۱۶۳/۹۵	-۵۳/۵۸	-۳۱/۶۰
۱۴۰۲	-۹۰/۹۶	-۱۱۷/۰۴	-۱۶۴/۱۷	-۵۳/۸۴	-۳۱/۹۶
۱۴۰۳	-۹۰/۵۷	-۱۱۷/۴۳	-۱۶۴/۶۳	-۵۴/۲۶	-۳۲/۴۶
۱۴۰۴	-۹۰/۲۴	-۱۱۷/۷۸	-۱۶۵/۰۶	-۵۴/۷۱	-۳۳/۰۲
۱۴۰۵	-۸۹/۹۷	-۱۱۸/۰۷	-۱۶۵/۴۴	-۵۵/۱۱	-۳۳/۵۱
۱۴۰۶	-۸۹/۷۴	-۱۱۸/۳۰	-۱۶۵/۷۷	-۵۵/۴۲	-۳۳/۸۷
۱۴۰۷	-۸۹/۵۲	-۱۱۸/۵۲	-۱۶۶/۱۱	-۵۵/۷۳	-۳۴/۲۷
۱۴۰۸	-۸۹/۳۵	-۱۱۸/۶۹	-۱۶۶/۳۷	-۵۵/۹۸	-۳۴/۵۶
۱۴۰۹	-۸۹/۱۸	-۱۱۸/۸۶	-۱۶۶/۵۸	-۵۶/۱۹	-۳۴/۷۹
۱۴۱۰	-۸۹/۰۵	-۱۱۹/۰۰	-۱۶۶/۷۳	-۵۶/۳۵	-۳۴/۹۷
میانگین	-۹۰/۷۱	-۱۱۷/۸۸	-۱۶۵/۲۵	-۵۴/۸۲	-۳۳/۲۲

روند توسعه محصولات باغی عمده در دشت جیرفت

بر اساس آمار و اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی جنوب استان کرمان که اراضی کشاورزی دشت جیرفت در این منطقه واقع شده اند، سطح زیر کشت محصولات کشاورزی از اواخر دهه ۶۰ شمسی تا اواخر دهه حاضر به طور چشم‌گیری افزایش یافته است. دشت جیرفت در زمره دشت‌های ممنوعه طبقه بندی شده است (برنامه ششم توسعه استان کرمان، سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۵) و بر اساس نتایج تحقیق حاضر مشخص شد که وضعیت تغییرات منابع آبی در سال های گذشته به شکل چشمگیری بدتر شده است مطالعه‌های گذشته نیز این نتایج را تأیید کرده اند و روند کاهش منابع آب زیرزمینی در این دشت را نامناسب گزارش کرده اند و بیان داشتند به طور متوسط سالیانه یک متر کاهش در سطح آب زیرزمینی رخ داده است (شاهی دشت و عباس نژاد، ۱۳۹۰: پورسیدی و کشکولی، ۱۳۹۱)، لذا در ادامه تناسب توسعه کشت محصولات کشاورزی عمده از منظر مصرف آب مورد مطالعه قرار گرفت تا مشخص شود کاربری اراضی کشاورزی که به طور چشمگیری طی سالیان گذشته افزایش داشته است به سمت توسعه کشت کدام دسته از محصولات پیش رفته است.

همانطور که در نمودار (۱) مشخص است نیاز آبی محصولات تولید شده نیاز آبی متفاوتی دارد. نیاز آبی در محصولاتی مانند گندم و جو پایین تر از ۱۷۰۰ مترمکعب در هکتار است و در محصولات سبزی دشت مثل پیاز، سیب زمینی و گوجه به ترتیب ۲۶۵۰، ۳۲۱۰ و ۲۷۷۰ متغیر است. نیاز آبی خیار در دشت جیرفت حدود ۳۷۵۰ مترمکعب در هکتار است اما برای تولید محصولی مثل ذرت تا ۶۳۰۰ است. همانطور که مشخص است نیاز آبی محصولات باغی مثل مرکبات (۱۱۶۱۰) و نخیلات بیشترین مقدار را با ۱۶۸۶۰ مترمکعب در هکتار دارد که تقریباً ۱۰ برابر نیاز آبی یک هکتار گندم است و بر این اساس، بیشترین نیاز آبی در بین محصولات عمده کشاورزی در دشت جیرفت را این دو محصول عمده باغی دارند.



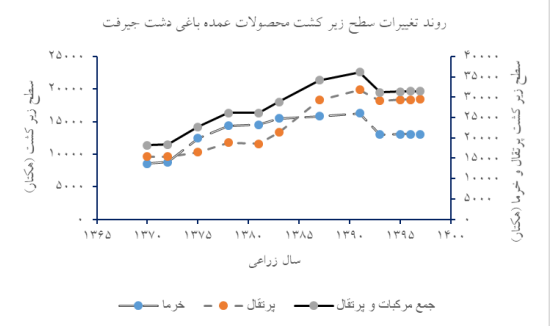
نمودار (۱): نیاز آبی محصولات کشاورزی عمده در دشت جیرفت (یافته‌های تحقیق)

با استخراج از آمار و اطلاعات روند سطح زیر کشت محصولات کشاورزی عمده در دشت جیرفت طی سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفت.

بر طبق آمار سازمان جهاد کشاورزی جنوب کرمان از مجموع ۴۵۴۳۶ هکتار محصولات باغی تولید شده در اراضی باغی دشت جیرفت این سازمان ۸۴/۲ درصد زیر کشت دو محصول خرما و پرتقال در سال ۱۳۹۷ قرار داشته اند (گزارش سالیانه سازمان جهاد کشاورزی جنوب استان کرمان، ۱۳۹۷) از اینرو این دو محصول به عنوان محصولات عمده باغی مورد مطالعه قرار گرفتند.

همانطور که مشخص شد دو محصول خرما و پرتقال بر اساس نتایج سند ملی آبیاری کشور (NETWAT) نیاز آبی بسیار بالایی در مقایسه با سایر محصولات دارند بر اساس نتایج تحلیل دادها در نمودار (۲) سطح زیر کشت پرتقال و خرما به ترتیب از ۸۵۸۰ و ۹۶۲۸ در سال ۱۳۶۹ به ۱۳۰۶۶ و ۱۸۴۱۴ هکتار در سال ۱۳۹۷ افزایش یافته است.

همچنین مجموع سطح زیر کشت این دو محصول از ۱۸۰۰۰ هکتار در سال ۱۳۶۹ به بیشترین مقدار خود برابر با ۳۶۰۰۰ هکتار در اواخر دهه هشتاد (۱۳۸۹) رسیده است و بنا به خشکسالی در منطقه این سطح روند نزولی پید کرده است اما همانطور که در نمودار (۲) مشخص است مجدداً در سال ۱۳۹۵ سطح زیر کشت این دو محصول در حال افزایش هست و در سال ۱۳۹۷ در اراضی دشت جیرفت ۳۱۴۸۰ هکتار زیر کشت پرتقال و خرما بارور بوده است. نکته قابل توجه آن است که اراضی زیر کشت این محصولات در سال ۱۳۶۹ تنها ۱۶ درصد کل اراضی زراعی و باغی عمده[1] را به خود اختصاص داده بودند و این رقم در سال ۱۳۹۷ به بیش از ۲۸ درصد افزایش یافته است. شایان ذکر است کل سطح زیر کشت محصولات عمده زراعی و باغی در سال ۱۳۶۹ برابر با ۳۷۰۰۰ هکتار بوده است و این مقدار در سال ۱۳۹۷ به ۶۵۷۰۰ هکتار افزایش یافته است.



نمودار (۲): روند توسعه سطح زیر کشت محصولات عمده باغی در دشت جیرفت طی سه دهه گذشته (یافته های تحقیق)

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از عوامل انسانی که در قرن حاضر و گذشته مخاطرات زیادی را برای جوامع مختلف بهمراه داشته است مولفه آب زیرزمینی است. لذا بیلان آبی دشت‌ها و تغییرات کمی سفره‌های آب زیرزمینی از مهمترین مسائلی است که

[1] محصولات عمده زراعی و باغی که ۸۵/۵ درصد سطح زیر کشت محصولات کشاورزی دشت را به خود اختصای داده اند در این مطالعه گندم، جو، ذرت، خیار، گوجه فرنگی، پیاز، سیب زمینی، یونجه، خرما و پرتقال هستند.

در مدیریت منابع آب و تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های منابع طبیعی، محیط زیست و کشاورزی مورد توجه می‌باشد. بنابراین یکی از رویکردهای مهم و قابل دسترس در حال حاضر اعمال فرآیندهای مدیریتی و پاسخ آبخوان به این مدیریت‌ها در دوره آتی می‌باشد که در این مطالعه پنج سناریوی برداشت ثابت، افزایش ۲۰ و ۴۰ درصدی، کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی برداشت از آبخوان به مدل آب زیرزمینی دشت جیرفت اعمال گردید. مبنای خطای شبیه‌سازی در مرحله پایدار در طول دوره مدل‌سازی اختلاف کمتر از ۰/۰۰۰۱ متر بدست آمد که حاکی از دقت مدل در حالت پایدار دارد که با نتایج کاردان مقدم و همکاران (۱۳۹۶) که این اختلاف برای آبخوان بیرجند کمتر از ۲۱ سانتی‌متر برآورد نمودند، مطابقت دارد.

در زمینه کمیت آبخوان دشت جیرفت در مرحله ناپایدار، پس از واسنجی مدل چه به صورت دستی و چه کالیبراسیون اتوماتیک و چک کردن پارامترهای آماری نظیر RMSE، MAE و ME که در دوره (۱۳۸۴-۱۳۹۷) به ترتیب برابر با ۲/۴۱، ۱/۸۹ و ۰/۵۰- متر، نتایج نشان داد که واسنجی با دقت بالایی انجام گرفته است. همچنین نتایج با سطح آب شبیه‌سازی شده در پیزومترها نیز مقایسه گردید که نتایج حاصله نشان از بالا بودن دقت مدل در شبیه‌سازی رفتار آبخوان دارد که با نتایج بانژاد و همکاران (۱۳۹۲) و پرهیزکار و همکاران (۱۳۹۳) براساس شاخص‌های مهم آماری، نتایج مربوط به واسنجی و صحت سنجی مدل نشان داد که همبستگی بالایی (R^2= ۰/۹۸) بین مقادیر شبیه‌سازی شده مدل و مقادیر اندازه‌گیری وجود دارد که در مطالعات‌شان دقت بالای مدل مادفلو را تأیید کرده بودند مطابقت دارد. تغییرات تغذیه آبخوان به عنوان یک مولفه مهم در تغذیه آبخوان حاکی از آن است که مناطق میانی و شمالی شرقی آبخوان به دلیل درشت دانه بودن آبرفت‌ها و مخروط افکنه‌ها دارای بیشترین مقدار تغذیه می‌باشند که می‌تواند نقش مهمی در تغذیه مصنوعی جهت احیا سطح آبخوان و جلوگیری از فرونشست زمین نماید که با مطالعات شاهی دشت و همکاران (۱۳۹۰) و شرکت مهندسین مشاور بررسی منابع آب (۱۳۹۵) بر روی دشت جیرفت مطابقت دارد و می‌تواند در پروژه‌های طرح تعادل بخشی به عنوان مناطق تحت اولویت تغذیه مصنوعی آبخوان مورد استفاده قرار گیرد. نتایج نشان داد که در دوره پایه (۱۳۸۴-۱۳۹۸) سالانه به طور متوسط آبخوان دارای افتی برابر ۰/۸۶ متر است که نشان از بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و همچنین حفر چاه‌های غیر مجاز زیاد در منطقه مورد مطالعه است که با نتایج جبالبارزی و همکاران (۱۳۹۶) که جنگلکاری با گونه تاغ منجر به افت سالانه آبخوان دشت جعفریه قم به طور متوسط ۰/۷۳ متر در دوره ۲۰۱۲- ۱۹۹۲ گردیده و همچنین با نتایج صمدی و همکاران (۱۳۹۳) و نتایج جمهور و همکاران (۱۳۹۸)که به ترتیب حاکی از کاهش ۱۹/۹ سانتی‌متری سالانه تراز آب زیرزمینی دشت ارومیه و افت ۴۶ سانتی‌متری سطح آبخوان دشت میناب که در هردو این مطالعه منجر به حرکت آب شور دریا و در یاچه به سمت آبخوان گردیده است، مطابقت دارد. حداکثر میزان افت رخ داده در دشت جیرفت در این دوره ۲۸/۲ متر می‌باشد که نشان دهنده این نکته است که افت آب زیرزمینی در نقاط مختلف دشت صورت می‌گیرد اما شدت آن در مناطق مختلف متفاوت است که این به دلیل ساختار پیچیده آبخوان، میزان برداشت و تراکم چاه‌های بهره‌برداری، و همچنین نوع کاربری‌های موجود در منطقه (افزایش اراضی کشاورزی در دهه اخیر و کاهش زمین‌های بایر و تبدیل شدن آن‌ها به اراضی بیابانی) هست که با نتایج جعفری و همکاران (۱۳۹۸) که شهر کشکوییه رفسنجان به طور متوسط بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی را به میزان ۲۹/۴۲ را به خود اختصاص داده است، مطابقت دارد لذا این این افت ۲۸/۲ متر در دشت جیرفت که طی این مدت بیلان آن روند منفی داشته است زنگ خطری برای مردم این مناطق می‌باشد و می‌بایست به عنوان اولین منطقه در این دشت به منظور جلوگیری از بهره‌برداری بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی اقدامات لازم صورت پذیرد.

در نهایت سناریوهای مدیرتی در دوره (۱۳۹۸-۱۴۱۰) حاکی از آن است که تحت سناریوی ثابت، ۲۰ و ۴۰ درصد افزایش، ۲۰ و ۴۰ درصد کاهش برداشت از آبخوان متوسط افت به ترتیب به میزان ۲۵/۵۶، ۳۲/۳۷، ۳۸/۵۰، ۱۵/۴۳ و ۹/۲۰ متر رخ داده است. مبتنی بر این تغییرات سناریوهای مدیریتی ۲۰ و ۴۰ درصد کاهش برداشت آب از آبخوان

دشت جیرفت ۱۰/۱۳ و ۱۶/۳۶ متر افزایش سطح آب زیرزمینی را در پی خواهند داشت. از طرفی در سناریو ۲۰ و ۴۰ درصد افزایش برداشت از سطح آب زیرزمینی به ترتیب حدود ۲۱۴ (۴/۵۶ درصد) و ۲۳۶۹ (۵۰ درصد) چاه بهره‌برداری در منطقه خشک خواهد گردید که با نتایج Varalakshmi و همکاران (۲۰۱۴) در حوضه آبخیز Musi هند که بیانگر آن بود که در صورت اعمال سناریو برداشت ثابت آب از آبخوان با بیلان ۱۲- میلیون مترمکعب در سال حدود ۴۰ درصد چاه‌های بهره‌برداری در منطقه خشک خواهد گردید. لذا برای جلوگیری از این وضعیت کاهش سطح مزارع برنج را به میزان ۴۰ درصد و افزایش سطح سبزیجات و گل‌ها را به میزان ۳۰ درصد پیشنهاد نمودند، مطابقت دارد. با توجه به اینکه محدودیت‌ها در توسعه بهره‌برداری از آب زیرزمینی می‌تواند کمی یا کیفی باشد، لذا نتایج بیلان آب زیرزمینی حاکی از آن است که افزایش ۲۰ و ۴۰ درصدی برداشت از سطح سفره‌های آب زیرزمینی نسبت به سناریو ثابت منجر به کاهش ۳۰ و ۸۲ درصدی ذخایر سالانه آبخوان می‌گردد که با توجه به کاهش شدید سطح سفره در دوره‌های آتی افزایش برداشت از سطح آبخوان توصیه نمی‌گردد. در حالی که کاهش برداشت ۲۰ و ۴۰ درصد به ترتیب منجر به افزایش ۳۹/۵۴ و ۶۳/۳۷ درصد ذخایر آبخوان می‌گردد. لذا محدودیت کمی در توسعه بهره‌برداری از آب زیرزمینی مربوط به محدوده‌هایی می‌باشد که بیلان آنها منفی است یا به عبارت دیگر میزان جمع عوامل ورودی آب کمتر از جمع عوامل خروجی آب به ویژه برداشت و مصرف است که در نتیجه برای کمک به کمبودهای آبی، بهره‌برداری از ذخائر ثابت آب زیرزمینی و سطحی صورت می‌گیرد و این ذخائر با کاهش حجم مواجه می‌شوند. در نتیجه امکان توسعه بهره‌برداری به لحاظ وضعیت کمی آب نه تنها در این محدوده‌ها وجود ندارد بلکه بایستی از مقدار بهره‌برداری فعلی نیز کاسته شود. در محدوده مطالعاتی جیرفت بطورکلی باتوجه به نامتعادل بودن منابع آب و جهت جبران کاهش حجم مخزن ادامه‌دار محدودیت بهره‌برداری از لحاظ کمی وجود داشته و می‌بایست میزان برداشت در این محدوده مطالعاتی به میزان ۹۰/۷۱ میلیون مترمکعب کاهش یابد.

همچنین نتایج نشان داد که با وجود روند نزولی منابع آب زیرزمینی در دشت جیرفت رفتار کشاورزان تحت الگوی تغییر منابع آبی قرار نگرفته است و محصولات با نیاز آبی بیشتر در الگوی کشت منطقه با مقبولیت بیشتری مواجه شده اند و کشاورزان تمایل به توسعه کشت این محصولات داشته اند. بر اساس نتایج اراضی زیر کشت محصول پرتقال و خرما که نیاز آبی بالایی دارند در الگوی کشت کشارزان طی سه دهه گذشته بنا به دلایل اقتصادی و جذابیت سرمایه‌گذاری سهم بیشتری به خود اختصاص داده‌اند. این مسئله بی‌شک نیاز به منابع آبی را شدیدتر کرده است. به باور برخی محققین ((حسن زاده و همکاران، ۲۰۱۲؛ فاضل و همکاران، ۲۰۱۷) به نقل از شیر محمدی و همکاران، ۲۰۲۰) بازار خوب برخی محصولات کشاورزی عامل مهمی برای جذب سرمایه‌گذار شهری در این بخش شده است و برای تأمین نیاز آبی اراضی گسترش توسعه یافته برداشت بیشتر از منابع آبی سطحی و زیر زمینی الزامی است. نتایج مال و ناتالی (۲۰۱۹) در کالیفرنیای آمریکا نیز نشان داد محصولات باغی چند ساله طی سی سال ۳ برابر شده اند و درازمدت به غیر از آسیب به منابع آبی سبب کاهش درآمد کشاورزان به دلیل نوسانات منابع آبی خواهد شد. همچنین روان و همکاران (۲۰۲۰) تأیید کردند که الگوی کشت محصولات در آسیای مرکزی به سمت محصولات آب بر تغییر کرده است و نشان دادند تغییرات اقلیمی تنها ۳۵ درصد بر افزایش نیاز آبی مصولات زراعی تأثیر داشته و ۶۵ درصد افزایش حجم نیاز آبی بدلیل افزایش سطح زیر کشت محصولات بوده است. از نظر آنها با توجه به پیش بینی شرایط آینده، بهینه سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی و کنترل توسعه سطح زیر کشت اراضی با هدف کاهش نیاز آبی محصولات کشاورزی می‌تواند به کاهش بحران آب کمک کند. مطالعه هوان و همکاران (۲۰۲۰) نیز تغییر مکانی الگوی کشت را در اراضی کشاورزی شمال شرقی چین نشان دادند. آنها اعتقاد داشتند برای کاهش کمبود آب در منطقه، گسترش محصول به مناطقی که دارای بحران آب هستند باید محدود شود. نشان دادند که توسعه سطح زیر کشت محصولات بحران آب را تشدید کرده است و همچنین به نقش کلیدی توسعه مکانی محصولات بر بحران کمبود آب و مدیریت منابع آب اشاره کرده‌اند. به

باور آنها تغییرات مکانی محصولات این مسئله را روشن می سازد که بایستی الگوی فعلی تولید محصولات کشاورزان در سطح مناطق با توجه به درنظر گرفتن نفش و جایگاه آن در الگوی تولید ملی بهینه سازی شود. بر این اساس به نظر می‌رسد توسعه محصولات باغی با نیاز آبی بالا در دشت جیرفت می تواند از عوامل تشدید کننده تخریب منابع آبی در این دشت باشد.

از آنجایی که از دشت جیرفت به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی کشور نام برده می‌شود و برای ساکنین این منطقه کشاورزی مهمترین منبع اقتصادی محسوب می‌شود، لذا ضروری است که برنامه‌ریزی برای حفظ و عدم توسعه کشت محصولات با نیاز آبی بالا مثل خرما و پرتقال در الگوی کشت دشت جیرفت با توجه درجه بحران آب در نقاط مختلف دشت صورت پذیرد.

منابع

بانژاد، ح.، محب‌زاده، ح.، قبادی، م.، حیدری، م. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی عددی جریان و انتقال آلودگی در آب‌های زیرزمینی مطالعه موردی: آبخوان دشت نهاوند، دانش آب و خاک، ۲۳(۲)، ص ۵۷-۴۳.

براتی، خ.، عابدی کوپایی، ج.، درویشی، ا.، آذری، آ.، یوسفی، ع. ۱۳۹۷. برآورد نیاز خالص آبیاری گیاهان الگوی کشت دشت کرمانشاه و مقایسه آن با دادههای سند ملی آب. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۲۳ (۴)، ۵۴۳-۵۵۳.

بیات ورکشی، م.، فصیحی، ر.، زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی عددی مسیر جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت همدان-بهار، مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، ۱۱(۱)، ص ۶۲-۴۹.

بینا، ف.، بذرافشان، ا. ۱۳۹۶. تحلیل روند شوری آب‌های زیرزمینی دشت جیرفت و ارتباط آن با روند دبی و باران، سومین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه (تقاضا محوری آب)، کرج، موسسه تحقیقات خاک و آب.

پرهیزکار، س.، اژدری، خ.، امامقلی‌زاده، ص. ۱۳۹۳. مدل‌سازی تغییرات کمی آب زیرزمینی دشت دامغان در یک دوره ۱۰ ساله، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود. ص ۲.

پناهی، م.، میثاقی، ف.، عسگری، پ. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی و تخمین نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از GMS (بررسی موردی دشت زنجان)، نشریه علوم محیطی، ۱۶(۱)، ص ۱۴-۱.

جبال‌بارزی، ب.، خسروی، ح.، طویلی، ع. ۱۳۹۶. بررسی اثرات تاغکاری بر روی آبخوان دشت جعفریه قم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

جعفری، ح.، علمداری، س.ص.، زاینده‌رودی، ا. ۱۳۹۰. بررسی عوامل زمین شناسی تاثیرگذار بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت جیرفت، فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، ۴(۴)، ص ۱۰-۱.

جعفری‌گدنه، م.، تاج‌الدینی، م.، بختیارپور، ا. ۱۳۹۸. بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی در دشت رفسنجان، اولین کنفرانس بین المللی دانشمندان جاده ابریشم.

جمهور، ر.، ایل‌بیگی، م.، مرسلی، م. ۱۳۹۸. ارزیابی بحران فرونشست زمین و پیشروی آب شور دریا در آبخوان دشت میناب، اکوهیدرولوژی، دوره ۶، شماره‌ی ۱، ص ۲۳۸-۲۲۳.

حاجی‌نژاد، ع.، پایدار، ا.، درینی، ج. ۱۳۹۳. الویت‌بندی راهکارهای تعادل بخشی به برداشت آب زیرزمینی در تواحی روستایی دشت جیرفت با استفاده از تکنیک MOORA، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۵(۱۸)، ص ۱۸-۱.

سلیمانی ساردو، ف.، برومند، ن.، آذره، ع. ۱۳۹۵. بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت جیرفت، مرتع و آبخیزداری، ۶۹(۴)، ص ۹۳۲-۹۲۲.

شاهی‌دشت، ع.، عباس‌نژاد، ا. ۱۳۹۰. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تخلیه سفره آب زیرزمینی دشت جیرفت و پیش‌بینی شرایط در آینده. تحقیقات منابع آب ایران، ۷(۱)، ص ۸۱-۷۷.

شرکت مهندسین مشاور بررسی منابع آب. ۱۳۹۵. جلد پنجم، بهنگام سازی بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبخیز هامون جازموریان منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، بیلان منابع آب محدوده مطالعاتی جیرفت (۴۵۰۳).

صمدی، ر.، بهمنش، ج.، رضایی، ح. ۱۳۹۳. بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ارومیه)، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۲(۴)، ص ۸۴-۶۷.

عزیزی، ف.، اصغری مقدم، ا.، ناظمی، ا. ۱۳۹۸. شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی و نفوذ آب شور در آبخوان دشت ملکان، نشریه علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۳(۴۵)، ص ۴۴-۳۲.

فاریابی، م.، کلانتری، ن.، نگارستانی، ا. ۱۳۸۹. ارزیابی عوامل موثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت جیرفت با استفاده از روش‌های آماری و هیدروشیمیایی، نشریه علوم زمین، ۲۰(۷۷)، ص ۱۲۰-۱۱۵.

کاردان مقدم، ح.، بنی‌حبیب، م.، جوادی، س. ۱۳۹۶. تحلیل پایداری کمی سامانه‌ی آبخوان (مطالعه موردی: خراسان جنوبی-آبخوان بیرجند)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۱(۶)، ص ۱۶۰۱-۱۵۸۷.

کریمی، م. و جلینی، م. (۱۳۹۶). بررسی شاخص های بهره وری آب کشاورزی در محصولات مهم زراعی، مطالعه موردی: دشت مشهد (یادداشت فنی). آب و توسعه پایدار، ۴(۱)، ۱۳۸- ۱۳۳.

Anderson, M. P., & Woessner, W. W. Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport. San Diego Academic Press, 1992.

Adeli Sardoie, M., Hayati, B., Zarifian, S., Hosseini Nasab, S., Mohammad Rezaie, R. (2011). Comparison of Sustainable Agriculture of Practices in Vegetables of Jiroft County (Case Study: Onions, Potatos and Tomatos). Journal of agricultural science and sustainable production, 21(1), 15-28.

Baalousha, H. M. (2016). Development of a groundwater flow model for the highly parameterized Qatar aquifers. Modeling Earth Systems and Environment, 2(2), 67.

Barati, A. A., Azadi, H., & Scheffran, J. (2019). A system dynamics model of smart groundwater governance. Agricultural water management, 221, 502-518.

Compendex, S. (2016). Assessment of Groundwater in Ghataprabha Sub-Basin Using Visual MODFLOW Flex. Assessment, 9(04), 1376-1382.

de Graaf, I. E., van Beek, R. L., Gleeson, T., Moosdorf, N., Schmitz, O., Sutanudjaja, E. H., & Bierkens, M. F. (2017). A global-scale two-layer transient groundwater model: Development and application to groundwater depletion. Advances in Water Resources, 102, 53-67.

Doherty, J., & Johnston, J. M. (2003). Methodologies for calibration and predictive analysis of a watershed model 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 39(2), 251-265.

El Yaouti, F., El Mandour, A., Khattach, D., & Kaufmann, O. (2008). Modelling groundwater flow and advective contaminant transport in the Bou-Areg unconfined aquifer (NE Morocco). Journal of Hydro-environment Research, 2(3), 192-209.

Fader, M., Shi, S., Von Bloh, W., Bondeau, A., & Cramer, W. (2016). Mediterranean irrigation under climate change: more efficient irrigation needed to compensate for increases in irrigation water requirements. Hydrology and Earth System Sciences, 20(2), 953.

Gleeson, T., Befus, K. M., Jasechko, S., Luijendijk, E., & Cardenas, M. B. (2016). The global volume and distribution of modern groundwater. Nature Geoscience, 9(2), 161-167.

Harbaugh, A. W. (2005). MODFLOW-2005, the US Geological Survey modular ground-water model: the ground-water flow process (pp. 6-A16). Reston, VA: US Department of the Interior, US Geological Survey.

Karimi, L., Motagh, M., & Entezam, I. (2019). Modeling groundwater level fluctuations in Tehran aquifer: Results from a 3D unconfined aquifer model. Groundwater for Sustainable Development, 8, 439-449.

Langevin, C. D., Hughes, J. D., Banta, E. R., Niswonger, R. G., Panday, S., & Provost, A. M. (2017). Documentation for the MODFLOW 6 groundwater flow model (No. 6-A55). US Geological Survey.

Malekzadeh, M., Kardar, S., & Shabanlou, S. (2019). Simulation of groundwater level using MODFLOW, extreme learning machine and Wavelet-Extreme Learning Machine models. Groundwater for Sustainable Development, 9, 100279.

Mall, K. N. and Herman, J. D. (2019). Environ. Res. Lett. 14 (2019) 104014

Niswonger, R. G. (2020). An Agricultural Water Use Package for MODFLOW and GSFLOW. Environmental Modelling & Software, 104617.

Reilly, T. E. (2001). "System and boundary conceptualization in groundwater flow simulation." Chapter B8, Techniques of water-resources investigations, Book 3, U.S. Geological Survey, Denver, CO, 26.

Rossetto, R., De Filippis, G., Borsi, I., Foglia, L., Cannata, M., Criollo, R., & Vázquez-Suñé, E. (2018). Integrating free and open source tools and distributed modelling codes in GIS environment for data-based groundwater management. Environmental Modelling & Software, 107, 210-230.

Ruan, H., Yu, J., Wang, P., & Wang, T. (2020). Increased crop water requirements have exacerbated water stress in the arid transboundary rivers of Central Asia. Science of The Total Environment, 136585.

Shirmohammadi, B., Malekian, A., Salajegheh, A., Taheri, B., Azarnivand, H., Malek, Z., & Verburg, P. H. (2020). Scenario analysis for integrated water resources management under future land use change in the Urmia Lake region, Iran. Land Use Policy, 90, 104299.

Simmers, I. (Ed.). (2013). Estimation of natural groundwater recharge (Vol. 222). Springer Science & Business Media.

Sundararajan, N., & Sankaran, S. (2020). Groundwater modeling of Musi basin Hyderabad, India: a case study. Applied Water Science, 10(1), 14.

Todorov, O., Alanne, K., Virtanen, M., & Kosonen, R. (2020). A method and analysis of aquifer thermal energy storage (ATES) system for district heating and cooling: A case study in Finland. Sustainable Cities and Society, 53, 101977.

Trenberth, K. E., Smith, L., Qian, T., Dai, A., & Fasullo, J. (2007). Estimates of the global water budget and its annual cycle using observational and model data. Journal of Hydrometeorology, 8(4), 758-769.

uai, H., Chen, X., Huang, J., & Chen, F. (2020). Water-Scarcity Footprint Associated with Crop Expansion in Northeast China: A Case Study Based on AquaCrop Modeling. Water, 12(1), 125.

Varalakshmi, V., Venkateswara Rao, B., SuriNaidu, L., & Tejaswini, M. (2014). Groundwater flow modeling of a hard rock aquifer: case study. Journal of Hydrologic Engineering, 19(5), 877-886.

Wang, T., Franz, T. E., Yue, W., Szilagyi, J., Zlotnik, V. A., You, J., ... & Young, A. (2016). Feasibility analysis of using inverse modeling for estimating natural groundwater recharge from a large-scale soil moisture monitoring network. Journal of Hydrology, 533, 250-265.

Xiang, Z., Bailey, R. T., Nozari, S., Husain, Z., Kisekka, I., Sharda, V., & Gowda, P. (2020). DSSAT-MODFLOW: A new modeling framework for exploring groundwater conservation strategies in irrigated areas. Agricultural Water Management, 232, 106033.

Predicting groundwater level changes in Jiroft plain and its relationship with developing cropping pattern of horticultural crops

Mohsen Adeli Sardooei[1], Ali Asadi[2], Khalil Kalantari[3], Ali Akbar Barati[4], Hassan Khosravi[5]

Abstract

In recent years, groundwater overexploitation has led groundwater depletion Jiroft plain and considering the strategic role of this plain in supplying water required for agricultural products, planning to improve the water resources of this plain is essential. Therefore, the purpose of this study was to investigate the effects of groundwater resources management in Jiroft plain in the past (2005-2019) and the near future (2019-2031) using GMS10.4 software based on hydrological, hydrogeological and Topographic data. Also, to investigate the impact of water resources changes on crops cultivation pattern, changes in cultivation pattern of major horticultural crops in terms of their water requirement in Jiroft plain were studied using information and statistics of major horticultural crops in Jiroft plain during the last three decades. The results showed that aquifer has yearly faced with a decline about 0.86 m during the baseline period (2005-2019), which indicates overexploitation of groundwater resources in this plain. The aquifer status was predicted in the future under different scenarios using the GMS 10.4 model. Also, studying the development trend of major horticultural products in Jiroft plain showed that despite the declining trend of groundwater resources over the past three decades, the share of horticultural products with high water requirement has been increased in the crop cultivation pattern of this plain and the behavior of farmers to develop the pattern of agricultural products cultivation has been influenced by factors except groundwater resources limitations. Therefore, it is suggested that scenarios of reducing groundwater resources exploitation in Jiroft plain and also paying attention to cultivation pattern appropriate to water resources in different parts of the plain should be a priority for agricultural planners.

Keywords: Agriculture, Jiroft plain, Groundwater, Scenario, Water requirement

[1] Dept. of Agricultural Management and Development, University of Tehran, Tehran, Iran; Assistant Professor, Dept. of agricultural economics, University of Jiroft, Kerman, IranEmail: mohsen.adelis@ut.ac.ir

[2] Professor, Dept. of Agricultural Management and Development, University of Tehran, Tehran, Iran; Aasadi@ut.ac.ir (Corresponding author)

[3] Professor, Dept. of Agricultural Management and Development, University of Tehran, Tehran, Iran; khkalan@ut.ac.ir

[4] Assistant Professor, Dept. of Agricultural Management and Development, University of Tehran, Tehran, Iran; aabarati@ut.ac.ir

[5] Associate Professor, Dept. of Arid and Mountainous Regions Reclamation, University of Tehran, Tehran, Iran; hakhosravi@ut.ac.ir

Predicting groundwater level changes in Jiroft plain and its relationship with developing cropping pattern of horticultural crops

Mohsen Adeli Sardooei[۱], Ali Asadi[۲], Khalil Kalantari[3], Ali Akbar Barati[4], Hassan Khosravi[۳]

Introduction

In recent years, with increasing population and rapid industrial development and agricultural modernization, groundwater resources are gradually declining. Groundwater resources are stored below the surface away from direct observation, so a full understanding of their characteristics is very time consuming and expensive for many long-term studies, so groundwater models They are a good tool for continuous monitoring of the quantity of aquifers. Simulation of groundwater flow by mathematical models is an indirect method for solving problems at a lower cost than direct methods. MODFLOW and GSFLOW software provide a powerful decision support tool for the optimal use of water in agriculture that can maximize the understanding of water resources in agricultural basins and provide relevant information on water balance and system response. Also it can provide future forecasts of sustainability and management of water resources changes. Considering the position of the agricultural sector in the employment of the region and the importance of the products of this plain in ensuring food security of the society, the evaluation of groundwater resources management of Jiroft plain in the last decade and its future forecast is of special importance. Therefore, in this study, the status of water resources in Jiroft plain was studied and its future trend was predicted to provide a better picture of the future of water resources in different parts of the plain to address water-related issues in regional development programs with better knowledge. In the second part of the research, by examining the trend of changing the area under cultivation of main horticultural crops in Jiroft plain during the last three decades, water consumption pattern and temporal and spatial development trend of these crops in Jiroft plain were determined to plan agricultural decision makers. Better management of water resources to be used.

Methodology

In this study, to investigate the status of groundwater aquifer, groundwater data along with wells operated by Iran Water Resources Management Company (Tamab) and monthly rainfall data of Jiroft synoptic station in the period (2005-2019) The Meteorological Organization was used. Groundwater Modeling System (GMS) is a software package that provides researcher studies with robust models such as MODFLOW to simulate various groundwater problems. One of the models that GMS supports is MODFLOW. In the second part of this research, the development process of major horticultural products from the perspective of water needs was studied. For this purpose, based on information and statistics, the area under cultivation of agricultural products during the last three decades from 1990 to 2020 was studied. NETWAT software, which is known as the national irrigation document of the country and is widely used by experts in agriculture and water resources.

Discussion and conclusion

The results showed that in the base period (2005-2019) the average annual aquifer has a drop of 0.86 m, which indicates the overuse of groundwater resources and the digging of many unauthorized wells in the case area. The maximum amount of drop occurred in Jiroft plain in this period is 28.2 meters,

[۱] Dept. of Agricultural Management and Development, University of Tehran, Tehran, Iran; Assistant Professor, Dept. of agricultural economics, University of Jiroft, Kerman, Iran: Mohsen.adelis@ujiroft.ac.ir
[۲] Professor, Dept. of Agricultural Management and Development, University of Tehran, Tehran, Iran; Aasadi@ut.ac.ir (Corresponding author)
[3] Professor, Dept. of Agricultural Management and Development, University of Tehran, Tehran, Iran; khkalan@ut.ac.ir
[4]Assistant Professor, Dept. of Agricultural Management and Development, University of Tehran, Tehran, Iran; aabarati@ut.ac.ir
[5] Associate Professor, Dept. of Arid and Mountainous Regions Reclamation, University of Tehran, Tehran, Iran; hakhosravi@ut.ac.ir

which indicates that groundwater drop occurs in different parts of the plain, but its intensity is different in different areas, which is due to the complex structure of aquifer and the amount of harvesting and density of exploitation wells, as well as the type of land uses in the region (increase of agricultural lands in the last decade and decrease of barren lands and their conversion into desert lands). The results also showed that despite the declining trend of groundwater resources in the Jiroft plain, farmers' behavior has not been under the pattern of changing water resources and products with high water requirment are more acceptable in the region's cultivation pattern and farmers tend to develop cultivation of these crops. Based on the results, the lands under cultivation of oranges and dates, which have a high water requirement, have had a greater share in the cultivation pattern of farmers during the last three decades due to economic reasons and investment attractiveness. This has undoubtedly exacerbated the need for water resources. According to some researchers, the good market of some agricultural products has become an important factor in attracting urban investors in this sector, and in order to meet the water needs of the developed lands, more extraction of surface and groundwater resources is a must. Based on this, it seems that the development of horticultural products with high water requirment in Jiroft plain can be one of the factors intensifying the destruction of water resources in this plain. Since Jiroft plain is mentioned as one of the agricultural hubs of the country and is the most important economic resource for the residents of this region, so it is necessary to plan to maintain and not develop crops with high water requirements such as dates and oranges in the cultivation pattern of this plain should be done according to the degree of water crisis in different parts of the plain.

The most mostimportant references:

Barati, A. A., Azadi, H., & Scheffran, J. (2019). A system dynamics model of smart groundwater governance. Agricultural water management, 221, 502-518.

Fader, M., Shi, S., Von Bloh, W., Bondeau, A., & Cramer, W. (2016). Mediterranean irrigation under climate change: more efficient irrigation needed to compensate for increases in irrigation water requirements. Hydrology and Earth System Sciences, 20(2), 953.

Shirmohammadi, B., Malekian, A., Salajegheh, A., Taheri, B., Azarnivand, H., Malek, Z., & Verburg, P. H. (2020). Scenario analysis for integrated water resources management under future land use change in the Urmia Lake region, Iran. Land Use Policy, 90, 104299.