

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

شجاعت زارع<sup>1\*</sup> - حمید محمدی<sup>2</sup> - محمود صبوحی<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 1396/02/26

تاریخ پذیرش: 1396/05/14

### چکیده

استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی از دغدغه‌های نیم قرن اخیر بوده است. در این مطالعه تاثیر گسترش سیستم‌های 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 جمع‌آوری 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 سیستم‌های آبیاری مدرن به 75 درصد، 5- انجام سناریو سوم و افزایش راندمان مصرف در سیستم‌های 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 زیر کشت، 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 سیستم‌های 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 زیر کشت 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 باغ‌ها 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.

**واژه‌های کلیدی:** راندمان آبیاری، ارزیابی اقتصادی، خراسان رضوی، اولویت‌های سرمایه‌گذاری، تعادل بخشی آب زیرزمینی

### مقدمه

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 انتظار جامعه از وزارت جهاد کشاورزی این وزارت خانه اهدافی را در دستور کار خود قرار داده که افزایش بهره‌وری 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، جزئی از مدیریت تقاضا می باشد که ناظر بر افزایش بهره‌وری، کاهش تلفات و مصارف غیرضروری از طریق جلوگیری از نشت، تبخیر و بکارگیری تکنولوژی مناسب می باشد که بایستی با مشارکت کلیه دست

استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی از دغدغه‌های نیم قرن اخیر بوده است. اگر چه تعدادی از کشورها سال‌های زیادی است که این موضوع را مورد توجه قرار داده‌اند (9، 16، 23 و 29). اما در ایران

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

اندر کاران و ذینفعان صورت گیرد (22).

مطالعه بررسی وضعیت منابع آبی استان خراسان نشان داده که کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و افزایش دشت‌های بحرانی، صرفاً ناشی از خشکسالی نبوده بلکه برداشت بی‌رویه 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 می‌توان مشکل استفاده بی‌رویه از آب را کنترل و یک سیستم پایدار بهره‌برداری 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 برنامه‌های 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 برنامه‌های 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 می‌دهد. 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. حجبی 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 می‌توان سالانه 0/64 متر تراز آب در آبخوان‌های ابرفتی 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 در پاکستان، اجرا شود اگر چه مصرف آب در واحد سطح کاهش می‌یابد 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 بهره‌وری آب غفلت نشده است. در واقع میزان مصرف آب، یکی از اجزای بهره‌وری در بخش کشاورزی بوده و جزء دیگر مربوط به تولید است اگر چه تاثیر این دو جزء بر بهره‌وری آب بصورت معکوس است اما جزء تولید تحت تاثیر عواملی است که می‌توانند 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 می‌توان 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 (8 ساعت 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 می‌رسد. 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). ماو 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 و همکاران (7) با شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی در شمال شرق چین، تاثیر سناریوهای متفاوت شامل کاهش میزان نشت آب از کانال‌های

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 جریان‌های نفوذ و یا استخراج آب از مخازن زیرزمینی و میزان مصرف در مزارع و باغ‌های 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 پیش‌بینی، تغییر و یا کنترل آن دارد لذا در برگیرنده کل سیستم نیست (15). بطور کلی مدل‌های تحلیل سیستم را می‌توان به دو گروه شامل مدل‌های شبیه‌سازی و مدل‌های بهینه‌سازی تقسیم کرد. شبیه‌سازی، فرآیندی است که به سازمان‌ها کمک می‌کند تا نتایج عملکرد و فرآیند تصمیم‌گیری خود را با دقت و تفصیل زیاد پیش‌بینی و هزینه‌ها، منافع و تاثیرات احتمالی پروژه را مشخص نمایند. لذا برای یک پروژه لازم است شبیه‌سازی‌های متعددی انجام شود. اما جهت یافتن سیاست و یا راه حل بهینه و کاهش تعداد مدل‌های شبیه‌سازی شده از مدل‌های بهینه‌سازی استفاده می‌شود (17). به وسیله این ابزار کارآمد، می‌توان هزینه‌ها 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، جمع‌بندی و ارائه گزارش می‌باشد (17). شبیه‌سازی به چهار نوع همانی، نیمه همانی، آزمایشگاهی و رایانه‌ای تقسیم می‌شود. در روش اول خود سیستم به عنوان مدل در نظر گرفته می‌شود. در روش دوم، مرحله‌ای از سیستم واقعی که باعث غیر ممکن شدن شبیه‌سازی همانی است، مدل‌سازی می‌شود. در روش سوم بعضی از نماها و اشیای سیستم واقعی، به وسیله امکانات آزمایشگاهی ساخته شده و بعضی نماها و روابط دیگر به وسیله سمبل‌ها جایگزین می‌شوند. در روش چهارم مدل ساخته شده، برنامه‌ای

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 می‌افتد 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 عمدتاً از طریق افزایش راندمان آبیاری بخصوص افزایش راندمان کاربرد پی‌گیری می‌شود. بطوری که برای برنامه‌های توسعه آبیاری مدرن تا 85 درصد یارانه اعطا می‌گردد. این کار اگر چه به عنوان بخشی از برنامه‌های افزایش بهره‌وری 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 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 (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 مصرف 4830 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

بردارى، و جریانهای ورودی و خروجی زیرزمینی و تغییر حجم ذخیره سفره انداز گیری می شود (13). معادله تعادل آب های زیرزمینی (بقاء جرم)، به شرح زیر است (18).

$$Q_{UI} + Q_P + Q_R + Q_I + Q_{SW} - Q_{VO} - Q_{EX} - Q_D - Q_{ET} \pm \Delta V = 0$$

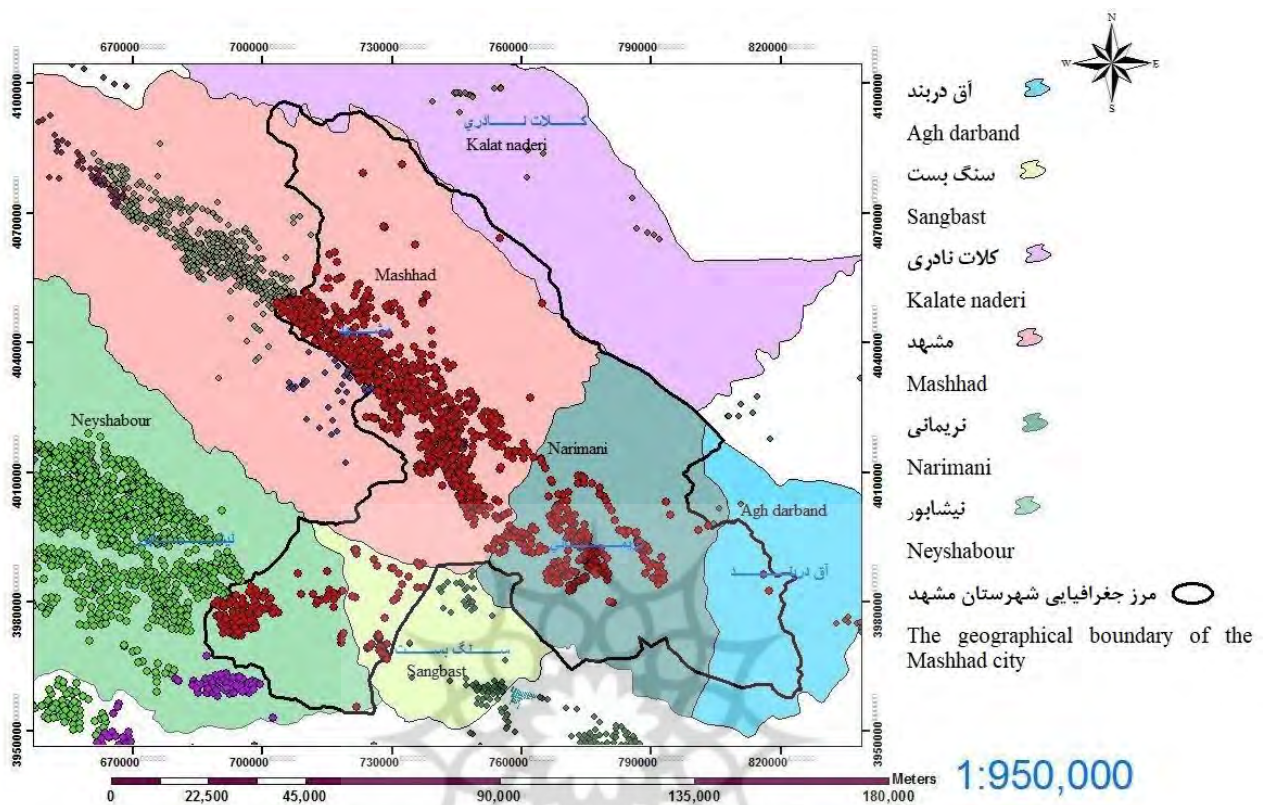
در این رابطه

$Q_{UI}$ ، حجم جریان زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان؛  $Q_P$ ، 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؛  $Q_{VO}$ ، حجم آب زیرزمینی خروجی از محدوده بیلان؛  $Q_{EX}$ ، حجم آب زیرزمینی بهره برداری و تخلیه شده؛  $Q_D$ ، حجم آب زیرزمینی تخلیه شده به وسیله زهکش های طبیعی و مصنوعی؛  $Q_{ET}$ ، حجم آب تبخیر و تعریق شده از سطح آب زیرزمینی و  $\Delta V$ ، 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 می شود. با توجه به اینکه دو جزء حجم آب برگشتی از آبیاری و همچنین حجم آب بهره برداری و تخلیه شده توسط چاه های 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 (17 و 23). سپس تاثیر تغییر سیستم های 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 کانال های 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 شبیه سازی در سطح شهرستان انجام گردید.

برآورد راندمان انتقال و توزیع آب یکی از پارامترهای مهم مدل می باشد. برای محاسبه تلفات آب در جوی های 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 کانال های خاکی نیاز به انجام طرحهای آزمایشی برای کلیه کانال ها 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.

کامپیوتری است که کلیه اشیا و نماهای سیستم، به ساختارهای برنامه ای 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 می شود. (7 و 25) در این مطالعه جهت شبیه سازی 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 آبادی های 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 و سدها و همچنین سطوح زیر کشت آبیاری تحت فشار، نحوه انتقال آب به سر مزرعه، میزان لوله کشی و طول کانال های خاکی و سیمانی تمام آبادی ها با همکاری مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان ها تهیه شد. اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت نیز از آمارنامه های استان استخراج گردید. اطلاعات هزینه تولید با استفاده از پرسشنامه های سیستم هزینه تولید سازمان جهاد و همچنین تکمیل پرسشنامه های لازم بدست آمد. اطلاعات مربوط به میزان برداشت از مخازن در حوزه های آبریز، از سازمان آب منطقه ای تهیه شد. با استفاده از سیستم GIS، تعداد چاه های هر شهرستان در حوزه های آبی مشخص، و با توجه به دبی آنها، سهمشان از برداشت حوزه ها تعیین شد. از این نسبت جهت تعیین میزان سهم هر شهرستان از افت آب های زیرزمینی حوزه های مربوطه و آب برداشت شده توسط چاه های کشاورزی مطابق با آمار آب منطقه ای استفاده گردید. بطور مثال شهرستان مشهد متشکل از 6 حوزه آبی است که بخش هایی از این 6 حوزه آبی در مشهد وجود دارد. از 523800 هزار متر مکعب آب برداشت شده توسط چاه های کشاورزی حوزه مشهد - چناران میزان 291313 هزار متر مکعب از چاه های برداشت شده که در شهرستان مشهد قرار دارند و مابقی در شهرستان های است که بخشی از این حوزه در آنها قرار دارد. بر این اساس سهم سایر چاه های شهرستان مشهد که در سایر حوزه ها قرار دارند نیز بصورت درصد محاسبه گردید. و در نهایت کل آب برداشت شده از چاه های کشاورزی شهرستان مشهد 489932 هزار متر مکعب و سهم این شهرستان از کسری مخزن حوزه های مشترک، با ضرب ضرایب درصدی در کل کسری مخزن هر حوزه محاسبه، و با هم جمع شد. در نتیجه سهم چاه های کشاورزی مشهد از کسری حوزه های مشترک 63057 هزار متر مکعب برآورد گردید (شکل 1).

میزان نفوذ آب به سفره های آب زیرزمینی بیشتر بستگی به بافت خاک، میزان آب و فاصله سفره از سطح زمین دارد. که معمولاً توسط روش هایی مانند تیسن و ردیاب های محیطی در بارش اندازه گیری می شود (24) معمولاً در محاسبه بیلان، اکثر پارامترها مانند مقدار نفوذ حاصل از بارندگی، مقدار نفوذ از آب های سطحی، مقدار آب برگشتی حاصل از آبیاری، حجم آب خروجی از طریق چاه های بهره



شکل 1- موقعیت چاه‌های کشاورزی و حوزه‌های آبی شهرستان مشهد  
Figure1-Position of agricultural wells and watershed of Mashhad city

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 باغ‌های 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 1 و 2 پارامترها و متغیرهای روابط شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. اندیس زیانگر مجموعه ماه‌های سال و اندیس زیانگر مجموعه محصولات زراعی و باغی می‌باشد. بررسی اولیه نشان داد که میزان آب موجود بسیار کمتر از آب مورد نیاز کشاورزان می‌باشد. دلایلی که برای این موضوع می‌توان 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 کاملاً 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 مزارع و باغ‌ها در هر ماه پس از تعدیل سطح زیر کشت و

بر این اساس راندمان انتقال شبکه‌های 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 نظر گرفته شد و در سناریوهای 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 سیستم‌های آبیاری رایج (سطحی) به سیستم‌های 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 علوفه‌ای با 49 درصد و

بستگی به میزان آب منابع به غیر از چاه، و نیاز آبی محصولات دارد.

$$W_{3i} = \begin{cases} H_i & w_{1i} - RI_i \geq H_i \\ w_{1i} - RI_i & IF \quad w_{1i} - RI_i < H_i \\ 0 & w_{1i} - RI_i \leq RI_i \end{cases} \quad (6)$$

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

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

اعمال ضریب کم آبیاری توسط روابط (2) و (3) تعریف شد (23 و 17).

$$Z_i = k_6 [(1 - K_{1i}) \sum_j a_j X_{w_j} + (1 - K_{2i}) \sum_j a_j X_{s_j}] \quad (2)$$

$$G_i = k_8 (1 - K_{3i}) \sum_j b_j X_{o_j} \quad (3)$$

رابطه (4) بیانگر میزان آب مورد نیاز جهت آبیاری مزارع و باغ‌ها 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

جدول 1- مشخصات پارامترهای مدل

Table 1- Parameters description of model

تعریف Definition	نماد Symbol	تعریف Definition	نماد Symbol
نیاز خالص آبیاری محصول باغی Z در ماه i (متر مکعب) Net irrigation requirement of orchard j in month i (m <sup>3</sup> )	b <sub>ij</sub>	کل نیاز ناخالص آبیاری مزارع و باغها در ماه i (متر مکعب) Total gross irrigation requirement for crops and orchards in month i (m <sup>3</sup> )	W <sub>1i</sub>
سطح زیر کشت محصول زراعی زمستانه Z <sub>wj</sub> (هکتار) Culture area of winter crop j	X <sub>wj</sub>	میزان آب چاه و رودخانه در ماه i (متر مکعب) The amount of river and groundwater in month i (m <sup>3</sup> )	W <sub>2i</sub>
سطح زیر کشت محصول زراعی تابستانه Z <sub>sj</sub> (هکتار) Culture area of summer crop j	X <sub>sj</sub>	آب استخراج شده مجاز از چاه در ماه i (متر مکعب) Allowed water extracted from well in month i (m <sup>3</sup> )	W <sub>3i</sub>
سطح زیر کشت محصول باغی Z <sub>oj</sub> (هکتار) Culture area of orchard j	X <sub>oj</sub>	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 <sup>3</sup> )	W <sub>4i</sub>
سهم برداشت آب بخش کشاورزی از آب‌های زیرزمینی (متر مکعب) Share of groundwater extraction for agriculture	OUT	کل آب برداشت شده از چاه‌ها طی یک سال (متر مکعب) Annual Total groundwater extracted (m <sup>3</sup> )	W <sub>5</sub>
سطح زیر کشت با سیستم آبیاری تحت فشار (هکتار) Culture area under pressurized irrigation system (Ha)	X <sub>p</sub>	میزان آب رودخانه، چشمه و قنوات در ماه i (متر مکعب) Water of river, spring and aqueducts in month i (m <sup>3</sup> )	RI <sub>i</sub>
سطح زیر کشت با سیستم آبیاری سنتی (هکتار) Culture area under traditional irrigation system (Ha)	X <sub>n</sub>	کل نیاز خالص آبیاری باغ‌ها در ماه i (متر مکعب) Total net irrigation requirement for orchards in month i (m <sup>3</sup> )	G <sub>i</sub>
کل راندمان آبیاری Whole irrigation efficiency	R	کل نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی در ماه i (متر مکعب) Total net irrigation requirement for crops in month i (m <sup>3</sup> )	Z <sub>i</sub>
راندمان انتقال و توزیع آب Conveyance and distribution water efficiency	R <sub>1</sub>	میزان نفوذ آب به سفره‌های زیرزمینی در مرحله انتقال و توزیع (متر مکعب) Water penetration to aquifers in water conveyance and distribution step (m <sup>3</sup> )	D <sub>1</sub>
میانگین راندمان کاربرد Mean irrigation application efficiency	R <sub>2</sub>	میزان نفوذ آب به سفره‌های زیرزمینی در مرحله مصرف (متر مکعب) Water penetration to aquifers in water Application step (m <sup>3</sup> )	D <sub>2</sub>
راندمان کاربرد در روش آبیاری تحت فشار Irrigation application efficiency in pressurized irrigation	R <sub>p</sub>	حداکثر آب مجاز قابل استخراج از چاه در ماه i (متر مکعب) Maximum water allowable to extract from groundwater in month i	H <sub>i</sub>
راندمان کاربرد در روش آبیاری سنتی Irrigation application efficiency in traditional irrigation	R <sub>n</sub>	نیاز خالص آبیاری محصول زراعی Z در ماه i (متر مکعب) Net irrigation requirement of crop j in month i (m <sup>3</sup> )	a <sub>ij</sub>

جدول 2- مشخصات متغیرهای مدل  
Table 2- Variables description of model

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

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 ( $\sum W_{4i}$ ) و به شرط برقراری روابط 3 تا 14 و با استفاده از solver نرم افزار excel و روش غیر خطی GRG1 برآورد گردید. پس از برآورد ضرایب بر شرایط تعادل با تغییر عوامل مربوط به سناریوها تاثیر این تغییرات بر میزان افت آب‌های زیرزمینی و همچنین برآوردهای اقتصادی محاسبه گردید. دامنه  $K_{2i}$  و  $K_{1i}$  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 در نظر 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 می‌تواند نزدیک به 100 باشد) با توجه به ملاحظات زیست محیطی تعدیل گردید.

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

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

راندمان در سیستم‌های آبیاری شامل راندمان انتقال، توزیع و کاربرد می‌باشد. 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 آبی 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

جدول 3- مشخصات سناریوها  
Table 3- Scenarios specifications

تعریف Definition	نماد Symbol
وضعیت فعلی Current situation	S <sub>0</sub>
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 <sub>1</sub>
افزایش سطح زیر کشت آبیاری تحت فشار در مناطق مستعد Substitute pressurized irrigation systems instead of traditional system in capable area	S <sub>2</sub>
انجام دو سناریوی اول و دوم با هم Combining S <sub>1</sub> and S <sub>2</sub> scenario	S <sub>3</sub>
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 <sub>3</sub> scenario	S <sub>4</sub>
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 <sub>3</sub> scenario	S <sub>5</sub>
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 <sub>1</sub> scenario and increase area of irrigation modern systems to dual of S <sub>3</sub> scenario (only in Sabzevar to 1.5 times).	S <sub>6</sub>

تأثیرات 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 سیستم های نوین تأثیر 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 سیستم های سنتی مصرف انرژی بیشتری دارند. با توجه به اینکه یارانه زیادی به انرژی در کشاورزی داده می شود، لذا در قسمت سوم تأثیر 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 برمی گردد) است که نشان می دهد اگر بخش کشاورزی 20 درصد از

به منظور تعیین هزینه های سالانه سیستم های نوین آبیاری و همچنین لوله گذاری کانال های 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. (17 و 32)

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

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

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 سیستم های نوین آبیاری به سرمایه گذاری کلان، به عنوان یک مشکل جدی اشاره شده است. از این رو دولت 85 درصد هزینه های این سیستم ها را بصورت یارانه پرداخت می کند. از طرف دیگر سرمایه گذاری در سیستم های جدید علاوه بر تأثیر بر تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی بر مصرف انرژی و همچنین تولید موثر است. لذا توسعه این سیستم ها متضمن بار مالی و



94-91 به ترتیب 61/7، 57/1 و 74/6 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 بین 79 تا 94 درصد متغیر بود (جدول 4).

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

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 زیر کشت 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	جوی سیمانی Concrete canal	میانگین Mean	انحراف معیار St.D.	زراعی Crop	باغی Orchard		
									لوله Pipe	
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

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.

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 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.

برمی‌گردد و مابقی یا تبخیر شده (که در کانالهای انتقال و توزیع حدود 2 درصد کل آب است) و یا به جریانهای زیر سطحی می‌پیوندد. 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 می‌باشد. بنابراین افزایش راندمان آبیاری اگر چه با کاهش تلفات آب، میزان استحصال آب از چاه‌ها را کاهش می‌دهد اما موجب کاهش تزیق مجدد آب به منابع زیرزمینی نیز می‌گردد.

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 مجدداً به مخازن

جدول 5- 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 <sub>1i</sub> %	K <sub>2i</sub> %	K <sub>3i</sub> %	میانگین کم آبیاری Mean of low irrigation %	K <sub>4i</sub> %	K <sub>5i</sub> %	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				
	2	13	13	13				
مشهد Mashhad	3	15	15	15	10	50	20	35
	4	0	14	14				
	5	0	12	12				
	1	39	39	39				
	2	50	50	50				
تربت جام Torbat-e-jam	3	50	50	50	41	60	30	44
	4	0	50	50				
	5	0	48	48				
	1	29	29	29				
	2	32	32	32				
تربت حیدریه Torbat-e- heidarieh	3	33	33	33	27	72	48	58
	4	0	50	53				
	5	0	11	12				
	6	0	20	20				

ماخذ: یافته‌های 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

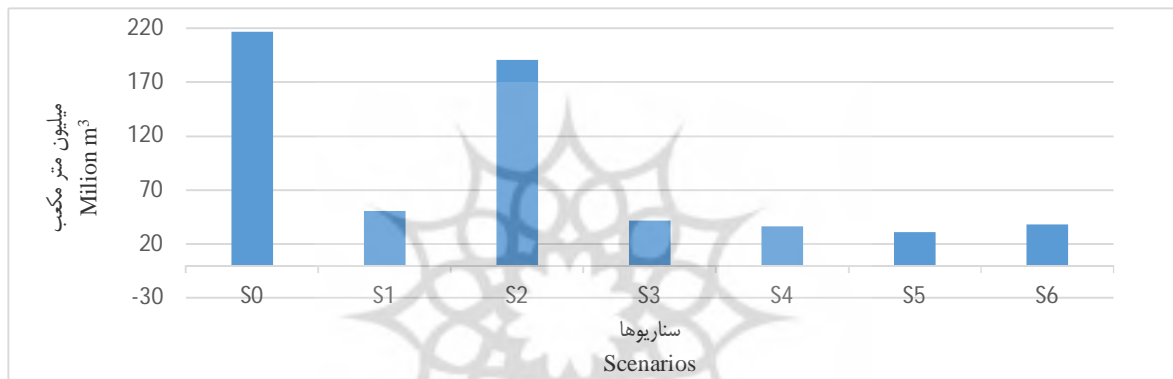
همانطور که ملاحظه می‌شود اگر تنها زمینهای مستعد آبیاری تحت فشار به این سامانه‌ها مجهز شوند (سناریوی دوم)، میزان برداشت آب از چاه کاهش کمی دارد اما با لوله گذاری کانالهای خاکی (سناریوی یک) میزان برداشت آب از چاه کاهش چشمگیری داشته که دلیل آن کاهش تلفات آب در مرحله انتقال است.

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

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 <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>
R <sub>1</sub>	55	95	55	95	95	95	95
R <sub>p</sub>	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 <sub>5</sub>	466	277	419	254	242	232	245

ماخذ: یافته‌های تحقیق  
Source: Research findings



شکل 2- مقایسه نفوذ آب به سفره‌های زیرزمینی در سناریوهای مختلف شهرستان سبزوار  
Figure2- Comparison of water penetration to underground aquifers in different scenarios of Sabzevar city

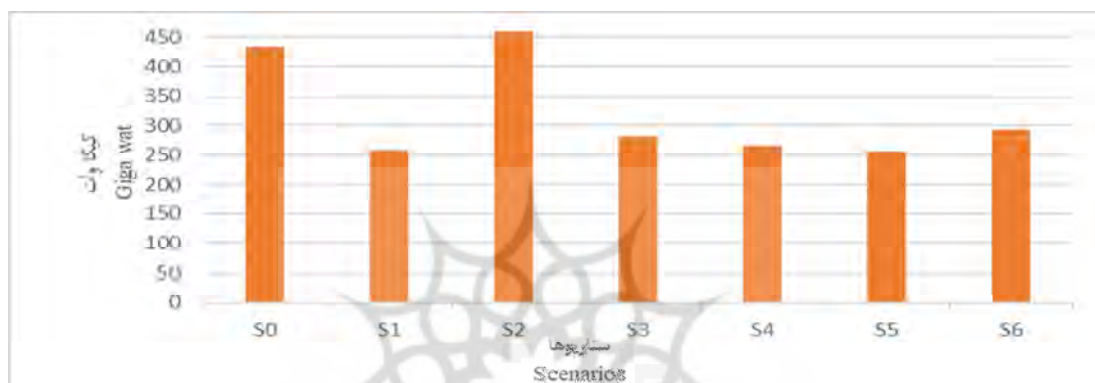
برداشت آب را کمی کاهش می‌دهد اما به خاطر مصرف بیشتر انرژی در سامانه‌های آبیاری تحت فشار، موجب افزایش مصرف انرژی شده و اگر چه کسری مخزن به کمتر از 50 درصد قبل از اجرای سناریو می‌رسد، اما همچنان کسری خواهیم داشت (شکل 3 و 4). در صورتی که هر دو سناریو با هم اجرا شود (سناریوی 3) کسری مخزن 90 درصد کاهش خواهد یافت.

یکی از مسائل مهمی که پیش روی ترویج سیستم‌های آبیاری تحت فشار می‌باشد 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 عملاً 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 می‌تواند 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

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 سفره‌های زیرزمینی شده (شکل 2) و از طرفی مصرف انرژی را حدود 41 درصد کاهش می‌دهد (شکل 3) که تقریباً 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 مصرف 4830 گیگاوات ساعت، 14/5 درصد از برق مصرف شده در بخش کشاورزی کشور را مصرف کرده است که عمدتاً 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 تا 50 درصد در سال 2007 کاهش داد (27). برآیند اجرای سناریو یک بر سفره‌های زیرزمینی، کسری مخزن را 57 درصد کاهش می‌دهد (شکل 4) اما اگر تنها زمین‌های مستعد آبیاری تحت فشار به این سامانه‌ها مجهز شوند (سناریوی دوم) اگر چه

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 می یابد اما تاثیر افزایش 50 درصدی سطح سیستم های جدید، 113 درصد بر تراز مخزن اثر مثبت دارد.

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 می تواند 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



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

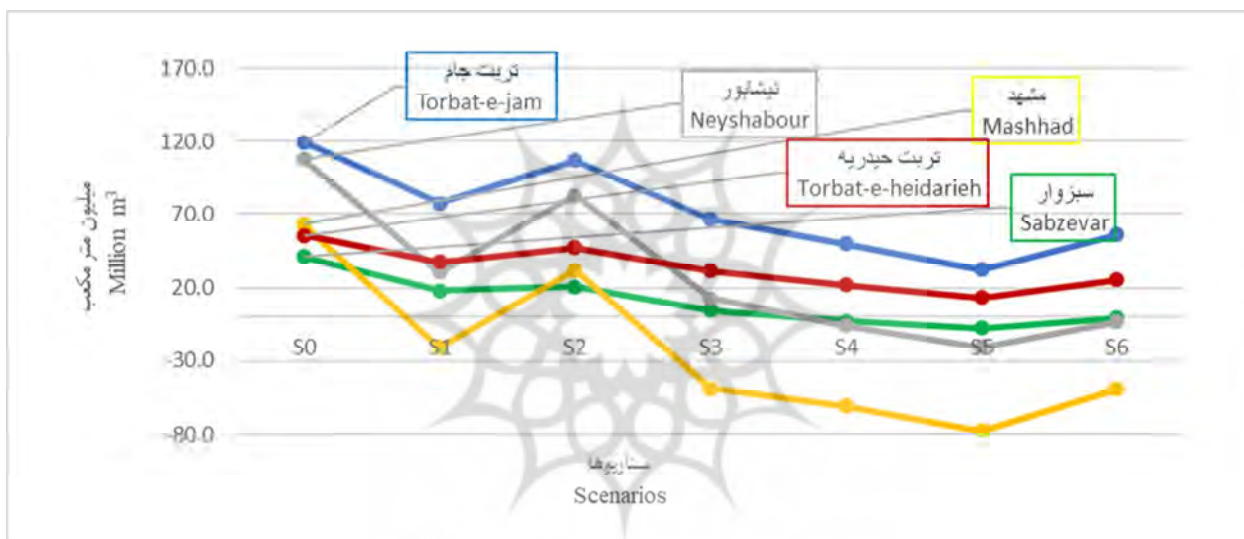
یابد تا تعادل برقرار شود اما با اجرای سناریوها این میزان بین حداقل 8 تا 18 درصد در تربت جام و 4 تا 12 درصد در تربت حیدریه خواهد بود. لازم به یادآوری است که اگر عملکرد به میزان درصدهای گفته شده افزایش یابد، کاهش سطح زیر کشت تاثیر ناچیزی بر تغییر درآمد کشاورزان خواهد داشت. در سایر شهرستان ها بدون کاهش سطح زیر کشت، کسری مخزن به سمت صفر حرکت کرده و تراز مثبت خواهد شد.

نتایج ارزیابی اقتصادی تعدادی از سناریوهای شهرستان سبزوار در

شکل (5) تاثیر اجرای سناریوهای مختلف بر کسری مخزن در شهرستان های مختلف را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود 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 می شود. در شهرستان های 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 درصد کاهش

افزایش می‌یابد 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.

جدول (7) آمده است. هزینه‌های اجرای سناریوها شامل هزینه افزایش انرژی در سناریوهایی که سطح زیر کشت آبیاری تحت فشار در آنها افزایش می‌یابد، 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 (یا کاهش استخراج آب از چاه) و چه بصورت کاهش هزینه بارانه دولت است. متوسط ارزش اقتصادی آب در سناریوهایی مختلف در مناطق مورد مطالعه و در حالت عملکرد اولیه در جدول (8) آمده است. این مقدار در سناریوهایی که عملکرد



شکل 5- تاثیر اجرای سناریوهای مختلف بر کسری مخزن در مناطق 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%	قیمت برق	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>
Increase of yield%	Power price						
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: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

انرژی به عنوان آثار اجرای سناریو مد نظر باشد، هیچ یک از سناریوها نمی‌توانند هزینه‌های خود را پوشش داده و تنها سناریو یک نزدیک

در شهرستان سبزوار، اگر اجرای سناریوها تاثیری بر عملکرد نداشته و تنها ارزش اقتصادی آب صرفه جویی شده و کاهش هزینه

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 سرمایه گذاری اولیه معادل 695 میلیارد ریال داشته در صورتی که جهت تجهیز 15342 هکتار از اراضی به سیستم های نوین، 1079 میلیارد ریال سرمایه گذاری لازم است. از این رو سناریو اول با وجود داشتن منافع اقتصادی بیشتر، بصورت نسبی هزینه کمی نیز برای سرمایه گذاری نیاز دارد. با توجه به قیمت تمام شده انرژی که بین 680 تا 7300 ریال برآورد شده (19)، میزان پرداخت های 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 می شود.

نقطه سر به سر می باشد. این در حالی است که در سایر شهرستان ها سناریوی یک به تنهایی می تواند 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 شهرستان ها بدون افزایش عملکرد توجیه اقتصادی ندارد زیرا علاوه بر سرمایه گذاری 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

جدول 8- ارزش اقتصادی آب در مناطق مورد مطالعه

Table 8-Economic value of water in study area

شهرستان City	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>
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

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

در صورتی که به لحاظ فیزیکی حداکثر سرمایه گذاری ممکن انجام شود و به عبارت بهتر، خطوط انتقال آب کاملا لوله کشی شده و تمام زمین های قابل تجهیز به سیستم های جدید، مجهز شوند ولی راندمان سیستم ها 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 می آید که بیانگر

از آثار توسعه سیستم های نوین می توان به افزایش عملکرد در هکتار محصولات کشاورزی اشاره کرد. به علت افزایش سطح سیستم های نوین آبیاری در سناریو های دو تا شش، و با وجودی که افزایش عملکرد تاثیر بیشتری بر افزایش برتری اقتصادی آنها دارد، اما باز هم نرخ بازده سرمایه گذاری در سناریو اول در کلیه شهرستان ها به جز سبزوار بالاتر از 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 کانال های 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 می باشد.

به وجود پدیده ریسک در کشاورزی کم می‌باشد. اما افزایش عملکرد می‌تواند منجر به نرخ قابل قبولی شود و حتی در شهرستان سبزوار نیز درآمد خالص مثبت شده و نرخ بازده به 26 درصد برسد.

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

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: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

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 هزینه‌ها می‌شود بلکه منافع ملی نیز افزایش می‌یابد.

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

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این مطالعه نشان داد که صرفاً با افزایش سطح سیستم‌های نوین امکان تعادل‌سازی در منابع آب زیرزمینی محقق نخواهد شد بلکه افزایش راندمان سامانه‌های 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 لوله‌گذاری 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 کاملاً به صرفه است و هم در حفظ منابع آب زیرزمینی نقش اساسی دارد.

همانطور که شکل (3) نشان می‌دهد افزایش مصرف انرژی از تبعات مهم گسترش سیستم‌های نوین آبیاری است. علاوه بر هزینه زیادی که کشاورزان بابت مصرف انرژی در سیستم‌های سنتی فعلی می‌پردازند، 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 یارانه‌ای 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 می‌یابد و از 0/99 به 1/33 و با حذف کامل یارانه به 19 می‌رسد. 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 کاهش یارانه به شدت کم می‌گردد. بنابراین تحت شرایط سناریو دوم (که از لحاظ راندمان سیستم‌های آبیاری وضعیت فعلی استان است)، دولت جهت گسترش سیستم‌های نوین آبیاری ناچار به اعطای یارانه است که این یارانه علاوه بر تاسیسات، شامل

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 زیر کشت 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.

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 روش های 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

## 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., Turrall, 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 Sadreghaieen 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, Technical Repor. Available at [http://www.ce.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/lectures/McKinneySavitsky\\_ver8\\_e.pdf](http://www.ce.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/lectures/McKinneySavitsky_ver8_e.pdf) (visited 1 April 2015).
- 18- Ministry 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- Ministry of energy. 2013. An Overview of the Water and Electricity Industry from Aspects of Cost Price, Sale



- Price, Resource, Consumption and Investment. Tehran. (in Persian)
- 20- Ministry 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. University 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)