نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد 31، شماره 2، تابستان 1396، ص. 195-179

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 31, No. 2, Summer 2017, p. 179-195

شبیه‌سازی توسعه سیستم‌های مدرن آبیاری بر تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی خراسان رضوی

شجاعت زارع[1*] - حمید محمدی[2] - محمود صبوحی[3]

تاریخ دریافت: 1396/02/26
تاریخ پذیرش: 1396/05/14

چکیده

استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی از دغدغه های نیم قرن اخیر بوده است.در این مطالعه تاثیر گسترش سیستم های نوین آبیاری و سرمایه‌گذاری در تجهیزات آب اندوز در مرحله انتقال و مصرف آب در بخش کشاورزی بر تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی استان خراسان رضوی، با استفاده از معادله تعادل آبهای زیرزمینی و شبیه‌سازی جزء برداشت و تغذیه منابع آب زیرزمینی توسط بخش کشاورزی، مورد مورد تحلیل جزئی قرار گرفت. برای این منظور، در شرایط تعادل، تاثیر سناریوهای مختلف بر روی کسری مخزن، میزان برداشت آب از چاه‌های کشاورزی و مصرف انرژی و آثار اقتصادی آن برای کشاورزان و بودجه دولت بررسی شد. اطلاعات مربوط به منابع آبی، الگوی کشت و هزینه‌های تولید 5 شهرستان در سال 1392 با استفاده از پرسشنامه و اطلاعات اسنادی جمع آوری گردید. سناریوهای مورد مطالعه شامل: 1- افزایش راندمان انتقال از طریق تغییر کانالهای خاکی به لوله به 95 درصد، 2- افزایش سطح زیر کشت آبیاری تحت فشار در مناطق مستعد، 3-انجام دو سناریوی اول و دوم با هم، 4-انجام سناریو سوم و افزایش راندمان مصرف در سیستم های آبیاری مدرن به 75 درصد، 5-انجام سناریو سوم و افزایش راندمان مصرف در سیستم های آبیاری مدرن به 85 درصد، 6- اجرای سناریو اول و افزایش سطح زیر کشت سیستم‌های آبیاری تحت فشار تا دو برابر پیش بینی اولیه بود. همچنین تاثیر تاثیر کاهش یارانه انرژی الکتریکی و افزایش عملکرد نیز هر یک در قالب چهار سناریو بررسی شد. نتایج مطالعه نشان داد که تحت شرایط عدم تغییر کل سطح زیرکشت، میزان تاثیر سرمایه‌گذاری در تجهیزات انتقال آب تاثیر بسیار بیشتری بر کنترل کسری مخزن و کاهش مصرف انرژی دارد. از طرف دیگر، تنها با گسترش سیستم های نوین آبیاری در سطح مزارع و باغ‌ها، تعادل سازی در منابع آب زیرزمینی محقق نخواهد شد بلکه افزایش راندمان بکارگیری سیستم‌ها از طریق بهبود مدیریت استفاده از آنها و کنترل سطح زیرکشت نیز باید تحقق یابد. در این رابطه در برخی مناطق کاهش سطح زیر کشت اجتناب ناپذیر است. بررسی اقتصادی سناریوهای مورد مطالعه نشان داد که نصب کنتور حجمی و لوله گذاری کانال‌های انتقال و توزیع آب باید در اولویت قرار گیرد. همچنین اجرای سیستم‌های آبیاری تحت فشار در مزارع و باغ ها باید همراه با نظارت و آموزش کافی باشد تا امکان افزایش راندمان مصرف و همچنین افزایش تولید فراهم شود و الا جایگزینی روش‌های نوین آبیاری به جای سنتی، به تنهایی تاثیر کمی بر کاهش مصرف آب خواهد گذاشت. گسترش سیستم‌های نوین آبیاری با مدیریت فعلی مزارع زارعین توجیه اقتصادی ندارد و با در نظر گرفتن یارانه انرژی زیان آور نیز می باشد.

واژه های کلیدی: راندمان آبیاری، ارزیابی اقتصادی، خراسان رضوی، اولویت‌های سرمایه‌گذاری، تعادل بخشی آب زیرزمینی

مقدمه

استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی از دغدغه های نیم قرن اخیر بوده است. اگر چه تعدادی از کشورها سال‌های زیادی است که این موضوع را مورد توجه قرار داده اند(9، 16، 23 و 29). اما در ایران علیرغم هشدار متخصصین در دو دهه اخیر، به تازگی به شدت مورد توجه بویژه مسئولین دولتی قرار گرفته است که دلیل آن نیز بروز آثار استفاده غیر پایدار از این منابع بوده است. در راستای تامین امنیت غذایی به عنوان مهمترین رسالت بخش کشاورزی و به عنوان انتظارجامعه از وزارت جهادکشاورزی این وزارت خانه اهدافی را در دستور کار خود قرار داده که افزایش بهره وری و حفاظت کمی و کیفی منابع آب و خاک، حرکت در چارچوب اصول توسعه پایدار و مدیریت بهینه مصرف آب، کمک به تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی در سطح دشت‌ها از جمله آنها است. در این رابطه، مدیریت مصرف، جزیی از مدیریت تقاضا می باشد که ناظر بر افزایش بهره وری، کاهش تلفات و مصارف غیرضروری از طریق جلوگیری از نشت، تبخیر و بکارگیری تکنولوژی مناسب می باشد که بایستی با مشارکت کلیه دست

1- دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی و عضو هیات علمی بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: Shojaat168@gmail.com
2- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل
3- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
DOI: 10.22067/jead2.v31i2.63830

اندرکاران و ذینفعان صورت گیرد(22).

مطالعه بررسی وضعیت منابع آبی استان خراسان نشان داده که کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و افزایش دشت‌های بحرانی، صرفا ناشی از خشکسالی نبوده بلکه برداشت بی رویه منجر به این وضعیت شده بطوری که در سال‌های ترسالی نیز افت آب‌های زیرزمینی مشاهده شده است که پیامدهایی همچون، مهاجرت روستائیان، بالا رفتن هزینه پمپاژ آب، شور شدن آب زیرزمینی، نشست زمین ، ایجاد شکاف در سطح دشت‌ها و مشکلات زیست محیطی را در پی داشته است (31). در این میان اولین نشان اتهام به سمت بخش کشاورزی به عنوان مصرف کننده عمده آب رفته و با توجه به راندمان‌های برآوردی از سوی کارشناسان این فرضیه قوت گرفته که با افزایش راندمان در این بخش می توان مشکل استفاده بی رویه از آب را کنترل و یک سیستم پایدار بهره برداری را جایگزین آن نمود (3). استفاده از سیستم‌های آبیاری مدرن از طریق بهبود توزیع آب در سطح مزرعه و کاهش خروج آب از دسترس گیاه موجب افزایش راندمان آبیاری می‌شود اما در این سیستم‌ها با کاهش آب نفوذ یافته به منابع زیر سطحی و افزایش تبخیر و تعرق، در صورت عدم کاهش برداشت آب از چاه ممکن است نتواند منجر به ایجاد تعادل در منابع آب زیرزمینی شود. بطور مثال احمد و همکاران (2) با بررسی تاثیر برنامه های حفاظت از آب و خاک بر روی میزان کاهش مصرف آب در ایالت پنجاب پاکستان به این نتیجه رسیدند که علیرغم کاهش مصرف آب در واحد سطح، در مجموع در سطح حوزه به دو دلیل کاهش مصرف اتفاق نیفتاده است. اول به خاطر کاهش آب نشتی به سفره‌ها به علت اجرای برنامه های حفاظتی، آب نفوذی به سفره‌ها کم اما با تبخیر و تعرق از دسترس خارج شده است. دوم به خاطر افزایش تقاضا برای آب که ناشی از افزایش سودآوری کشاورزی با اجرای برنامه حفاظتی اتفاق افتاده است. این مسئله در امریکا نیز اتفاق افتاده است (23). وارد و پولیدو-والازکیوز (33) با بررسی تاثیر اعطای یارانه جهت توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار در امریکای شمالی نشان دادند اگرچه کل آب مصرفی و آب استخراج شده از چاه و رودخانه کاهش یافته است(سطح زیر کشت ثابت است) اما میزان ذخیره سفره آب زیرزمینی و همچنین خروجی رودخانه در پایین دست کاهش را نشان می دهد. علیزاده و همکاران (3) نیز با بررسی وضعیت منابع آبی منطقه ورامین نشان دادند که توسعه سیستم‌های آبیاری مدرن به شرط عدم افزایش سطح زیر کشت می‌تواند منجر به افزایش درآمد و کاهش افت آب‌های زیرزمینی گردد. حجی پور و همکاران (11) با شبیه‌سازی مصرف آب در دشت بجنورد و بررسی سناریوهای مختلف نشان دادند که با گسترش روشهای نوین آبیاری که منجر به افزایش راندمان آبیاری از 37 درصد به 60 درصد می‌شود می توان سالانه 0/64 متر تراز آب در آبخوان‌های آبرفتی را افزایش داد به شرطی که سطح زیر کشت افزایش نیابد. بنابراین در هر جایی که تکنولوژی جدید آب اندوز و یا برنامه‌هایی شبیه برنامه حفاظت آب و خاک درپاکستان، اجرا شود اگر چه مصرف آب در واحد سطح کاهش می یابد اما بدون کاهش سطح زیر کشت و کنترل میزان آب استخراج شده از چاه‌های کشاورزی، مشکل افت آب‌های زیرزمینی همچنان بصورت یک چالش باقی می‌ماند. این در حالی است که حتی در کشورهای پیشرفته نیز از سایر عوامل موثر بر بهره وری آب غفلت نشده است. در واقع میزان مصرف آب، یکی از اجزای بهره وری در بخش کشاورزی بوده و جزء دیگر مربوط به تولید است اگر چه تاثیر این دو جزء بر بهره وری آب بصورت معکوس است اما جزء تولید تحت تاثیر عواملی است که می توانند نقش بسیار بیشتری بر بهره‌وری آب داشته باشند. اگر جزء تصادفی (شامل عوامل غیر قابل کنترل) را از این دسته بندی حذف کنیم، سایر عوامل موثر را می توان به دو قسمت نهاده‌های فیزیکی و غیر فیزیکی تقسیم کرد. استفاده از بذور اصلاح شده و تهیه و تغذیه مناسب بستر کاشت، از مهم ترین عوامل دسته اول، و بهره‌گیری از دانش و مدیریت بکارگیری از نهاده‌ها در دسته دوم جای دارند. تعیین سهم هر یک از این اجزاء در رسیدن به حد نهایی بهره‌وری آب مشکل، و میزان آنها نیز از یک محصول به محصول دیگر و از یک منطقه به منطقه‌ای دیگر متفاوت و با تغییر تکنولوژی نیز تغییر می‌کند. ابزارهایی که کشورها جهت کنترل استفاده از آب‌های زیرزمینی استفاده کرده‌اند، متناسب با شرایط خودشان بوده است. بطور مثال در هندوستان با تفکیک انرژی مصرفی چاه‌های کشاورزی از مصارف دیگر و محدود کردن انرژی مورد نیاز جهت برداشت آب چاه (8ساعت در روز)، استخراج آب از منابع زیرزمینی را کنترل کرده‌اند. با این کار ضمن کاهش مصرف آب، میزان مصرف انرژی در سال 2007 نسبت به سال 2002، 37 درصد و یارانه دولتی 50 درصد کاهش یافته است (27). هو (12) نشان داد که جهت توقف کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در شمال چین بایستی 29/2 درصد از میزان آبیاری کاسته شود و اگر این کاهش به 39/2 درصد برسد سطح آب‌های زیرزمینی به سال 1956 که زمان شروع استخراج آب توسط پمپ‌های الکتریکی بود می رسد. اگر چه رسیدن به این هدف با بکارگیری سیستم‌های مناسب آبیاری منجر به کاهش ده درصدی تولید می‌شود اما با توجه به منافع زیست محیطی حاصل، مقرون به صرفه است.

استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی یکی از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر به مقدار زیادی توسط پژوهشگران جهت مدیریت منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته است (29). ماالو و همکاران (16) با شبیه‌سازی اثرات الگوی آبیاری در سالهای آتی بر منابع آب زیرزمینی شمال چین، نشان دادند که امکان جلوگیری از کاهش آب‌های زیرزمینی تنها از طریق کاهش آبیاری میسر می‌شود. چن وهمکاران (7) با شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی در شمال شرق چین، تاثیرسناریوهای متفاوت شامل کاهش میزان نشت آب از کانال‌های

انتقال (افزایش راندمان انتقال) و همچنین کاهش سهمیه آب کشاورزان، بر کاهش سطح آب‌های زیرزمینی را بررسی کردند. نتایج مطالعه نشان داد که بیشترین تاثیر بر افزایش سطح آب‌های زیرزمینی با کاهش 80 درصدی سهمیه کشاورزان اتفاق می افند ضمن اینکه تاثیر کاهش 10 درصد سهمیه کشاورزان با کاهش ضریب نشت از کانالها از 0/35 به 0/3 برابر است. این درحالی است که در ایران تغییر در مصرف آب عمدتا از طریق افزایش راندمان آبیاری بخصوص افزایش راندمان کاربرد پی گیری می‌شود. بطوری که برای برنامه های توسعه آبیاری مدرن تا 85 درصد یارانه اعطا می‌گردد. این کار اگر چه به عنوان بخشی از برنامه‌های افزایش بهره وری قابل دفاع است، اما بررسی وضعیت فعلی این سیستم‌ها نشان داده که اجرای این سیستم‌ها به خوبی انجام نشده و راندمان فعلی تکنولوژی‌های نوین تا پتانسیل آنها فاصله زیادی دارد بطوری که متوسط راندمان کاربرد آب آبیاری در سامانه های آبیاری تحت فشار (میانگین بارانی و موضعی) و سطحی طی 25 سال اخیر در کشور به ترتیب حدود 66/6 و 53/6 درصد بوده است (1) لذا این سیستم‌ها در افزایش راندمان مصرف نیز موفق نبوده‌اند و ادامه توسعه آنها با این شیوه کمک زیادی به حفاظت منابع آبی کشور نمی‌کند بخصوص که برای اجرای آنها تا 85 درصد یارانه پرداخت می‌شود. اما سوالی که مطرح می‌شود این است که اگر فرض کنیم با اعمال مدیریت صحیح و نظارت کافی بتوان به پتانسیل تعریف شده برای این سیستم‌ها رسید، با توجه به مطالعات انجام شده در سایر کشورها، آیا گسترش این سیستم‌ها در کشور می‌تواند از افت آب‌های زیرزمینی جلوگیری کند و یا اینکه آن را تشدید می‌کند؟ اگر پاسخ این سوال مثبت باشد، با توجه به اینکه این سیستم‌ها در همه جا قابل اجرا نیستند، ظرفیت نهایی آنها جهت حفظ آب‌های زیرزمینی به چه میزان است؟ از طرف دیگر اجرای این سیستم‌ها علاوه بر هزینه بالا، منجر به افزایش مصرف انرژی می‌شود که یارانه زیادی را به خود اختصاص داده است، از این نظر منافع اقتصادی توسعه این سیستم‌ها به چه میزان است و آیا ادامه این برنامه‌ها توجیه اقتصادی دارد؟ این مطالعه به منظور پاسخ گویی به این سوالات، در استان خراسان رضوی انجام شد. میزان افت آب‌های زیرزمینی در این استان بسیار بالا بوده بطوری که در سال 1392 از 37 دشت آن 19 دشت، ممنوعه و 15 دشت بحرانی گزارش شده است. میزان کسری مخزن نیز 1117 میلیون متر مکعب گزارش شده که بیش از 17 درصد از برداشت را شامل می‌شود (20). افت آب‌های زیرزمینی نیز باعث شده که میزان مصرف انرژی در بخش کشاورزی استان نیز بسیار بالا باشد بطوری که مشترکین برق کشاورزی استان که 5/4 درصد از مشترکین برق کشاورزی کشور را تشکیل می‌دهند، در سال 1392 با مصرف4830 گیگاوات ساعت، 14/5 درصد از برق مصرف شده در بخش کشاورزی کشور را مصرف کرده‌اند (30). این پژوهش با انتخاب چند شهرستان که میزان افت سالانه آب در دشت‌های متناظر آنها بالا است، ضمن بررسی وضعیت فعلی بهره‌برداری از منابع آبی در بخش کشاورزی، تاثیر سناریوهای مختلف بر روی کسری مخزن، میزان برداشت آب از چاه‌های کشاورزی و مصرف انرژی و آثار اقتصادی آن برای کشاورزان و بودجه دولت را بررسی کرد.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام مطالعه 5 شهرستان استان شامل شهرستان‌های مشهد، سبزوار، نیشابور، تربت جام و تربت حیدریه انتخاب شدند. این شهرستان‌ها علاوه بر اینکه بر حوزه‌هایی با افت زیاد آب‌های زیرزمینی منطبق هستند، اغلب دارای چند حوزه مشترک بوده و در بین 29 شهرستان استان، بیش از 35 درصد از کل سطح زیرکشت محصولات زراعی و باغی را به خود اختصاص داده‌اند (14) سپس روابط ریاضی زنجیره برداشت آب از منابع زیرزمینی و سطحی و انتقال آن به سطح مزرعه و هم‌چنین جریان های نفوذ و یا استخراج آب از مخازن زیرزمینی و میزان مصرف در مزارع و باغ ها ی مناطق مورد مطالعه در قالب یک مدل شبیه‌سازی گردید. مدل، شکل خلاصه شده‌ای از روابط واقعی و یا فرضی سیستم‌های پیچیده می‌باشد و هدف از طراحی آن تعیین مشخصات عواملی است که یک نفر تصمیم به پیش بینی، تغییر و یا کنترل آن دارد لذا در برگیرنده کل سیستم نیست (15). بطور کلی مدل‌های تحلیل سیستم را می توان به دو گروه شامل مدل های شبیه‌سازی و مدل‌های بهینه سازی تقسیم کرد. شبیه‌سازی، فرایندی است که به سازمان‌ها کمک می‌کند تا نتایج عملکرد و فرآیند تصمیم گیری خود را با دقت و تفصیل زیاد پیش‌بینی و هزینه ها، منافع و تاثیرات احتمالی پروژه را مشخص نمایند. لذا برای یک پروژه لازم است شبیه‌سازی های متعددی انجام شود. اما جهت یافتن سیاست و یا راه حل بهینه و کاهش تعداد مدلهای شبیه‌سازی شده از مدل های بهینه سازی استفاده می‌شود (17). به وسیله این ابزار کارآمد، می توان هزینه ها و ریسک اتخاذ تصمیم‌های نادرست در سازمان را کاهش داد. مراحل شبیه‌سازی شامل: تعریف مسئله، مشخص کردن اهداف، بیان شرح کلی از سیستم، جمع‌آوری داده‌ها، ساخت مدل، اعتبارسنجی، اجرای مدل، تجزیه و تحلیل نتایج، جمع بندی و ارائه گزارش می باشد (17). شبیه‌سازی به چهار نوع همانی، نیمه همانی، آزمایشگاهی و رایانه ای تقسیم می‌شود. در روش اول خود سیستم به عنوان مدل در نظر گرفته می‌شود. در روش دوم مراحلی از سیستم واقعی که باعث غیر ممکن شدن شبیه‌سازی همانی است، مدل‌سازی می‌شود. در روش سوم بعضی از نماها و اشیای سیستم واقعی، به‌وسیله امکانات آزمایشگاهی ساخته‌شده و بعضی نماها و روابط دیگر به‌وسیله سمبل‌ها جایگزین می‌شوند. در روش چهارم مدل ساخته‌شده، برنامه‌ای

کامپیوتری است که کلیه اشیا و نماهای سیستم، به ساختارهای برنامه‌ای و کلیه مشخصات و رفتار آن، به متغیرها و توابع ریاضی تبدیل شده و قوانین و روابط حاکم بر سیستم و ارتباط‌شان با یکدیگر، در درون برنامه در نظر گرفته می‌شود. (7 و 25) در این مطالعه جهت شبیه‌سازی از روش چهارم و جهت اعتبارسنجی و برآورد برخی پارامترها از روش بهینه یابی استفاده گردید. کلیه اطلاعات مربوط به سال 1392 می باشد. جامعه آماری کلیه آبادی‌های شهرستان های مورد مطالعه بود. به منظور بررسی وضعیت فعلی مصرف آب، با استفاده از پرسشنامه، تعداد و دبی چاه های کشاورزی و سایر منابع تامین آب شامل قنات، چشمه ها، بندها وسدها و همچنین سطوح زیرکشت آبیاری تحت فشار، نحوه انتقال آب به سر مزرعه، میزان لوله کشی و طول کانال‌های خاکی و سیمانی تمام آبادی‌ها با همکاری مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان‌ها تهیه شد. اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت نیز از آمارنامه‌های استان استخراج گردید. اطلاعات هزینه تولید با استفاده از پرسشنامه های سیستم هزینه تولید سازمان جهاد و همچنین تکمیل پرسشنامه‌های لازم بدست آمد. اطلاعات مربوط به میزان برداشت از مخازن در حوزه‌های آبریز، از سازمان آب منطقه‌ای تهیه شد. با استفاده از سیستم GIS، تعداد چاه‌های هر شهرستان در حوزه‌های آبی مشخص، و با توجه به دبی آنها، سهمشان از برداشت حوزه‌ها تعیین شد. از این نسبت جهت تعیین میزان سهم هر شهرستان از افت آب‌های زیرزمینی حوزه‌های مربوطه و آب برداشت شده توسط چاه‌های کشاورزی مطابق با آمار آب منطقه ای استفاده گردید. بطور مثال شهرستان مشهد متشکل از6 حوزه آبی است که بخش‌هایی از این 6 حوزه آبی در مشهد وجود دارد. از 523800 هزار متر مکعب آب برداشت شده توسط چاه‌های کشاوزی حوزه مشهد-چناران میزان 291313 هزار متر مکعب از چاه‌هایی برداشت شده که در شهرستان مشهد قرار دارند و مابقی در شهرستان‌هایی است که بخشی از این حوزه در آنها قرار دارد. بر این اساس سهم سایر چاه‌های شهرستان مشهد که در سایر حوزه‌ها قرار دارند نیز بصورت درصد محاسبه گردید. و در نهایت کل آب برداشت شده از چاه‌های کشاورزی شهرستان مشهد 489932 هزار متر مکعب و سهم این شهرستان از کسری مخزن حوزه‌های مشترک، با ضرب ضرایب درصدی در کل کسری مخزن هر حوزه محاسبه، و با هم جمع شد. در نتیجه سهم چاه‌های کشاورزی مشهد از کسری حوزه های مشترک 63057 هزار متر مکعب برآورد گردید (شکل 1).

میزان نفوذ آب به سفره‌های آب زیرزمینی بیشتر بستگی به بافت خاک، میزان آب و فاصله سفره از سطح زمین دارد. که معمولا توسط روش‌هایی مانند تیسن و ردیآب‌های محیطی در بارش اندازه گیری می‌شود (24) معمولا در محاسبه بیلان، اکثر پارامترها مانند مقدار نفوذ حاصل از بارندگی، مقدار نفوذ از آب‌های سطحی، مقدار آب برگشتی حاصل ازآبیاری، حجم آب خروجی از طریق چاه‌های بهره برداری، و جریانهای ورودی و خروجی زیرزمینی و تغییر حجم ذخیره سفره انداز گیری می‌شود (13). معادله تعادل آب های زیرزمینی(بقاء جرم)، به شرح زیر است (18).

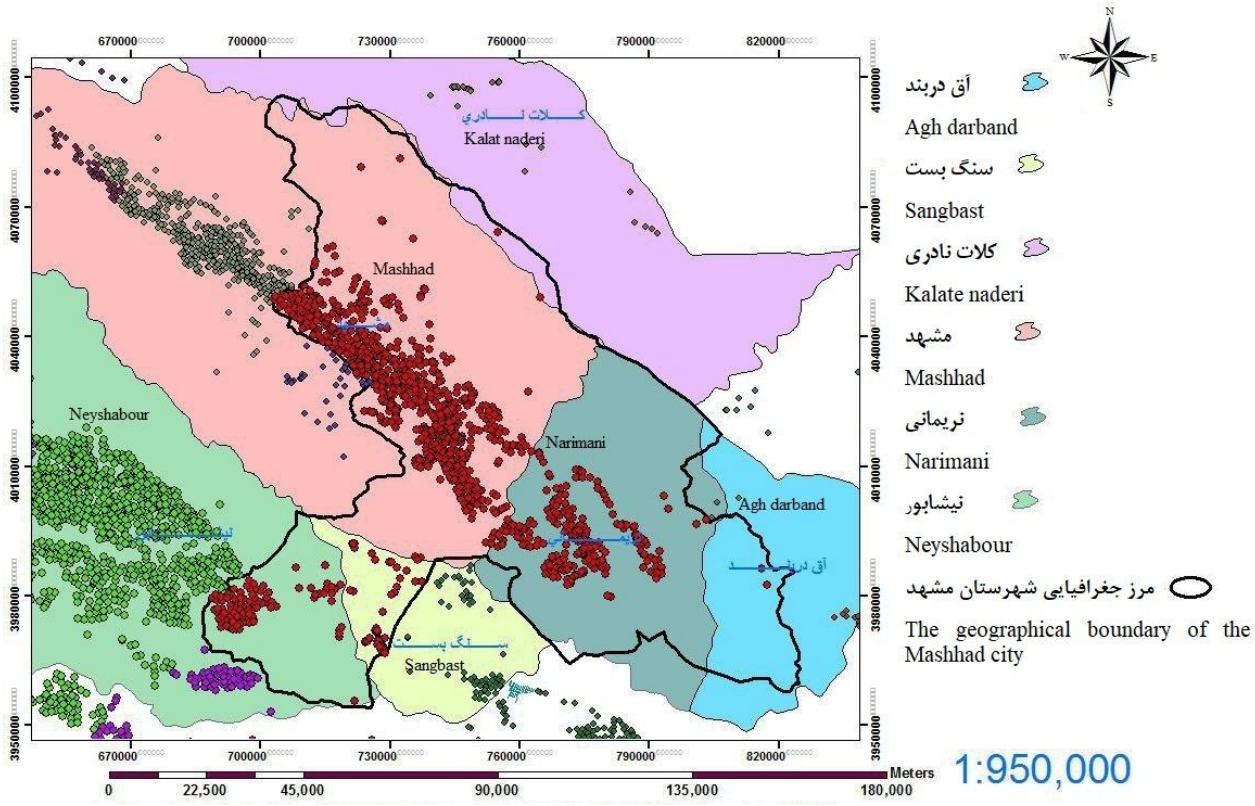
(1)

$$Q_{UI} + Q_p + Q_R + Q_I + Q_{SW} - Q_{UO} - Q_{ex} - Q_D - Q_{ET} \pm \Delta V = 0$$

در این رابطه

Q_{UI}، حجم جریان زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان؛ Qp، حجم جریان آب نفوذی از ریزش های جوی؛ Q_R، حجم آب نفوذ یافته از جریانهای سطحی؛ Q_I، حجم آب برگشتی از آبیاری؛ Q_{SW}، حجم آب برگشتی از طریق فاضلاب ها؛ Q_{UO} ، حجم آب زیرزمینی خروجی از محدوده بیلان؛ Q_{EX} ، حجم آب زیرزمینی بهره‌برداری و تخلیه شده؛ Q_D، حجم آب زیرزمینی تخلیه شده به وسیله زهکش‌های طبیعی و مصنوعی؛ Q_{ET}، حجم آب تبخیر و تعریق شده از سطح آب زیرزمینی و ΔV، تغییرات حجم آب زیرزمینی است. اجزایی که در تعادل دخیل هستند هر ساله بصورت دشتی توسط وزارت نیرو محاسبه و سهم هر بخش از برداشت و میزان کسری مخزن برآورد می‌شود. با توجه به اینکه دو جزء حجم آب برگشتی از آبیاری و همچنین حجم آب بهره‌برداری و تخلیه شده توسط چاه‌های کشاورزی خود دارای اجزایی شامل: سطح زیر کشت، نوع محصول و نوع سیستم آبیاری و انتقال آب قرار دارد، لذا در این مطالعه ابتدا وضعیت تعادلی فعلی بین این دو جزء بر اساس اجزای آنها بصورت ضرایب و متغیرها بصورت ریاضی تعریف گردید (17و 23)، سپس تاثیر تغییر سیستم‌های آبیاری چه به لحاظ شکلی، و چه تغییر در راندمان آنها که از طریق بهبود مدیریت صورت می گیرد، و چه بصورت تغییر در نوع کانال‌های انتقال آب آبیاری، بر تغییرات حجم آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. از آنجا که این تغییرات مستلزم هزینه ها و دربرگیرنده منافع است، هر یک از این تغییرات که در قالب سناریو تعریف شدند، ارزیابی اقتصادی شد. از آنجا که مدیریت منابع آبی در بخش کشاورزی بصورت شهرستانی است، لذا این شبیه‌سازی در سطح شهرستان انجام گردید.

برآورد راندمان انتقال و توزیع آب یکی از پارامترهای مهم مدل می باشد. برای محاسبه تلفات آب در جوی‌های انتقال آب روابط متعددی بصورت تجربی و محاسباتی پیشنهاد شده است که روش دیویس- ویلسون از روشهای معروف می باشد(26). در این روش میزان نشت به عمق آب در کانال، محیط خیس شده آب، سرعت آب و یک ضریب ثابت که بسته به بافت خاک بین 15 تا 25 است، بستگی دارد. از آنجا که جهت تعیین میزان نشتی آب از کانال‌های خاکی نیاز به انجام طرحهای ازمایشی برای کلیه کانال‌ها می باشد و انجام این کار بسیار پرهزینه و زمان بر است، لذا جهت برآورد میزان نشت از کانال در واحد طول از نتایج مطالعه سالمی و سپاسخواه (26) استفاده شد.



شکل 1- موقعیت چاه‌های کشاورزی و حوزه های آبی شهرستان مشهد

Figure1-Position of agricultural wells and watershed of Mashhad city

بر این اساس راندمان انتقال شبکه های سیمانی نیز 92 درصد در نظر گرفته شد. نیاز آبی محصولات از سند ملی آب تهیه شد. با توجه به اینکه مطالعه عرفانیان و همکاران (10) نشان داد که با توجه به تغییرات اقلیمی و افزایش دما، لازم است اطلاعات سند ملی آب کشور مورد بازنگری قرار گیرد از این رو در این مطالعه نیاز آبی محصولات مورد مطالعه بر اساس این مطالعه نیز تعدیل شد. بر اساس مطالعه عباسی و همکاران (1) متوسط راندمان کاربرد آب آبیاری در سامانه‌های آبیاری تحت فشار (میانگین بارانی و موضعی) و سطحی طی 25 سال اخیر در کشور به ترتیب حدود 66/6 و 53/6 درصد بوده است. در این مطالعه، در مدل پایه، راندمان برابر میانگین کشوری در نظرگرفته شد و در سناریوها راندمان مصرف در آبیاری تحت فشار تا 85 درصد ارتقا داده شد. جایگزینی سیستم‌های سنتی به آبیاری مدرن همراه با تغییراتی در تولید و مصرف آب همراه است بر اساس مطالعه باغانی (4) تغییر سیستم های آبیاری رایج (سطحی) به سیستم های آبیاری تحت فشار در 15 مزرعه از مزارع استان خراسان رضوی بیشترین و کمترین درصد افزایش عملکرد محصول را، به ترتیب سیب زمینی با 21 و چغندر قند با 9 درصد داشتند. بیشترین کاهش آب مصرفی، در زراعت‌های ذرت علوفه ای با 49 درصد و کمترین مقدار آن در مزارع سیب زمینی با 34 درصد اتفاق افتاده است. نتایج مطالعه باغانی و همکاران (6) در رابطه با عملکرد 31 چاه که مدیریت خوبی داشتند نشان داد، میزان کاهش برداشت از چاهها 10/1 درصد و متوسط کاهش آب مصرفی در زراعت و باغ های مورد مطالعه 27/5 درصد بوده است. همچنین، مجموع میانگین وزنی عملکرد محصولات حدود 36 درصد و سطح زیر کشت 14/8 درصدی افزایش یافته است بنابراین در این مطالعه دامنه تغییر در تولید بین 10 تا 40 درصد میزان فعلی در نظر گرفته شد. جداول 1و2 پارامترها و متغیرهای روابط شبیه‌سازی شده را نشان می دهد. اندیس i بیانگر مجموعه ماه‌های سال و اندیس j بیانگر مجموعه محصولات زراعی و باغی می باشد. بررسی اولیه نشان داد که میزان آب موجود بسیار کمتر از آب مورد نیاز کشاورزان می باشد. دلایلی که برای این موضوع می توان برشمرد شامل کم آبیاری، دقیق نبودن سطح زیر کشت، برداشت بیش از حد پروانه در فصول مشخص، و چاه‌های غیر مجاز شناسایی نشده دانست. از این رو میزان کم آبیاری کاملا محرز است. در واقع یکی از دلایلی که میزان عملکرد درهکتار نیز پایین است مصرف نکردن آب به میزان لازم می‌باشد، لذا میزان آب مورد نیاز خالص مزراع و باغ ها در هر ماه پس از تعدیل سطح زیر کشت و

اعمال ضریب کم آبیاری توسط روابط(2 و 3) تعریف شد(17و23).

$$Z_i = k_6\left[(1-K_{1i})\sum_j a_i X w_j + (1-K_{2i})\sum_j a_i X s_j\right] \quad (2)$$

$$G_i = k_6(1-K_{3i})\sum_j b_i X o_j \quad (3)$$

رابطه (4) بیانگر میزان آب مورد نیاز جهت آبیاری مزارع و باغ ها در ابتدای کانالهای آبیاری می باشد.

$$W_{1i} = \frac{(G_i + Z_i)}{R} \quad (4)$$

رابطه (5) بیانگر کل آب موجود در ابتدای کانال‌های آبیاری است.

$$W_{2i} = H_i + RI_i \quad (5)$$

رابطه (6) میزان آب استخراج شده از چاه را نشان می دهد. که بستگی به میزان آب منابع به غیر از چاه، و نیاز آبی محصولات دارد.

$$W_{3i} = \left\{ \begin{matrix} H_i \\ w_{1i} - RI_i \\ 0 \end{matrix} \middle| IF \begin{matrix} w_{1i} - RI_i \geq H_i \\ w_{1i} - RI_i < H_i \\ w_{1i} - RI_i \leq RI_i \end{matrix} \right\} \quad (6)$$

رابطه (7) بیانگر آب برداشت شده اضافه بر سهمیه چاه‌های مجاز و غیر مجاز شناسایی شده در ماه است.

$$W_{4i} = W_{1i} - W_{3i} - RI_i \quad (7)$$

جدول 1- مشخصات پارامترهای مدل

Table 1- Parameters description of model

نماد Symbol	تعریف Definition	نماد Symbol	تعریف Definition
W_{1i}	کل نیاز ناخالص آبیاری مزارع و باغها در ماه i(متر مکعب) Total gross irrigation requirement for crops and orchards in month i (m^3)	b_{ij}	نیاز خالص آبیاری محصول باغیj در ماه i(متر مکعب) Net irrigation requirement of orchard j in month i (m^3)
W_{2i}	میزان آب چاه و رودخانه در ماه i (متر مکعب) The amount of river and groundwater in month i (m^3)	Xw_j	سطح زیر کشت محصول زراعی زمستانه jام(هکتار) Culture area of winter crop j
W_{3i}	آب استخراج شده مجاز از چاه در ماه i(متر مکعب) Allowed water extracted from well in month i (m^3)	Xs_j	سطح زیر کشت محصول زراعی تابستانه jام(هکتار) Culture area of summer crop j
W_{4i}	برداشت اضافه از چاه مجاز و یا چاه‌های غیر مجاز شناسایی نشده در ماه i (متر مکعب) Extra water extracted from licensed well or Unauthorized well unidentified in month i(m^3)	Xo_j	سطح زیر کشت محصول باغی jام(هکتار) Culture area of orchard j
W_5	کل آب برداشت شده از چاه‌ها طی یک سال(متر مکعب) Annual Total groundwater extracted (m^3)	OUT	سهم برداشت آب بخش کشاورزی از آب‌های زیرزمینی (متر مکعب) Share of groundwater extraction for agriculture
RI_i	میزان آب رودخانه، چشمه و قنوات در ماه i (متر مکعب) Water of river, spring and aqueducts in month i(m^3)	X_p	سطح زیر کشت با سیستم آبیاری تحت فشار(هکتار) Culture area under pressurized irrigation system(Ha)
G_i	کل نیاز خالص آبیاری باغ ها در ماه i (متر مکعب) Total net irrigation requirement for orchards in month i (m^3)	X_n	سطح زیر کشت با سیستم آبیاری سنتی(هکتار) Culture area under traditional irrigation system(Ha)
Z_i	کل نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی درماه i (متر مکعب) Total net irrigation requirement for crops in month i (m^3)	R	کل راندمان آبیاری Whole irrigation efficiency
D_1	میزان نفوذ آب به سفره های زیرزمینی در مرحله انتقال و توزیع(متر مکعب) Water penetration to aquifers in water conveyance and distribution step (m^3)	R_1	راندمان انتقال و توزیع آب Conveyance and distribution water efficiency
D_2	میزان نفوذ آب به سفره های زیرزمینی در مرحله مصرف(متر مکعب) Water penetration to aquifers in water Application step (m^3)	R_2	میانگین راندمان کاربرد Mean irrigation application efficiency
H_i	حداکثر آب مجاز قابل استخراج از چاه در ماه i(متر مکعب) Maximum water allowable to extract from groundwater in month i	R_P	راندمان کاربرد در روش آبیاری تحت فشار Irrigation application efficiency in pressurized irrigation
a_{ij}	نیاز خالص آبیاری محصول زراعی j در ماه i (متر مکعب) Net irrigation requirement of crop j in month i (m^3)	R_n	راندمان کاربرد در روش آبیاری سنتی Irrigation application efficiency in traditional irrigation

جدول 2- مشخصات متغیرهای مدل

Table 2- Variables description of model

نماد Symbol	تعریف Definition	نماد Symbol	تعریف Definition
K_{1i}	ضریب کم آبیاری محصولات زراعی زمستانه در ماه i Low irrigation coefficient of winter crops in month i	K_4	ضریب نفوذ آب تلف شده در مرحله انتقال و توزیع Penetration coefficient of Waste water in conveyance and distribution step
K_{2i}	ضریب کم آبیاری محصولات زراعی تابستانه در ماه i Low irrigation coefficient of summer crops in month i	K_5	ضریب نفوذ آب تلف شده در مرحله مصرف Penetration coefficient of Waste water in irrigation application step
K_{3i}	ضریب کم آبیاری محصولات باغی در ماه i Low irrigation coefficient of orchards in month i	K_6	ضریب اصلاح آمار سطح زیر کشت Correction factor of cultured area Statistics

رابطه (8) میزان آب برداشت شده از کل چاه‌های کشاورزی را نشان می دهد.

$$W_5 = \sum_i W_{3i} + \sum_i W_{4i} \quad (8)$$

راندمان در سیستم‌های آبیاری شامل راندمان انتقال، توزیع و کاربرد می باشد. نسبت آب ابتدای کانال‌های توزیع در سر مزرعه به آب استخراج شده از منبع آبی نظیر چاه، راندمان انتقال، نسبت آب وارد شده به کرتها و مزارع به آب ابتدای کانالهای توزیع راندمان توزیع، نسبت نیاز ابی گیاه به آب وارد شده به مزرعه راندمان کاربرد و حاصل ضرب آنها راندمان کل نام دارد. که توسط رابطه (9) محاسبه می‌شود. راندمان کاربرد به نوع سیستم آبیاری و مدیریت بکارگیری ابزار بستگی دارد لذا راندمان کاربرد بصورت میانگین وزنی از سطح زیر کشت و راندمان کاربرد آبیاری تحت فشار و آبیاری کرتی محاسبه شد که در رابطه(10) نشان داده شده است. همچنین کل راندمان انتقال و توزیع بر اساس طول و نوع کانال‌های آبرسانی و دبی آنها و با استفاده از نتایج مطالعه سالمی و سپاسخواه (26) محاسبه شد.

$$R = R_1 * R_2 \quad (9)$$

$$R_2 = \frac{(XP.RP+XN.RN)}{XP+XN} \quad (10)$$

میزان نفوذ آب کشاورزی به مخازن زیرزمینی در مرحله انتقال و توزیع از رابطه(11)و در مرحله کاربرد از رابطه (12) برآورد گردید.

$$D_1 = K_4 W_5 (1 - R_1) \quad (11)$$

$$D_2 = K_5 (W_5 R_1)(1 - R_2) \quad (12)$$

شرط تعادل آن است که جمع جبری میزان محاسبات در مراحل برداشت تا مصرف، با میزان برداشت از مخازن زیرزمینی توسط بخش کشاورزی مساوی باشد که در رابطه(13) ذکر شده است.

$$OUT = W_5 - D_1 - D_2 \quad (13)$$

به دلیل حجم انبوه اطلاعات، کلیه روابط در محیط نرم افزاری اکسل تعریف شد. ضرایب K_{1i} ، K_{2i} ، K_3 ، K_4 و K_5 توسط مدل و در شرایط تعادل برآورد شدند. از آنجا که در صورت عدم وجود کم آبیاری ضرایب کم آبیاری باید برابر صفر باشد و میزان آب از منابع آبی برابر با میزان تقاضا برای مصرف باشد لذا جهت اعتبارسنجی مدل این ضرایب با حداقل کردن میزان کمبود آب سالانه (Σw_{4i}) و به شرط برقراری روابط 3 تا 14 و با استفاده از solver نرم افزار excel و روش غیر خطی GRG1[1] برآورد گردید. پس ازبرآورد ضرایب در شرایط تعادل با تغییر عوامل مربوط به سناریوها تاثیر این تغییرات بر میزان افت آب‌های زیرزمینی و همچنین برآوردهای اقتصادی محاسبه گردید. دامنه K_{1i}, K_{2i} و K_{3i} ، بین صفر تا 50 و K_6 بین 85 تا 100 در نظر گرفته شد. عباسی و همکاران (1) کل میزان نفوذ عمقی تلفات آبیاری را بین 33 تا 50 درصد تلفات در نظر گرفتند. با توجه اینکه در این مدل میزان نفوذ عمقی در مرحله انتقال و توزیع و مرحله مصرف تفکیک شده است لذا میزان نفوذ در سطح مزرعه بین 33 تا 50 و در مسیر انتقال به علت مسیر طولانی و رواناب کمتر تا 90 درصد درنظر گرفته شد. همچنین میزان اراضی مستعد استان جهت آبیاری تحت فشار 350 هزار هکتار بوده که تا سال 93 حدود 110 هزار هکتار از آنها انجام شده است.

شرح سناریوهای مورد بررسی در جدول (3) آمده است. همانطور که در ابتدا نیز اشاره شد، مبنای انتخاب سناریوها گزینه‌هایی بوده است که به طور معمول در تکنولوژی‌های آب اندوز پیش رو بوده و تاثیر آنها بر میزان مصرف آب و افت آب‌های زیرزمینی متفاوت است. دامنه افزایش راندمان سیستم‌های آبیاری بین میزان فعلی و حداکثر قابل دستیابی در نظر گرفته شد. حداکثر راندمان انتقال و توزیع (که می تواند نزدیک به 100 باشد) با توجه به ملاحظات زیست محیطی تعدیل گردید.

1- Generalized Reduced Gradient

جدول 3- مشخصات سناریوها

Table 3- Scenarios specifications

نماد Symbol	تعریف Definition
S_0	وضعیت فعلی Current situation
S_1	افزایش راندمان انتقال به 95 درصد از طریق تغییر کانالهای خاکی به لوله The increase of conveyance efficiency to 95% by replacement tube instead of canal
S_2	افزایش سطح زیر کشت آبیاری تحت فشار در مناطق مستعد Substitute pressurized irrigation systems instead of traditional system in capable area
S_3	انجام دو سناریوی اول و دوم با هم Combining S_1 and S_2 scenario
S_4	انجام سناریو سوم و افزایش راندمان کاربرد در سیستم های آبیاری مدرن به 75 درصد The increase of irrigation application efficiency in modern systems to 75% in S_3 scenario
S_5	انجام سناریو سوم و افزایش راندمان کاربرد در سیستم های آبیاری مدرن به 85 درصد The increase of irrigation application efficiency in modern systems to 85% in S_3 scenario
S_6	پیش بینی اولیه (فقط در شهرستان سبزوار تا 1/5 برابر پیش بینی). اجرای سناریو اول و افزایش سطح زیر کشت سیستم های آبیاری تحت فشار تا دو برابر Execute S_1 scenario and increase area of irrigation modern systems to dual of S_3 scenario (only in Sabzevar to 1.5 times).

به منظور تعیین هزینه‌های سالانه سیستم های نوین آبیاری و همچنین لوله‌گذاری کانال‌های انتقال آب از روابط (14 و 15) استفاده شد(15).

$$P(1+i)n \quad (14)$$

$$P(i(1+i)n / ((1 +i)n-1) \quad (15)$$

در اینجا F : ارزش آتی پول، P: ارزش کنونی، i : نرخ بهره (تنزیل) ، n : تعداد سال بهره برداری و A ارزش یکنواخت سالانه آن است. با توجه به اینکه محاسبات برای کل آب مصرفی بخش کشاورزی انجام شده است، لذا متوسط ارزش اقتصادی آب نیز از تقسیم کل درآمد خالص بر کل آب مصرفی بدست آمد جهت ارزیابی اقتصادی از نسبت منفعت به هزینه و نرخ بازده استفاده گردید.(17و32)

$$BCR = \frac{BDV}{CDV} \quad (16)$$

$$RR=100(BCR-1) \quad (17)$$

در این رابطه BCR نسبت منفعت به هزینه ، BDV و CDV به ترتیب منافع و هزینه های تنزیل شده و RR نرخ بازده می باشد.

در اکثر مطالعات، نیازمندی سیستم‌های نوین آبیاری به سرمایه‌گذاری کلان، به عنوان یک مشکل جدی اشاره شده است. از این رو دولت 85 درصد هزینه‌های این سیستم‌ها را بصورت یارانه پرداخت می‌کند. از طرف دیگر سرمایه‌گذاری در سیستم‌های جدید علاوه بر تاثیر بر تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی بر مصرف انرژی و همچنین تولید موثر است. لذا توسعه این سیستم‌ها متضمن بار مالی و تاثیرات اقتصادی است. بنابراین سناریوهای مورد مطالعه در سه قسمت مورد ارزیابی اقتصادی قرار گرفت. در قسمت اول کاهش مصرف انرژی و ارزش آب ذخیره شده به عنوان منافع در نظر گرفته شد. در قسمت دوم افزایش عملکرد نیز در قالب چهار سناریو شامل افزایش عملکرد بین 10 تا 40 درصد بررسی شد. از طرفی سیستم‌های نوین تاثیر زیادی بر مصرف انرژی دارند. از یک سو با کاهش برداشت آب مصرف انرژی کاهش می یابد و از طرف دیگر سیستم های نوین نسبت به سیستمهای سنتی مصرف انرژی بیشتری دارند. با توجه به اینکه یارانه زیادی به انرژی در کشاورزی داده می‌شود، لذا در قسمت سوم تاثیر سناریوها بر کاهش هزینه های غیر مستقیم دولتی(یارانه انرژی) در 4 حالت بررسی شد که شامل: 1- افزایش دو برابری قیمت برق، 2- در نظر گرفتن قیمت تمام شده برق بدون احتساب هزینه سوخت، 3- قیمت تمام شده برق با احتساب هزینه سوخت یارانه ای و 4- قیمت تمام شده برق با احتساب هزینه سوخت بدون یارانه. بنابراین در نهایت 96 سناریو از نظر اقتصادی ارزیابی شدند.

نتایج و بحث

بررسی میزان برداشت از مخازن آب زیرزمینی شهرستانهای مورد مطالعه نشان داد که در وضعیت فعلی بطور متوسط سهم بخش کشاورزی از کسری مخزن، 20 درصد برداشت خالص بخش کشاورزی (برداشت منهای آبی که دوباره از طریق نفوذ به مخازن برمی‌گردد) است که نشان می دهد اگر بخش کشاورزی 20 درصد از

برداشت خالص خود را کم کند (و البته سایر بخش ها نیز سهم خود را ادا کنند) برداشت آب در این مناطق به تعادل می رسد. بخش کشاورزی می تواند از طریق کاهش برداشت و یا افزایش راندمان آبیاری به این هدف نایل آید. در رابطه با راندمان انتقال و توزیع مطالعات پراکنده ای در ایران صورت گرفته است. عباسی و همکاران (1) اقدام به جمع بندی نتایج مطالعات انجام شده درخصوص راندمان‌های آبیاری در سطح کشور کردند. نتایج این بررسی نشان داد روند تغییرات راندمان طی سال های 80-71، 90-81 و نیم دهه 94-91 به ترتیب 57/1، 61/7 و74/6 درصد بوده است. همچنین متوسط راندمان در بخش انتقال و توزیع شبکه های سنتی 65 درصد و در بخش انتقال و توزیع شبکه های مدرن 82/5 درصد اعلام شده است. در این مطالعه متوسط راندمان توزیع و انتقال در بین شهرستانهای مورد مطالعه بین 57 تا 78 درصد برآورد گردید و سهم آب چاه از کل منابع آبی شهرستان ها بین79 تا 94 درصد متغیر بود (جدول 4).

جدول 4- راندمان، نوع و طول کانالهای انتقال و توزیع آب در مناطق مورد مطالعه

Table 4- Specifications of irrigation systems in study areas

شهرستان City	تعداد مشاهدات (حلقه چاه) Number of observation (Wells)	دبی(لیتر بر ثانیه) Water flow (Lit/S)	نحوه و فاصله انتقال آب به مزرعه(کیلومتر) Length and kind of water canal(Km)			راندمان انتقال و توزیع آب (درصد) Conveyance and distribution water efficiency %		سطح زیرکشت آبیاری تحت فشار(هکتار) Culture area under pressurized irrigation systems(Ha)		سهم منابع به غیر از آب چاه از کل آب مصرفی کشاورزی Share of non- water well from total water use in agriculture
			کانال خاکی Soil canal	لوله Pipe	جوی سیمانی Concrete canal	میانگین Mean	انحراف معیار St.D.	زراعی Crop	باغی Orchard	
سبزوار Sabzevar	657	12225	3057	349	209	57	10	2530	446	21
نیشابور Neyshabour	1115	24174	2371	446	327	71	17	8622	4070	20
مشهد Mashhad	342	7110	365	67	106	69	5	6937	1089	6
تربت جام Torbat-e-jam	614	17396	939	1106	316	73	9	15301	1384	8
تربت حیدریه Torbat-e-heidarieh	408	11162	582	700	43	78	16	11906	26	16

ماخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول (5) نتایج برآورد کم آبیاری و ضرایب نفوذ آب را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود در اکثر شهرستان‌ها در فصول گرم تولید، محصولات کشاورزی با کم آبیاری و تنش مواجه هستند. لذا افزایش راندمان آبیاری و کاهش تنش در مناطق مورد مطالعه بیش از پیش احساس می‌شود. در شهرستان مشهد که که کمترین میزان کم آبیاری مشاهده شد بالاترین آمار از چاه‌های غیر مجاز وجود دارد بطوری که 50 درصد از چاه‌های غیر مجاز شناسایی شده شهرستان‌های مورد مطالعه در این شهرستان قرار دارد.

به عقیده کارشناسان میزان کم آبیاری در اغلب موارد در حد بهینه و مجاز آن نیست و کم آبیاری بیش از حد مجاز نیز منجر به کاهش ارزش نهایی آب می‌شود از این رو تعیین مقدار مناسب کم آبیاری از موضوعات مورد توجه پژوهشگران است. بطور مثال نظری فر و همکاران (21) نشان دادند که در اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی توسعه اراضی شهید چمران در باقلا تا 10 درصد و لوبیا تا 30 درصد کم آبیاری مناسب می باشد. بالا بودن ضریب کم آبیاری در استان بیانگر خطر جدی برای کشاورزی و کاهش تولید می باشد.

یکی از راه‌های افزایش راندمان آبیاری، کاهش تلفات آب در میسر است. بخشی از تلفات آب نفوذ عمقی داشته و بخشی نیز بصورت رواناب یا جریانهای زیر سطحی از دسترس خارج می‌شود. عباسی و همکاران(1) 10 تا 15 درصد از آب آبیاری را رواناب سطحی(با توجه به متوسط راندمان، بین 33 تا 50 درصد از کل تلفات) و به همین میزان نیز نفوذ عمقی در نظر گرفتند. در اینجا میزان نفوذ عمقی در دو مرحله انتقال و توزیع، و مرحله مصرف تفکیک گردید. بطور طور مثال در شهرستان نیشابور از کل تلفات مرحله انتقال و توزیع 60 و در مرحله مصرف 30 درصد آن مجددا به مخازن برمی‌گردد و مابقی یا تبخیر شده (که در کانالهای انتقال و توزیع حدود 2درصد کل آب است) و یا به جریانهای زیر سطحی می پیوندد. در شهرستان سبزوار حدود 85 درصد از تلفات نفوذ عمقی دارد که به دلیل طولانی بودن طول کانال‌های خاکی این شهرستان است که در حدود 42 درصد از کل کانال‌های خاکی 5 شهرستان می باشد. بنابراین افزایش راندمان آبیاری اگر چه با کاهش تلفات آب، میزان استحصال آب از چاه‌ها را کاهش می دهد اما موجب کاهش تزریق مجدد آب به منابع زیرزمینی نیز می گردد.

جدول5- ضرایب کم آبیاری و نفوذ آب به مخازن آب زیرزمینی

Table 5- Low irrigation and penetration coefficient of water to groundwater aquifer

شهرستان City	ماه Month*	K_{1i} %	K_{2i} %	K_{3i} %	میانگین کم آبیاری Mean of low irrigation %	K_{4i} %	K_{5i} %	میانگین ضریب نفوذ Mean of penetration coefficient of waste water %
سبزوار Sabzevar	1	50	50	50	44	85	32	66
	2	50	50	50				
	3	50	50	50				
	4	0	50	50				
	5	0	50	50				
	6	0	50	50				
نیشابور Neyshabour	2	12	12	12	17	60	30	45
	3	28	28	28				
	4	0	20	20				
	5	0	33	33				
	6	0	1	1				
مشهد Mashhad	2	13	13	13	10	50	20	35
	3	15	15	15				
	4	0	14	14				
	5	0	12	12				
تربت جام Torbat-e-jam	1	39	39	39	41	60	30	44
	2	50	50	50				
	3	50	50	50				
	4	0	50	50				
	5	0	48	48				
تربت حیدریه Torbat-e-heidarieh	1	29	29	29	27	72	48	58
	2	32	32	32				
	3	33	33	33				
	4	0	50	53				
	5	0	11	12				
	6	0	20	20				

ماخذ: یافته های تحقیق

Source: Research findings

* 1= فروردین، 2= اردیبهشت، 3= خرداد، 4= تیر، 5= مرداد، 6= شهریور

1=April, 2=May, 3=June, 4=July, 5=August, 6=September

جدول (6) میزان راندمان انتقال و توزیع، راندمان مصرف، سطوح آبیاری تحت فشار در اراضی زراعی و باغی و تاثیر تغییر آنها را درسناریوهای مختلف بر میزان برداشت آب نشان می دهد. شرط تحقق کلیه سناریوها عدم تغییر کل سطح زیر کشت و یا ضرایب کم آبیاری می باشد. لذا افزایش سطوح آبیاری تحت فشار فقط متوسط راندمان آبیاری مدل را افزایش می دهد.

همانطور که ملاحظه می‌شود اگر تنها زمینهای مستعد آبیاری تحت فشار به این سامانه ها مجهز شوند(سناریوی دوم)، میزان برداشت آب از چاه کاهش کمی دارد اما با لوله گذاری کانال‌های خاکی(سناریو یک) میزان برداشت آب از چاه کاهش چشمگیری داشته که دلیل آن کاهش تلفات آب در مرحله انتقال است.

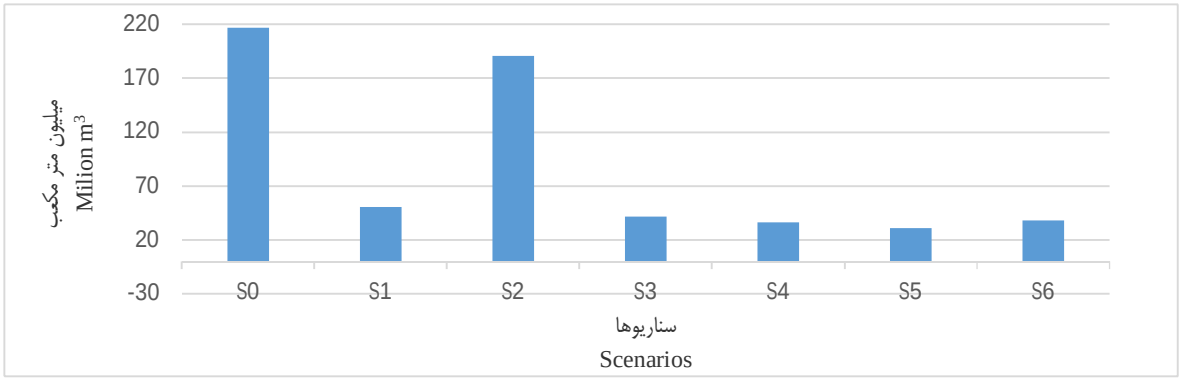
جدول 6- راندمان آبیاری، سطح زیر کشت و میزان برداشت آب از چاه در سناریوهای شهرستان سبزوار

Table 6-Efficiency, culture area and water extracted from wells in scenarios of Sabzevar city

	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
R_1	55	95	55	95	95	95	95
R_p	66/6	66/6	66/6	66/6	75	85	66/6
سطح آبیاری تحت فشار محصولات زراعی Crop area under pressurized irrigation system(Ha)	2530	2530	15862	15862	15862	15862	22528
سطح آبیاری تحت فشار محصولات باغی Orchard area under pressurized irrigation system(Ha)	447	447	2457	2457	2457	2457	3462
W_5	466	277	419	254	242	232	245

ماخذ: یافته های تحقیق

Source: Research findings



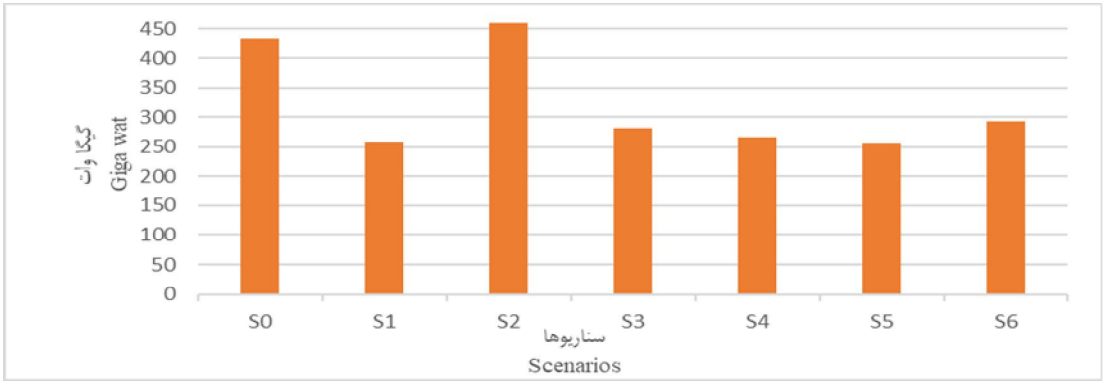
شکل 2- مقایسه نفوذ آب به سفره های زیرزمینی در سناریوهای مختلف شهرستان سبزوار

Figure2- Comparison of water penetration to underground aquifers in different scenarios of Sabzevar city

بنابراین اگر پس از اجرای این سناریو، سطح زیر کشت کنترل نشود، سطح آب‌های زیرزمینی کاهش بیشتری خواهد داشت بدیهی است که کاهش تلفات آب در مرحله انتقال موجب کاهش شدید نفوذ آب به سفره های زیرزمینی شده (شکل 2) و از طرفی مصرف انرژی را حدود 41 درصد کاهش می دهد(شکل 3) که تقریبا مساوی سناریو 5 است. کمترین میزان کاهش مصرف انرژی نیز در تربت جام با 22 درصد خواهد بود. بر اساس آمار سال 1392(30) بخش کشاورزی 16/3 درصد از برق کشور را مصرف کرده است. در این بین بخش کشاورزی استان خراسان رضوی با وجودی که 5/4 درصد از مشترکین برق کشاورزی کشور را شامل می‌شود اما با مصرف4830 گیگاوات ساعت، 14/5 درصد از برق مصرف شده در بخش کشاورزی کشور را مصرف کرده است که عمدتا بخاطر عمق چاه‌های کشاورزی است بنابراین اجرای سناریوی اول تاثیر زیادی بر کاهش مصرف برق خواهد داشت. اجرای این سیاست در هندوستان مصرف برق را تا 37 و یارانه دولتی را تا50 درصد در سال 2007 کاهش داد (27). برآیند اجرای سناریو یک بر سفره های زیرزمینی، کسری مخزن را 57 درصد کاهش می‌دهد (شکل 4) اما اگرتنها زمین های مستعد آبیاری تحت فشار به این سامانه ها مجهز شوند (سناریوی دوم) اگر چه برداشت آب را کمی کاهش می دهد اما به خاطر مصرف بیشتر انرژی در سامانه های آبیاری تحت فشار، موجب افزایش مصرف انرژی شده و اگر چه کسری مخزن به کمتر از 50 درصد قبل از اجرای سناریو می رسد، اما همچنان کسری خواهیم داشت (شکل 3 و 4). در صورتی که هر دو سناریو با هم اجرا شود (سناریوی 3)کسری مخزن 90 درصدکاهش خواهد یافت.

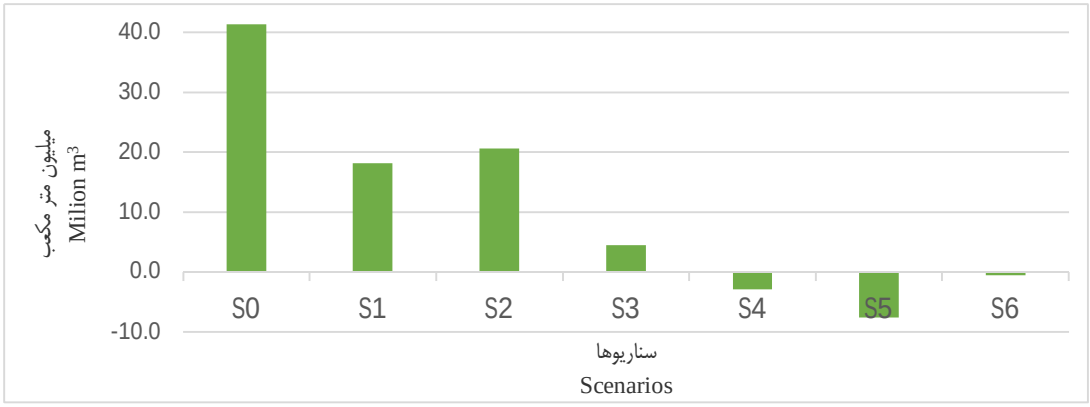
یکی از مسائل مهمی که پیش روی ترویج سیستم های آبیاری تحت فشار می باشد مدیریت این سیستم‌ها است که می‌تواند راندمان آنها را افزایش دهد (5). اگر چه پتانسیل راندمان کاربرد در سیستم‌های تحت فشار 90 درصد است اما عملا این مقدار بسیار کمتر است (1) راندمان کاربرد نه تنها به مدیریت بلکه تحت تاثیر نوع محصول نیز می‌باشد (1 و 4) لذا توجه به هر دو گزینه می تواند منجر به افزایش راندمان کاربرد شده و تعادل را بهبود بخشد. از این رو توجه به الگوی کشت نیز باید مورد توجه برنامه ریزان کشور باشد. در این مطالعه تاثیر جز اول یعنی مدیریت سیستم‌ها بر کاهش افت آب‌های زیرزمینی بررسی گردید. اگر اجرای سناریو سه همراه با افزایش راندمان کاربرد در سیستم‌های تحت فشار از مقدار اولیه (66/6 درصد) به 75 درصد باشد، در آن صورت نه تنها کسری مخزن نخواهیم

داشت بلکه شاهد تراز مثبت به میزان 2/84 میلیون متر مکعب خواهیم بود که می تواند کم آبیاری را یک درصد بهبود بخشد. اجرای سناریو سه و افزایش راندمان کاربرد به 85 درصد نسبت به سناریو سه، 7/6 میلیون متر مکعب کسری مخزن را بهبود بخشیده و می‌تواند 4 درصد از کم آبیاری را جبران کند. اگر نسبت به شرایط سناریو سه، تنها توسعه سطح زیر کشت آبیاری تحت فشار مد نظر بوده و به 1/5 برابر وضعیت در سناریو 3 برسد(البته در بقیه شهرستان ها تا دو برابر بررسی شد ولی در شهرستان سبزوار این امکان وجود نداشت) تراز مثبت به 0/5 میلیون متر مکعب خواهد رسید که معادل 20 درصد حالت افزایش راندمان مصرف از 66/6 به 75 درصد خواهد بود. بنابراین افزایش راندمان کاربرد، بسیار موثر تر از توسعه سطح سیستم های آبیاری تحت فشار می باشد در واقع با افزایش 12 درصد به راندمان کاربرد(از 66/6 به 75)، 164 درصد تراز مخزن افزایش می‌یابد اما تاثیر افزایش50 درصدی سطح سیستم های جدید، 113 درصد بر تراز مخزن اثر مثبت دارد.



شکل 3- مقایسه مصرف انرژی سناریوها در شهرستان سبزوار

Figure 3- Comparison energy consumption among scenarios in Sabzevar city



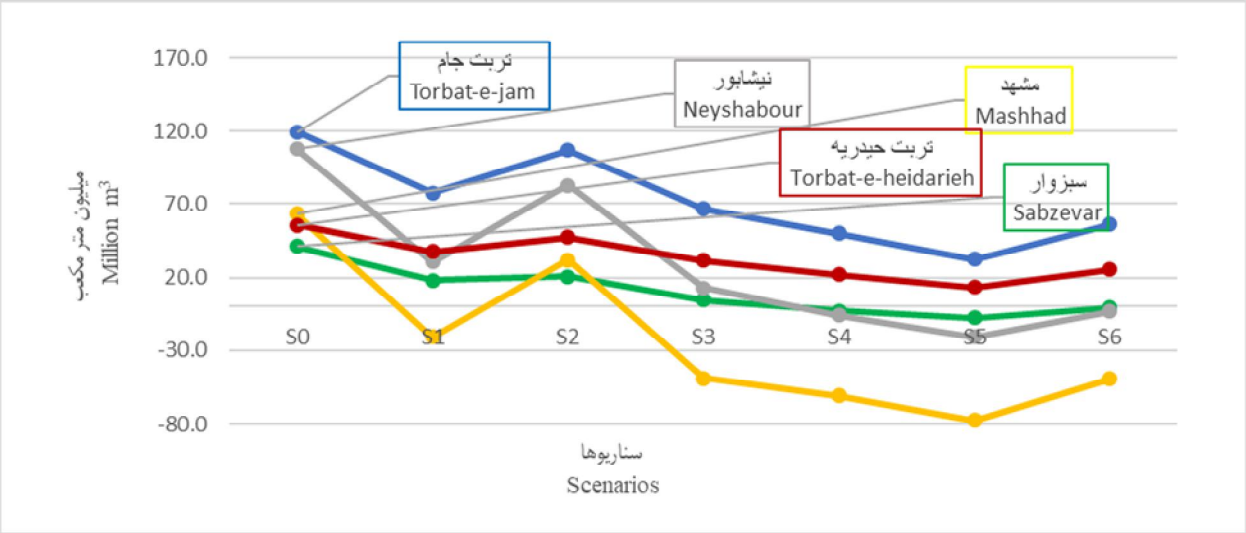
شکل 4- مقایسه کسری مخزن بین سناریوها در شهرستان سبزوار

Figure 4- Comparison of aquifer deficit between scenarios in Sabzevar city

شکل (5) تاثیر اجرای سناریوهای مختلف بر کسری مخزن در شهرستان‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود در کلیه شهرستان ها کاهش کسری مخزن اتفاق خواهد افتاد. این کاهش با اجرای سناریوی اول بسیار زیاد خواهد بود. بیشترین کاهش در سناریوی پنج ایجاد می‌شود. در شهرستانهای تربت جام و تربت حیدریه هرگز کسری مخزن به صفر نمی رسد لذا کاهش سطح زیر کشت در این شهرستان ضروری است. بدون اجرای سناریوها، سطح زیر کشت در این دو شهرستان به ترتیب باید 20 و 13 درصدکاهش یابد تا تعادل برقرار شود اما با اجرای سناریوها این میزان بین حداقل 8 تا 18 درصد در تربت جام و 4 تا 12 درصد در تربت حیدریه خواهد بود. لازم به یادآوری است که اگر عملکرد به میزان درصدهای گفته شده افزایش یابد، کاهش سطح زیر کشت تاثیر ناچیزی بر تغییر درآمد کشاورزان خواهد داشت. در سایر شهرستان ها بدون کاهش سطح زیر کشت، کسری مخزن به سمت صفر حرکت کرده و تراز مثبت خواهد شد.

نتایج ارزیابی اقتصادی تعدادی از سناریوهای شهرستان سبزوار در

جدول (7) آمده است. هزینه های اجرای سناریوها شامل هزینه افزایش انرژی در سناریوهایی که سطح زیر کشت آبیاری تحت فشاردر آنها افزایش می یابد، هزینه لوله کشی انتقال آب که جایگزین کانال‌های خاکی می‌شود و هزینه نصب سیستم‌های آبیاری تحت فشار در مزارع کشاورزان. منافع اجرای سناریوها نیز شامل ارزش آب صرفه جویی شده، افزایش عملکرد و کاهش هزینه انرژی چه به صورت کاهش مصرف انرژی(با کاهش استخراج آب از چاه) و چه بصورت کاهش هزینه یارانه دولت است. متوسط ارزش اقتصادی آب در سناریوهای مختلف در مناطق مورد مطالعه و در حالت عملکرد اولیه در جدول (8) آمده است. این مقدار در سناریوهایی که عملکرد افزایش می یابد افزایش خواهد داشت. میزان ارزش اقتصادی آب در مناطق مورد مطالعه به دلیل متفاوت بودن عملکرد در هکتار، هزینه‌های تولید و میزان آب مصرفی باهم متفاوت است، بر اساس قیمت‌های سال 1392، هزینه هر متر لوله کشی 227 هزار ریال بوده که با احتساب عمر مفید، هزینه سالانه آنها حدود 23 هزار ریال برآورد گردید. میزان سرمایه‌گذاری اولیه برای سیستم‌های آبیاری تحت فشار نیز بیش از 70 میلیون ریال بوده که با احتساب عمر مفید اجزاء، سالانه بیش از 8/6 میلیون ریال برآورد گردید. سناریوهایی که دارای نسبت منفعت به هزینه بالاتر از یک باشند از نظر اقتصادی سودآورند و میزان این سودآوری بستگی به نرخ بازده آنها دارد.



شکل 5-تاثیر اجرای سناریوهای مختلف بر کسری مخزن درمناطق مورد مطالعه

Figure 5-The effect of the implementation of various scenarios on the aquifer deficit in the study area

جدول 7- اثرات افزایش عملکرد و قیمت برق بر نسبت منفعت به هزینه سناریوها در شهرستان سبزوار

Table 7- Effects of increasing power price and yield on benefit cost ratio of scenarios in Sabzevar city

افزایش عملکرد% Increase of yield%	قیمت برق Power price	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
0	13.34	0.99	0.20	0.49	0.60	0.68	0.41
10	13.34	1.08	0.59	0.66	0.75	0.81	0.60
20	13.34	1.17	0.88	0.87	0.96	1.02	0.82
30	13.34	1.26	1.16	1.07	1.17	1.23	1.04
40	13.34	1.35	1.45	1.27	1.37	1.44	1.26
0	27	1.33	0.20	0.59	0.71	0.80	0.48
0	68	2.37	0.19	0.90	1.05	1.16	0.70
0	150	4.43	0.16	1.53	1.73	1.88	1.14
0	730	19.02	0.09	5.93	6.52	6.99	4.20
20	150	10.88	1.23	3.83	4.56	5.18	2.65
40	68	10.04	2.28	4.14	4.83	5.43	3.14

ماخذ: یافته های تحقیق

Source: Research findings

در شهرستان سبزوار، اگر اجرای سناریوها تاثیری بر عملکرد نداشته و تنها ارزش اقتصادی آب صرفه جویی شده و کاهش هزینه انرژی به عنوان آثار اجرای سناریو مد نظر باشد، هیچ یک از سناریوها نمی‌توانند هزینه‌های خود را پوشش داده و تنها سناریو یک نزدیک

نقطه سر به سر می باشد. این در حالی است که در سایر شهرستان‌ها سناریوی یک به تنهایی می‌تواند کل هزینه های خود را جبران نموده و منافع زیادی نیز برای کشاورزان داشته باشد. زیرا نسبت منفعت به هزینه در این سناریو بسیار بالا است که دلیل عمده آن بالا بودن ارزش اقتصادی آب در این مناطق است (جدول 8) . افزایش سطح زیر کشت آبیاری تحت فشار به تنهایی (سناریو دوم) در هیچ یک از شهرستان‌ها بدون افزایش عملکرد توجیه اقتصادی ندارد زیرا علاوه بر سرمایه‌گذاری کلان، نیاز به مصرف انرژی بیشتری دارد اما در مقایسه این دو سناریو، سناریو اول همواره نرخ بازده بیشتری نسبت به سناریو دوم داشته که دلیل آن کاهش قابل توجه هزینه انرژی و هزینه کمتر نسبت به توسعه آبیاری تحت فشار است بطوری که در شهرستان سبزوار مصرف انرژی در سناریو اول بیش از 176 میلیون کیلووات کاهش می یابد که بیش از 23 میلیارد هزینه کشاورزان را کاهش می دهد. اما در سناریو دوم مصرف انرژی بیش از 25 میلیون کیلووات افزایش می یابد. شهرستان سبزوار که طولانی ترین مسیر را جهت لوله گذاری دارد (حدود 42 درصد) نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه معادل 695 میلیارد ریال داشته درصورتی که جهت تجهیز 15342 هکتار از اراضی به سیستم های نوین، 1079 میلیارد ریال سرمایه‌گذاری لازم است. از این رو سناریو اول با وجود داشتن منافع اقتصادی بیشتر، بصورت نسبی هزینه کمی نیز برای سرمایه‌گذاری نیاز دارد. با توجه به قیمت تمام شده انرژی که بین 680 تا 7300 ریال برآورد شده (19)، میزان پرداخت‌های دولت نیز با اجرای سناریو اول، سالانه به میزان 96 تا 1263 میلیارد ریال کاهش می یابد در حالی که کل سرمایه اولیه لازم برای رسیدن به این هدف 695 میلیارد ریال بوده که با احتساب عمر مفید، سالانه 70 میلیارد ریال برآورد می‌شود.

جدول 8- ارزش اقتصادی آب درمناطق مورد مطالعه

Table 8-Economic value of water in study area

شهرستان City	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
سبزوار Sabzevar	121	198	134	213	224	232	220
نیشابور Neyshabour	190	249	200	260	273	285	271
مشهد Mashhad	331	448	354	466	484	505	484
تربت جام Torbat-e-jam	314	385	324	396	414	434	407
تربت حیدریه Torbat-e-heidarieh	415	480	429	495	519	550	510

ماخذ: یافته های تحقیق

Source: Research findings

از آثار توسعه سیستم‌های نوین می‌توان به افزایش عملکرد در هکتار محصولات کشاورزی اشاره کرد. به علت افزایش سطح سیستم‌های نوین آبیاری در سناریوهای دو تا شش، و با وجودی که افزایش عملکرد تاثیر بیشتری بر افزایش برتری اقتصادی آنها دارد، اما باز هم نرخ بازده سرمایه‌گذاری در سناریو اول در کلیه شهرستان ها به جز سبزوار بالاتراز بقیه است. بطوری که با افزایش 40 درصدی عملکرد، نرخ بازده سناریو اول در نیشابور 503 درصد و در سناریو دوم 133 درصد است (جدول 9). در این رابطه مطالعه شاهرخ نیا و زارع (28) نیز نشان داده که ایجاد پوشش در کانال‌های آبیاری شهرستان داراب کاهش نشت آب بین 85 تا 97 درصد و نسبت منفعت به هزینه بیش از یک و یا نزدیک به یک داشته است. بدیهی است که نصب کنتور و کنترل کشاورزان جهت جلوگیری از افزایش سطح زیر کشت و یا مصرف تمام آب صرفه جویی شده، شرط لازم موفقیت می‌باشد.

حرکت از سمت سناریو 3 به 4 و 5 بیانگر افزایش راندمان خود سیستمهای آبیاری از مقدار فعلی به 75 و 85 درصد است که این کار علاوه بر اینکه باعث افزایش نرخ بازده اقتصادی آنها می‌شود، منجر به بهبود تراز آب‌های زیرزمینی نیز می‌گردد. در بین سناریوهای دو تا شش، سناریوی 5 بالاترین نسبت منفعت به هزینه را دارد که نشان می دهد افزایش سطح زمین های تحت پوشش سیستم‌های نوین باید همراه با بهبود مدیریت و بهره وری در آنها باشد.

در صورتی که به لحاظ فیزیکی حداکثر سرمایه‌گذاری ممکن انجام شود و به عبارت بهتر، خطوط انتقال آب کاملا لوله کشی شده و تمام زمین‌های قابل تجهیز به سیستم‌های جدید، مجهز شوند ولی راندمان سیستم‌ها در سطح فعلی باقی بماند (سناریوی 6) در آن صورت به استثنای شهرستان مشهد و تربت جام، در کلیه شهرستانها شاخص نسبت منفعت به هزینه کمتر از یک بدست می‌آید که بیانگر

اهمیت افزایش راندمان در سیستم‌های فعلی است (جدول 9) اما نرخ بازده آن تنها در شهرستان مشهد، در شرایط عدم افزایش عملکرد، مطلوب است و در شهرستان تربت جام، 24 درصد بوده که با توجه به وجود پدیده ریسک در کشاورزی کم می باشد. اما افزایش عملکرد می تواند منجر به نرخ قابل قبولی شود و حتی در شهرستان سبزوار نیز درآمد خالص مثبت شده و نرخ بازده به 26 درصد برسد.

جدول 9- نسبت منفعت به هزینه سناریوها در سایر شهرستان‌ها

Table 9-Benefit cost ratio of scenarios in other city

شهرستان City	افزایش عملکرد% Increase of yield %	قیمت برق Power prices	S1	S2	S3	S4	S5	S6
نیشابور Neyshabour	0	13.34	3.96	0.37	1.42	1.78	2.09	0.99
	20	13.34	4.99	1.39	2.14	2.43	2.66	1.66
	40	13.34	6.03	2.33	2.91	3.24	3.49	2.40
مشهد Mashhad	0	13.34	48.73	0.79	3.37	3.96	4.64	2.02
	20	13.34	58.39	2.55	4.96	5.43	5.93	3.37
	40	13.34	68.06	4.10	6.67	7.18	7.73	4.87
تربت جام Torbat-e-jam	0	13.34	8.20	0.37	1.91	2.52	3.23	1.24
	20	13.34	14.90	2.67	3.87	4.43	5.01	2.72
	40	13.34	21.59	4.89	5.89	6.50	7.15	4.25
تربت حیدریه Torbat-e-heidarieh	0	13.34	4.89	0.36	1.05	1.61	2.32	0.74
	20	13.34	13.25	2.63	3.01	3.52	4.13	2.15
	40	13.34	21.61	4.86	4.99	5.56	6.21	3.59

ماخذ: یافته های تحقیق

Source: Research findings

همانطور که شکل(3) نشان می‌دهد افزایش مصرف انرژی از تبعات مهم گسترش سیستم های نوین آبیاری است. علاوه بر هزینه زیادی که کشاورزان بابت مصرف انرژی در سیستم‌های سنتی فعلی می پردازند، دولت نیز سالانه مبالغ زیادی جهت انرژی مصرفی بخش کشاورزی یارانه می‌دهد. میزان این یارانه بر اساس روش‌های مختلف محاسبه قیمت تمام شده انرژی، متفاوت برآورد می‌شود. بنابراین در حالت سوم تاثیر تغییر در مصرف انرژی سناریوها با قیمت‌های متفاوت انرژی، بر وضعیت اقتصادی سناریوها (بدون افزایش عملکرد) بررسی شد. متوسط قیمت برق کشاورزی در سال 92 به ازای هر کیلووات 133/4 ریال در بخش کشاورزی بوده است. در صورتی که هزینه سوخت در محاسبات در نظر گرفته نشود قیمت تمام شده برق در این سال 680 ریال و با احتساب هزینه سوخت یارانه ای 1500 و با حذف یارانه سوخت 7300 ریال بوده است(17). همانطور که در جدول (7) ملاحظه می‌گردد، در سناریوی اول شهرستان سبزوار به علت کاهش مصرف انرژی، با دو برابر شدن قیمت برق، این نسبت افزایش می یابد و از 0/99 به 1/33 و با حذف کامل یارانه به 19 می رسد. در واقع در این حالت میزان پرداخت یارانه دولت از خزانه بسیار کم می‌شود ولی در سناریوی دوم به علت افزایش مصرف انرژی، نسبت منفعت به هزینه با کاش یارانه به شدت کم می‌گردد . بنابراین تحت شرایط سناریو دوم(که از لحاظ راندمان سیستم‌های آبیاری وضعیت فعلی استان است)، دولت جهت گسترش سیستم های نوین آبیاری ناچار به اعطای یارانه است که این یارانه علاوه بر تاسیسات، شامل یارانه انرژی نیز می‌شود، اما اگر سناریوهای دیگر اجرا شوند اگر چه در ظاهر دولت جهت اجرای آنها هزینه پرداخت می‌کند اما با کاهش مصرف انرژی نه تنها جبران هزینه ها می‌شود بلکه منافع ملی نیز افزایش می یابد.

بررسی اجمالی 96 سناریو در مناطق مورد مطالعه نشان داد که در شرایط کمبود اعتبار، سناریو اول، اولین اولویت سرمایه‌گذاری بوده و لازمه توسعه سیستم های نوین آبیاری، افزایش بهره وری آنها چه در عملکرد در هکتار و چه در بهره‌وری از آب، می باشد.

نتیجه گیری و پیشنهادها

این مطالعه نشان داد که صرفا با افزایش سطح سیستم های نوین امکان تعادل سازی در منابع آب زیرزمینی محقق نخواهد شد بلکه افزایش راندمان سامانه های آبیاری تحت فشار، کنترل میزان برداشت آب و سطح زیر کشت نیز باید تحقق یابد. بنابراین پیشنهادات زیر جهت موفقیت طرحها آبیاری نوین ارائه می‌شود.

نصب کنتور حجمی و لوله گذاری کانال‌های انتقال و توزیع آب باید در اولویت قرار گیرد تا ضمن افزایش راندمان آبیاری و کاهش مصرف انرژی، امکان مدیریت آب برداشت شده و ممانعت از افزایش سطح زیر کشت و یا مصرف تمام آب ناشی از افزایش راندمان آبیاری فراهم شود. میزان کاهش برداشت آب باید متناسب با افزایش راندمان انتقال و توزیع باشد. این کار هم به لحاظ اقتصادی کاملا به صرفه است و هم در حفظ منابع آب زیرزمینی نقش اساسی دارد.

اجرای سیستم های آبیاری تحت فشار در مزارع و باغ ها باید همراه با نظارت و آموزش کافی باشد تا امکان افزایش راندمان کاربرد و همچنین افزایش تولید فراهم شود و الا جایگزینی روش‌های نوین آبیاری به جای سنتی، به تنهایی تاثیر کمی بر کاهش مصرف خواهد گذاشت و اگر افزایش سطح زیر کشتی اتفاق بیفتد (مانند گذشته) همان مقدار ناچیز نیز زایل خواهد گشت. ضمن اینکه در این حالت به خاطر افزایش مصرف انرژی یارانه بیشتری باید پرداخت شود که توجیه اقتصادی ندارد.

با توجه به اینکه اکثر تحقیقات گذشته نشان داده که اجرای صحیح سیستم های آبیاری تحت فشار منجر به افزایش عملکرد شده است. لذا در مواردی که جهت تعادل سازی منابع زیرزمینی، کاهش سطح زیرکشت ضروری است، نظارت و همراهی با کشاورزان جهت موفقیت در اجرا باید با اهتمام بیشتری صورت گرفته تا کاهش سطح زیر کشت منجر به کاهش درآمد آنها نشود.

منابع

1- Abbasi F., Naseri A., Sohrab F., Baghani J., Abbasi N., and Akbari M. 2015. Improvement of Water Use Efficiency. Agricultural Research, Extension and Education Organization, Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)
2- Ahmad, M.-u.-D., Turral, H., Masih, I., Giordano, M., and Masood, M. (2007). Water Saving Technologies: Myths and Realities Revealed in Pakistan's Rice-Wheat Systems. IWMI-International Water Management Institute.
3- Alizadeh H.A., Liaghat A., and Sohrabi T. 2014. Assessing pressurized irrigation systems development scenarios on groundwater resources using system dynamics modeling. Journal of Water and Soil Resources Conservation, 3(4):1-14. (in Persian with English abstract)
4- Baghani J. 2008. Comparative effects of drip and furrow irrigation on the amount and water use efficiency and yield in row crops. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 2(2):11-18. (in Persian with English abstract)
5- Baghani J., Rastegar J., Zare Sh., and Sadreghaien S.H. 2012. Effects of irrigation systems on quantity and water use efficiency of onion cultivars. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 6(1):1-10. (in Persian with English abstract)
6- Baghani J., Zare Sh., and Joleini M. 2010. The Affectivity of New Irrigation Systems on Ground Water Resources, Yield and Water Use Efficiency in Mashhad Plain. Agricultural Research, Extension and Education Organization, Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian with English abstract)
7- Banks J., Carson, J. S., Nelson, B. L., and Nicol, D. M. 2005. Discrete-Event System Simulation, Pearson Education.
8- Chen S., Yang W., Huo Z. and Huang G. 2016. Groundwater simulation for efficient water resources management in Zhangye Oasis, northwest China. Environmental Earth Sciences, 75(8):1-13.
9- Endo T. 2015. Groundwater management: a search for better policy combinations. Water Policy, 17(2):332-348.
10- Erfanian M., Alizadeh A., and Mohammadian A. 2011. An Investigation on the Possible Differences between Present Crops Water Requirements and National Documents of Irrigation. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 4(3):478-492. (in Persian with English abstract)
11- Hajipour M., Zakerinia M., Ziaee A.N., and Hesam M. 2015. Water demand management in agriculture and its impact on water resources of Bojnourd basin with WEAP and MODFLOW models. Journal of Water and Soil Science, 22(4): 85-101 (in Persian with English abstract)
12- Hu Y., Moiwo J.P., Yang Y., Han S. and Yang Y. 2010. Agricultural water-saving and sustainable groundwater management in Shijiazhuang irrigation district, north China plain. Journal of Hydrology, 393(3):219-232.
13- Jabbari P., Ghanbarpour M.R., and Ashbeh A.R. 2009. Assessment and determination of ground water balance of Srai Neka plain. P. 1-12. Proceedings of the. 5th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran, 23-24 Apr. 2009. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (in Persian)
14- Jihad agriculture organization of khorasan Razavi. 2015. Khorasan Razavi statistical Yearbook of agriculture 2014. Economic and Planning Adjutancy, Information and Statistic office, Mashhad. (in Persian)
15- Kellner M.I., Madachy R. J. and Raffo D.M. 1999. Software process simulation modeling: Why? What? how?. Journal of Systems and Software, 46(2):91-105.
16- Mao X., Jia J., Liu C. and Hou Z. 2005. A simulation and prediction of agricultural irrigation on groundwater in well irrigation area of the piedmont of Mt. Taihang, north China. Hydrological processes, 19(10):2071-2084.
17- McKinney D.C. and Savitsky A.G. 2006. Basic Optimization Models for Water and Energy Management. The University of Texas at Austin, Thechnical Repor. Available at http://www.ce.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/lectures/McKinneySavitsky_ver8_e.pdf (visited 1 April 2015).
18- Ministery of energy. 2004. Instruction Underground Salt-Water Balance. Iran Water Resources Management Company, Research and Basic Studies Adjutancy, Standard and Technical Criteria Office,Tehran. (in Persian)
19- Ministery of energy. 2013. An Overview of the Water and Electicity Industry from Aspects of Cost Price, Sale

Price, Resource, Consumption and Investment. Tehran. (in Persian)
20- Ministery of energy. 2014. Province Water Feature. Regional Water Company of Khorasan Razavi, Planning and Management Improvement Adjutancy, Mashhad. (in Persian)
21- Nazarifar M., Momeni R., and Mollaei M., 2006. Applying model OPDM in determining cropping pattern in low irrigation condition. P. 1-7. Proceedings of the 1st Irrigation and Drainage Network Management National Conference, 2-4 May. 2006. Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. Iran. (in Persian)
22- Palouch M. 2014. Break Forward, Approach of Water Crisis-Stricken Management in The Country. Agricultural Planning, Economic and Rural Development Research Institute, Tehran. (in Persian)
23- Pfeiffer, L. 2009. Three Essays on the Economics of Groundwater Extraction for Agriculture: Property Rights, Externalities, and Policy. Unversity of California, Davis.
24- Saadati H., Ismaili A., Sharifi F., Mahdavi M., and Ahmadi H. 2009. Estimating groundwater recharge and storage volume changes of Hashtgerd plain by water balance and chemical detection. P. 1-11. Proceedings of the. 5th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran, 23-24 Apr. 2009. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (in Persian)
25- Salehi Fathabadi, H. 1986. Simulation of systems by digital computer, Jahad daneshgahi. Tehran. (in Persian)
26- Salemi H.R., and Sepaskhah A.R. 2006. Estimation of canal seepage loss in Rudasht region of Isfahan. Journal of Water and Soil Science, 10(1): 29-43. (in Persian with English abstract)
27- Shah, T., Bhatt, S., Shah, R. and Talati, J. 2008. Groundwater governance through electricity supply management:Assessing an innovative intervention in Gujarat, western India. Agricultural Water Management, 95(11):1233-1242.
28- Shahrokhnia, M.A., Zare, E. 2014. Technical and Economical Evaluation of Seepage in Darab Irrigation Canals. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 8(1):44-52. (in Persian with English abstract)
29- Singh, A. 2014. Groundwater resources management through the applications of simulation modeling: a review. *Science of the Total Environment*, 499**:**414-423
30- Statistical center of Iran. 2015. Iran Statistical Yearbook 1392 [March 2013-March 2014]. Presidency, Management and Planning Organization, Statistical Centre of Iran, Tehran.
31- Velayati S.A. 2006. An investigation on the water crisis in Khorasan province. Modarres Human Sciences, Special Issue Geography, 10(tome 48):213-234. (in Persian with English abstract)
32- Ward, F. A. and Michelsen, A. 2002. The economic value of water in agriculture: concepts and policy applications. Water Policy, 4(5):423-446.
33- Ward, F. A. and Pulido-Velazquez, M. 2008. Water conservation in irrigation can increase water use. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105(47):18215-18220.
34- Zolfagharan A., and Karimi M. 2012. Problems of development of pressurized irrigation systems in the country. 1-4. Proceedings of The 1st National Conference on Solutions to Access Sustainable Development in Agriculture, Natural Resources and the Environment, 10 Mar. 2013. Ministry of Interior, Tehran, Iran. (in Persian)