اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۸، شمارهٔ ۱۱۰، تابستان ۱۳۹۹

DOI: 10.30490/aead.2020.275765.1040

مقایسهٔ سیاست‌های کاهش برداشت آب و افزایش راندمان آبیاری: مطالعهٔ موردی استان خراسان رضوی

شجاعت زارع[۱]، حمید محمدی[۲]، محمود صبوحی[۳]، محمود احمدپور[۴]، سیداحمد محدث‌حسینی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۱۶

چکیده

پژوهش حاضر با هدف مقایسه تأثیر سیاست کاهش برداشت آب از منابع آب زیرزمینی و سیاست افزایش راندمان آبیاری انجام شد. بدین منظور، پنج شهرستان مشهد، سبزوار، نیشابور،

۱- نویسندهٔ مسئول و استادیار گروه 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. (Shojaat168@gmail.com)

۲- استادیارگروه اقتصاد کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
(hamidmohammadi1378@gmail.com)

۳- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(msabuhi39@yahoo.com)

۴- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی،، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
(Mahmoud_ahmadpour@yahoo.com)

۵- استادیار گروه 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.

تربت‌جام و تربت‌حیدریه در استان خراسان رضوی انتخاب شدند. با استفاده از نوعی مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP-GME)، تأثیر این سیاست‌ها بر کسری مخازن آب‌های زیرزمینی، میزان تولید، خالص واردات، خالص منافع اجتماعی و درآمد کشاورزان در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ بررسی شد. گردآوری اطلاعات مورد نیاز با استفاده از پرسشنامه و آمار سازمان‌های مرتبط صورت گرفت. نتایج سیاست کاهش برداشت آب نشان داد که در برخی سناریوها، اگرچه این گزینه می‌تواند با ایجاد تعادل در برداشت آب، مصرف انرژی را تا ۲۵ درصد کاهش دهد، اما به کاهش تولید محصولات مهمی مانند گندم و افزایش هزینه‌های اجتماعی به‌ویژه کاهش درآمد کشاورزان و افزایش واردات می‌انجامد. جایگزینی سامانه‌های جدید به‌جای قدیمی و افزایش راندمان آبیاری در حد ظرفیت موجود بدون افزایش سطح زیر کشت، کسری مخزن را ۹۴ درصد کاهش می‌دهد. البته برای ایجاد تعادل در برداشت آب‌های زیرزمینی، لازم است ضمن بستن چاه‌های غیرمجاز، نسبت به کاهش تدریجی پروانه چاه‌های مجاز نیز اقدام کرد؛ همچنین، با اعطای تسهیلات و خدمات مشاوره‌ای به کشاورزان، می‌توان آنها را در افزایش راندمان آبیاری و در پی آن، افزایش سطح زیر کشت یاری داد.

کلیدواژه‌ها: *چاه‌های غیرمجاز، سیاست کاهش برداشت آب، کسری مخزن، راندمان آبیاری، هزینه‌های اجتماعی، خراسان رضوی (استان).*

طبقه‌بندی JEL: C61, D61, D78, Q28

مقدمه

با تداوم خشکسالی‌ها و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، هرساله بر عمق برداشت آب از منابع زیرزمینی افزوده می‌شود که علاوه بر افزایش مصرف انرژی و کاهش کیفیت و کمیت برداشت آب، هزینه‌های زیادی را نیز به کشاورزان برای افزایش عمق و یا جابه‌جایی چاه تحمیل می‌کند. نتایج مطالعه مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی نشان داده است که افزایش جمعیت، افزایش چاه‌های غیرمجاز و افزایش برداشت از چاه در خشکسالی‌ها و نیز محوریت کشاورزی در معیشت استان خراسان رضوی از چالش‌های مدیریت آب در این استان

بوده و اصلاح الگوی کشت، افزایش راندمان توزیع و مصرف آب در سطح مزرعه، افزایش آگاهی کشاورزان و نظارت دقیق برای جلوگیری از مازاد برداشت از راهکارهای برون‌رفت از بحران آب استان است (Soleymani and Hajizadeh, 2009)؛ اما اجرای سیاست‌های مدیریت مصرف که جزئی از مدیریت تقاضاست و تلاش دارد با افزایش بهره‌وری، کاهش تلفات و مصارف غیرضروری این بحران را مهار کند، لازم است با مشارکت کلیه دست‌اندرکاران و ذی‌نفعان انجام شود (Palouj, 2014). در این راستا، طرح ملی احیا و تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی با مشارکت وزارتخانه‌های جهاد کشاورزی و نیرو به‌صورت جدی مورد توجه قرار گرفت که در اولین مرحله، بستن چاه‌های غیرمجاز و افزایش سرعت نصب کنتور هوشمند بر روی چاه‌ها در حال اجراست. در بخش کشاورزی که بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب است، افزایش راندمان انتقال و توزیع آب از طریق اصلاح کانال‌های آبیاری و نیز افزایش راندمان مصرف از طریق گسترش سامانه‌های نوین آبیاری مورد توجه بوده است (Sabouhi and Zare, 2014). طی سال‌های گذشته، دولت با اعطای یارانه سعی در توسعه سامانه‌های نوین آبیاری و افزایش راندمان آبیاری برای مقابله با افزایش مصرف آب داشته، اما این سیاست نتوانسته است مانع کاهش برداشت آب و ایجاد تعادل در آب‌های زیرزمینی شود، به‌گونه‌ای که میزان کاهش سالانه سطح آب‌های زیرزمینی کشور به‌طور متوسط ۰/۴۸- متر است (Ministry of Energy, 2015). در واقع، اجرای سامانه‌های نوین آبیاری در عمل دارای مشکلاتی از قبیل عدم نظارت مؤثر بر کار شرکت‌های پیمانکار، مشارکت ضعیف کشاورزان در برنامه‌های آموزشی، کوچکی و پراکندگی اراضی، کمبود اعتبار و نیز مشکلات مدیریتی، طراحی و اجرا بوده، که مانع از تحقق اهداف گسترش آن در کشور شده است (Amiri-Ardakani and Zamani, 2003; Mahboubi et al., 2011; Mohammadi and Alipour, 2017; Salem, 2018). همچنین، توسعه این سامانه‌ها، به‌جای کاهش مصرف آب، همراه با افزایش سطح زیر کشت بوده است (Nazari et al., 2014). از این‌رو، گزینه اجبار به کاهش برداشت از طریق توسعه کنتورهای هوشمند انتخاب شد و مسئولان وزارت نیرو، ضمن تجدید نظر در پروانه‌های صادرشده، با

نصب کنتورهای هوشمند، به کنترل برداشت کشاورزان پرداختند و با اخذ جریمه‌های اضافه‌برداشت از کشاورزان، کمبود آب و ارزش اقتصادی آن را بیش از پیش برای کشاورزان ملموس کردند (Nainiva et al., 2018). این سیاست توانسته است در برخی نقاط منجر به کاهش افت آب‌های زیرزمینی شود (Kosari Sivaki et al., 2016; Yazdani, 2013). اگرچه رضایت‌مندی کشاورزان از کنتور آب هوشمند بستگی زیادی به آگاهی آنها از مزایای آن در حفظ منابع آبی دارد (Qobadpour et al., 2018) اما این سیاست در عمل به‌خاطر وجود تقاضای آب از سوی کشاورزان، در موارد متعدد، منجر به آب‌فروشی از سوی وزارت نیرو شده است (Nainiva et al., 2018). فارغ از اینکه این سیاست تا چه میزان قابلیت اجرا دارد و با فرض اجرای موفقیت‌آمیز آن، تأثیر آن بر تعادل آب‌های زیرزمینی، تولید و درآمد کشاورزان و همچنین، تأثیرات اقتصادی آن بر کل کشور نامشخص است. بیشتر مطالعاتی که در ایران انجام شده، به بررسی تأثیر سیاست‌هایی مانند قیمت‌گذاری، استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری و یا سهمیه‌بندی آب بر مصرف آب و الگوی کشت پرداخته‌اند (Ahmadpour and Sabouhi, 2009; Mozaffari, 2016; Nazari et al., 2014; Parhizkari et al., 2014; Varziri et al., 2016)، در حالی که تأثیر این سیاست‌ها بر منابع آب زیرزمینی با میزان مصرف آب متفاوت است. برای نمونه، سامانه‌های نوین آبیاری منجر به افزایش راندمان آبیاری و کاهش مصرف آب می‌شود، ولی آیا این کاهش مصرف باعث افزایش سطح آب‌های زیرزمینی شده است؟ بر پایهٔ نتایج مطالعهٔ علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2014)، بدون کنترل سطح زیر کشت، توسعه این سامانه‌ها بر منابع آب زیرزمینی اثر منفی دارد. بررسی تأثیر کاهش مصرف آب در حوضه آبریز دشت مشهد در راستای تعادل‌بخشی نیز نشان داد که کاهش مصرف آب منجر به کاهش قابل توجه در تولید اکثر محصولات شده و تنها تولید پیاز، گوجه‌فرنگی و حبوبات افزایش یافته است (Alizadeh et al., 2012). بر پایهٔ نتایج مطالعهٔ احمد و همکاران (Ahmad et al., 2007)، این سیاست در پاکستان موفق نبوده و افزایش سطح زیر کشت به‌همراه افزایش تبخیر و تعرق و کاهش نفوذ آب تلف‌شده به منابع آب زیرزمینی از نتایج آن بوده است. همچنین، هو و

همکاران (Hu et al., 2010) نشان دادند که برای ایجاد تعادل در منابع آب زیرزمینی در ناحیهٔ شمال چین، باید ۲۹/۲ درصد از میزان آبیاری کاسته شود و اگر این کاهش به ۳۹/۲ درصد برسد، سطح آب‌های زیرزمینی به سال ۱۹۵۶ که زمان شروع استخراج آب با پمپ‌های برقی بود، می‌رسد. این سیاست، علی‌رغم داشتن هزینه برای به‌کارگیری سامانه‌های مناسب آبیاری و کاهش ده درصدی تولید، با توجه به منافع زیست‌محیطی حاصل از اجرای آن، مقرون به‌صرفه است. مائو و همکاران (Mao et al., 2005)، با بررسی اثرات الگوی آبیاری در سال‌های آتی بر منابع آب زیرزمینی شمال چین، نشان دادند که تنها از طریق کاهش آبیاری، جلوگیری از کاهش آب‌های زیرزمینی امکان‌پذیر است. همچنین، چن و همکاران (Chen et al., 2016)، با بررسی تأثیر سناریوهای متفاوت کاهش میزان نشت آب از کانال‌های انتقال (افزایش راندمان انتقال) و کاهش سهمیه آب کشاورزان بر کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در شمال شرق چین، بدین نتیجه رسیدند که کاهش هشتاد درصدی سهمیه کشاورزان بیشترین تأثیر را بر افزایش سطح آب‌های زیرزمینی دارد، ضمن اینکه تأثیر کاهش ده درصدی سهمیه کشاورزان با کاهش ضریب نشت از کانال‌ها از ۰/۳۵ به ۰/۳ برابر است؛ بنابراین، اجرای این سیاست‌ها در شرایط معین می‌تواند منجر به ایجاد تعادل در برداشت آب از منابع زیرزمین شود، اما باید دید که اثرات اقتصادی آن بر جامعه و کشاورزان و تأثیر آن بر تولید و تجارت محصولات چگونه خواهد بود.

مشکل کمبود آب در استان خراسان رضوی نیز همانند بسیاری از نقاط ایران، با کاهش شدید سطح آب‌های زیرزمینی و بحرانی شدن بسیاری از دشت‌ها و در پی آن، اثرات زیست‌محیطی کمبود آب با نشست زمین در برخی نقاط بیش از پیش نمایان شده است. در سال ۱۳۹۲، از ۳۷ دشت استان، نوزده دشت «ممنوعه» و پانزده دشت «بحرانی» گزارش شد. میزان کسری مخزن نیز ۱۱۱۷ میلیون متر مکعب گزارش شد، که بیش از هفده درصد از برداشت را شامل می‌شود (Ministry of Energy, 2014). از سوی دیگر، افت آب‌های زیرزمینی نیز باعث شده است که میزان مصرف انرژی در بخش کشاورزی استان خراسان رضوی نیز به‌طور نسبی بیش از سایر

استان‌ها باشد، به‌گونه‌ای که مشترکین برق کشاورزی استان شامل ۵/۴ درصد از کل مشترکین برق کشاورزی کشور، در سال ۱۳۹۲، با مصرف ۴۸۳۰ گیگاوات ساعت، ۱۴/۵ درصد از برق مصرفی در بخش کشاورزی کشور را مصرف کرده‌اند (Statistical Center of Iran, 2014). از این‌رو، اجرای سیاست‌هایی که بتواند منجر به حل این بحران شود، بسیار ضروری است؛ اما همان‌گونه که اشاره شد، اثرات سیاست‌های اتخاذشده روشن نیست. در پژوهش حاضر، به‌منظور ارزیابی تأثیر این سیاست‌ها بر اقتصاد کشاورزی استان خراسان رضوی، تأثیر دو سناریوی «کاهش برداشت آب از منابع آب زیرزمینی» و «توسعه سامانه‌های نوین آبیاری» بر آب‌های زیرزمینی در قالب چندین زیرسناریوی تأثیر بر الگوی کشت، تولید، درآمد کشاورزان و منافع اجتماعی در استان خراسان رضوی بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر سیاست‌های کاهش برداشت آب از منابع آب زیرزمینی و توسعه سامانه‌های نوین آبیاری در استان خراسان رضوی، پنج شهرستان استان شامل مشهد، سبزوار، نیشابور، تربت‌جام و تربت‌حیدریه انتخاب شدند. این شهرستان‌ها، علاوه بر اینکه بر حوضه‌هایی با افت زیاد آب‌های زیرزمینی منطبق هستند، اغلب چند حوضه مشترک دارند و در بین ۲۹ شهرستان استان، بیش از ۳۵ درصد از کل سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی را به خود اختصاص داده‌اند. بخشی از اطلاعات مورد نیاز برای پژوهش حاضر با استفاده از پرسشنامه و همکاری سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی تهیه شده و این اطلاعات شامل کلیه منابع آبی به‌تفکیک روستا، طول و نوع کانال‌های انتقال آب، و سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی به‌شیوه‌های نوین آبیاری در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ بوده است. اطلاعات هزینه و درآمد و سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی به‌شیوه آبیاری سنتی از اداره آمار و اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی و اطلاعات مربوط به میزان برداشت از مخازن در حوضه‌های آبریز نیز از سازمان آب منطقه‌ای تهیه شد. با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی

(GIS)، تعداد چاه‌های هر شهرستان در حوضه‌های آبی مشخص و با توجه به دبی آنها، سهم هر کدام از برداشت حوضه‌ها تعیین شد. با بهره‌گیری از این نسبت، تعیین میزان سهم هر شهرستان از افت آب‌های زیرزمینی حوضه‌های مربوط و آب برداشت‌شده از طریق چاه‌های کشاورزی مطابق با آمار آب منطقه‌ای صورت گرفت. ضریب کم‌آبیاری و میزان نفوذ آب تلف‌شده به آب‌های زیرزمینی از طریق شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار اکسل برآورد شد (Zare et al., 2017). به‌منظور تعیین هزینه‌های سالانه سامانه‌های نوین آبیاری و همچنین، لوله‌گذاری کانال‌های انتقال آب از روابط (۱) و (۲) استفاده شد (Mckinney and Savitsky, 2006).

$$F= P(1+i)^n \quad (۱)$$

$$A= P(i(1+i)^n / ((1 +i)^n-1) \quad (۲)$$

در این روابط، F ارزش آتی پول، P ارزش کنونی، i نرخ بهره (تنزیل)، n تعداد سال‌های بهره‌برداری و A ارزش یکنواخت سالانه است. از آنجا که محاسبات اقتصادی درآمدها و هزینه‌ها در مدل مربوط به یک سال زراعی بود، نرخ تنزیل بر پایه سود بانکی یک‌ساله، ده درصد در نظر گرفته شد. در پژوهش حاضر نیز با توجه به فراگیر بودن به‌کارگیری مدل‌های ریاضی در بررسی اثرات سیاست‌گذاری (Balali and Viaggi, 2015; Doppler et al., 2002; Kahil et al., 2016; Mamitimin et al., 2015; Zhong et al., 2015)، از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت[1] (PMP) در محیط نرم‌افزاری گمز[2] (GAMS) استفاده شد. در این مدل، ابتدا مدل الگوی کشت بهینه منطقه تهیه می‌شود (روابط (۳) تا (۱۶)). برای بررسی و تحلیل تأثیر سیاست‌ها بر الگوی کشت، باید مدل به‌گونه‌ای واسنجی شود که پس از اجرا، مقدار سطح زیر کشت و ترکیب الگو با الگوی کشاورزان یکسان باشد؛ بدین ترتیب، شرایطی که در آن، کشاورزان تصمیم‌گیری می‌کنند، شبیه‌سازی می‌شود. بنابراین، پس از برآورد تابع هزینه‌های پیش روی کشاورزان، این تابع جایگزین قسمت هزینه تولید در رابطه (۳) می‌شود (Bakhshi et al., 2012). برای برآورد

1. Positive Mathematical Programming
2. General Algebraic Modeling System

ضرایب تابع هزینه (درجه دو) مدل، از روش حداکثر بی‌نظمی تعمیم‌یافته[1] (GME) در محیط نرم‌افزاری گمز استفاده شد (Sabouhi and Ahmadpour, 2012). متغیرها و پارامترهای مدل در جداول ۱ و ۲ آمده است.

محصولات مورد مطالعه در الگوی کشت شامل گندم، جو، پنبه، چغندرقند، پیاز، سیب‌زمینی، ذرت، گوجه‌فرنگی، هندوانه و یونجه بوده، که بیش از نود درصد از سطح زیر کشت منطقه را به خود اختصاص داده است. معادلات مدل عبارت‌اند از: تابع هدف؛ مصرف انرژی به‌تفکیک محصولات پاییزه، بهاره و روش‌های مختلف آبیاری؛ محدودیت‌های زمین و تناوب زراعی؛ روابط آب مصرفی به‌صورت ماهانه و با توجه به نوع محصول، نوع سیامانهٔ آبیاری و راندمان آبیاری در مراحل انتقال، توزیع و مصرف؛ میزان برداشت آب از چاه‌های مجاز و غیرمجاز، استخرهای ذخیره و سایر منابع آب سطحی و زیرسطحی؛ و روابط تجاری و مبادلات محصول بین نواحی و خارج از مرزهای مناطق مورد مطالعه که در مجموع، حدود هزار متغیر و بیش از هزار محدودیت و البته با تبدیل آن به مدل PMP، با توجه به سناریوی مورد بررسی، بیش از دو هزار متغیر و ۱۵۰۰ محدودیت داشته است.

1. Generalized Maximum Entropy

جدول ۱- نماد متغیرهای مورد استفاده در مدل

ردیف	نام متغیر	توضیحات
۱	YX_g^k	مقدار تولید محصول k در منطقه g
۲	yyx_g^y	مقدار تولید محصول y در منطقه g
۳	X_g^k	سطح زیر کشت محصول k در منطقه g
۴	txf_g	کل سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی آبیاری‌شده به روش کرتی در منطقه g
۵	$txnf_g$	کل سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی آبیاری‌شده به روش آبیاری نوین در منطقه g
۶	ra_g	میانگین راندمان مصرف آبیاری در منطقه g
۷	$rtot_g$	میانگین کل راندمان آبیاری در منطقه g
۸	$w5_g$	مقدار آب استخراج‌شده از چاه‌ها در منطقه g
۹	$d1_g$	میزان نفوذ آب به مخازن زیرزمینی در مرحله انتقال و توزیع در منطقه g
۱۰	$d2_g$	میزان نفوذ آب به مخازن زیرزمینی در مرحله مصرف در منطقه g
۱۱	def_g	میزان کسری مخزن در شرایط اجرای سناریو در منطقه g
۱۲	tw_g^t	کل آب در دسترس در ماه t در منطقه g
۱۳	$w31_g^t$	مقدار آب استخراج‌شده از چاه‌های دارای پروانه برداشت در ماه t در منطقه g
۱۴	$w32_g^t$	مقدار آب استخراج‌شده از چاه‌های فاقد پروانه برداشت در ماه t در منطقه g
۱۵	ri_g^t	مقدار آب در دسترس از منابع آب سطحی در ماه t در منطقه g
۱۶	$w4_g^t$	مقدار آب استخراج‌شده از چاه‌های شناسایی‌نشدهٔ فاقد پروانه برداشت و یا اضافه‌برداشت از چاه‌های دارای پروانه در ماه t در منطقه g
۱۷	$tw31_g$	کل آب استخراج‌شده از چاه‌های دارای پروانه برداشت در منطقه g
۱۸	$tw32_g$	کل آب استخراج‌شده از چاه‌های فاقد پروانه برداشت در منطقه g
۱۹	$tw4_g$	کل آب استخراج‌شده از چاه‌های شناسایی‌نشدهٔ فاقد پروانه برداشت و یا اضافه‌برداشت از چاه‌های دارای پروانه در منطقه g
۲۰	$wpool_g^t$	مقدار آب ذخیره‌شده در استخرهای ذخیره آب در ماه t در منطقه g
۲۱	pol_g	تعداد استخر ذخیره آب احداث‌شده در سناریوی مورد بررسی در منطقه g
۲۲	yex_g^{ggy}	مقدار محصول y خارج‌شده از منطقه g به مقصد gg
۲۳	yim_g^{ggy}	مقدار محصول y واردشده از منطقه g به gg
۲۴	$timf_y$	کل واردات محصول y از خارج از منطقه مطالعاتی به داخل منطقه
۲۵	$texf_y$	کل صادرات محصول y از داخل منطقه مطالعاتی به خارج از منطقه

ردیف	نام متغیر	توضیحات
۲۶	ex_g^y	کل مقدار محصول y خارج‌شده از منطقه g به سایر مناطق در محدوده مطالعاتی
۲۷	exf_g^y	کل محصول y خارج‌شده از منطقه g به خارج از محدوده مطالعاتی
۲۸	im_g^y	کل محصول y واردشده به منطقه g از سایر مناطق محدوده مطالعاتی
۲۹	imf_g^y	کل محصول y واردشده به منطقه g از خارج از محدوده مطالعاتی
۳۰	ctotranc	کل هزینه حمل‌ونقل بین‌منطقه‌ای
۳۱	tci	خالص هزینه واردات
۳۲	obj	مقدار تابع هدف
۳۳	$needwater_g^t$	کل آب مورد نیاز سر مزارع و باغ‌ها در ماه t در منطقه g
۳۴	$powwf_g^{wf}$	انرژی الکتریکی مصرف‌شده در هکتار برای انتقال آب به روش کرتی به مزرعه محصول پاییزه w در منطقه g
۳۵	$powsf_g^{sf}$	انرژی الکتریکی مصرف شده در هکتار برای انتقال آب به روش کرتی به مزرعه محصول بهاره s در منطقه g
۳۶	$powwnf_g^{wp}$	انرژی الکتریکی مصرف‌شده در هکتار برای انتقال آب با سامانه‌های نوین آبیاری به مزرعه محصول پاییزه w در منطقه g
۳۷	$powsnf_g^{sp}$	انرژی الکتریکی مصرف‌شده در هکتار برای انتقال آب با سامانه‌های نوین آبیاری به مزرعه محصول پاییزه s در منطقه g
۳۸	$powerpool_g$	انرژی الکتریکی مصرف‌شده برای انتقال آب از استخرهای ذخیره به مزارع در منطقه g
۳۹	$totalpowerg_g$	کل انرژی الکتریکی مصرف‌شده برای انتقال آب به مزارع محصولات موردمطالعه درمنطقه g
۴۰	*totalpowert*	کل انرژی الکتریکی مصرف‌شده برای انتقال آب به مزارع در مدل
۴۱	$cost_g^k$	هزینه در هکتار محصول y در منطقه g
۴۲	$wellcoef_g^t$	درصد آب چاه استفاده‌شده برای آبیاری در ماه t در منطقه g
۴۳	xs_g	سطح زیر کشت محصولات بهاره در منطقه g
۴۴	xw_g	سطح زیر کشت محصولات پاییزه در منطقه g
۴۵	xf_g	سطح زیر کشت محصولات آبیاری‌شده به روش کرتی در منطقه g
۴۶	xp_g	سطح زیر کشت محصولات آبیاری‌شده به روش آبیاری نوین در منطقه g
۴۷	$coefland_g$	درصد استفاده از زمین‌های آیش برای افزایش سطح زیر کشت با آب مازاد در منطقه g

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۲- نماد پارامترهای مورد استفاده در مدل

ردیف	نام پارامتر	توضیحات
۱	PX_g^k	قیمت محصول k در منطقه g
۲	CX_g^k	کل هزینه در هکتار به‌غیر از هزینه آب محصول k در منطقه g
۳	$sdcx_g^k$	انحراف معیار هزینه در هکتار محصول k در منطقه g
۴	pw_g	قیمت هر کیلووات انرژی
۵	$ctranc_g^{y\,gg}$	هزینه انتقال هر واحد محصول y از منطقه g به gg
۶	ci_y	هزینه واردات هر واحد محصول y به محدوده مطالعاتی
۷	ie_y	درآمد هر واحد محصول y برای صادرات به خارج از محدوده مطالعاتی
۸	l_g	کل زمین موجود در منطقه g برای کشت محصولات زراعی
۹	i_g	درصدی از زمین که تنها در فصل زمستان کشت می‌شود
۱۰	a_g^{tk}	میزان نیاز خالص آبیاری محصول k در منطقه g و در ماه t
۱۱	$iw31_g^t$	کل آب قابل استحصال از چاه‌های دارای پروانه برداشت در منطقه g و در ماه t
۱۲	$iw32_g^t$	کل آب قابل استحصال از چاه‌های فاقد پروانه برداشت در منطقه g و در ماه t
۱۳	iri_g^t	کل آب در دسترس از منابع سطحی شامل چشمه، قنات، انواع سد و بندهای خاکی در منطقه g و در ماه t
۱۴	$iw4_g^t$	کل آب برداشت‌شده از چاه‌های فاقد پروانه شناسایی‌نشده و یا اضافه برداشت از سایر چاه‌ها در منطقه g و در ماه t
۱۵	$watb_g^t$	آب استفاده‌شده برای آبیاری باغ در منطقه g و در ماه t
۱۶	$wats_g^t$	آب استفاده‌شده برای آبیاری سایر محصولات زراعی در منطقه g و در ماه t
۱۷	kw_g^t	ضریب کم‌آبیاری محصولات کشت پاییزه در منطقه g و در ماه t
۱۸	ks_g^t	ضریب کم آبیاری محصولات کشت بهاره در منطقه g و در ماه t
۱۹	$def0_g$	کسری مخزن در حالت تعادل فعلی در منطقه g
۲۰	$ext0_g$	خالص برداشت از آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌های کشاورزی در وضعیت فعلی در منطقه g
۲۱	rtr_g	راندمان انتقال و توزیع آب آبیاری در منطقه g
۲۲	rf_g	راندمان مصرف آب آبیاری در زراعت در روش آبیاری کرتی در منطقه g
۲۳	rnf_g	راندمان مصرف آب آبیاری در زراعت در روش آبیاری نوین در منطقه g
۲۴	$k3_g$	ضریب نفوذ آب به مخازن زیرزمینی در مرحله انتقال و توزیع آب در منطقه g
۲۵	$k4_g$	ضریب نفوذ آب به مخازن زیرزمینی در مرحله مصرف آب در منطقه g

ردیف	نام پارامتر	توضیحات
۲۶	xof_g	سطح زیر کشت سایر محصولات زراعی به روش آبیاری کرتی در منطقه g
۲۷	$xonf_g$	سطح زیر کشت سایر محصولات زراعی به روش آبیاری بارانی در منطقه g
۲۸	xbf_g	سطح زیر کشت سایر محصولات باغی به روش آبیاری کرتی در منطقه g
۲۹	$xbnf_g$	سطح زیر کشت سایر محصولات باغی به روش آبیاری بارانی در منطقه g
۳۰	$pool0_g$	حجم مخازن ذخیره آب در وضعیت فعلی در منطقه g
۳۱	b_g^k	عملکرد در هکتار محصول k در منطقه g
۳۲	b_g^y	کل نیاز مصرفی به محصول y در منطقه g
۳۳	$tydry_g^y$	کل تولید محصول y به روش دیم‌کاری در منطقه g
۳۴	$bland_g^k$	میزان فعلی سطح زیر کشت کشاورزان محصول k در منطقه g
۳۵	bf_g	سطح آیش در منطقه g
۳۶	d_r	ضریب افزایش قیمت انرژی به r برابر قیمت فعلی
۳۷	lab_g^k	میزان اشتغال مستقیم هر هکتار محصول k در منطقه g
۳۸	$addnf_g$	توان تغیر سطح زیر کشت محصولات زراعی از روش آبیاری کرتی به روش آبیاری نوین در منطقه g
۳۹	$addbnf_g$	توان تغیر سطح زیر کشت محصولات باغی از روش آبیاری کرتی به روش آبیاری نوین در منطقه g
۴۰	costpol	هزینه سالانه احداث استخر با حجم ۴۰۰ مترمکعب
۴۱	$b1_g^{eyp}$	عملکرد در هکتار محصول y در سامانه‌های نوین آبیاری با ضریب e در منطقه g
۴۲	b_g^f	راندمان مصرف آب آبیاری در سامانه‌های نوین آبیاری با ضریب f در منطقه g
۴۳	b_g^h	راندمان انتقال و توزیع آب آبیاری با ضریب h در منطقه g
۴۴	$totalblandp_g$	کل سطح زیر کشت آبیاری نوین در منطقه g در وضعیت فعلی
۴۵	*ca*	ظرفیت استخر ذخیره آب
۴۶	*pow*	میزان مصرف انرژی پمپ برقی چاه برای هر متر مکعب آب
۴۷	*pownf*	میزان مصرف انرژی پمپ برقی سامانه‌های نوین برای هر متر مکعب آب
۴۸	*powpool*	میزان مصرف انرژی پمپ برقی استخر ذخیره برای هر متر مکعب آب
۴۹	*n*	حداکثر ضریب صورت کسر نسبت سطح زیر کشت محصولات پاییزه به بهاره
۵۰	*n2*	حداقل ضریب صورت کسر نسبت سطح زیر کشت محصولات پاییزه به بهاره

مأخذ: یافته‌های پژوهش

برای رعایت اختصار، به معدودی از روابط اشاره می‌شود.

رابطه (۳) بیانگر تابع سود است که به شرط رعایت معادلات مدل حداکثر می‌شود.

$$\text{Max: } \pi=\sum_{g}\sum_{k}(PX_g^k\, YX_g^k)-\sum_{g}\sum_{k}(CX_g^k\, X_g^k)-\sum_{g}(PW_g\, Totalpowerg_g) \qquad (۳)$$

روابط (۴) تا (۷) نشان‌دهندهٔ میزان مصرف انرژی (کیلووات در هکتار) در محصولات پاییزه و بهاره با روش‌های آبیاری سنتی و نوین است.

$$powwf_g^{wf}=\sum_{t}(kw_g^t\, a_g^{twf})/(pow\, rtr_g\, rf_g\, wellcoeff_g^t) \qquad \forall g, w \qquad (۴)$$

$$powsf_g^{sf}=\sum_{t}(ks_g^t\, a_g^{tsf})/(pow\, rtr_g\, rf_g\, wellcoeff_g^t) \qquad \forall g, s \qquad (۵)$$

(۶)

$$powwnf_g^{wp}=\sum_{t}(kw_g^t\, a_g^{twp})/(pow\, rtr_g\, rf_g\, wellcoeff_g^t)+\sum_{t}(kw_g^t\, a_g^{twp})/(powf\ \ rtr_g\, rnf_g) \quad \forall g, wp$$

(۷)

$$powsnf_g^{sp}=\sum_{t}(ks_g^t\, a_g^{tsp})/(pow\, rtr_g\, rf_g\, wellcoeff_g^t)+\sum_{t}(ks_g^t\, a_g^{tsp})/(pownf\ \ rtr_g\, rnf_g) \qquad \forall g, sp$$

رابطه (۸) میزان مصرف انرژی آب پمپاژشده از استخر را نشان می‌دهد.

$$powerpool_g=powpool\sum_t wpool_g^t \qquad \forall g \qquad (۸)$$

رابطه (۹) بیانگر میزان کل انرژی مصرف‌شده در هر کدام از شهرستان‌های مورد مطالعه است.

(۹)

$$Totalpowerg_g=\sum_{wf}powwf_g^{wf}X_g^{wf}+\sum_{sf}powsf_g^{sf}X_g^{sf}+\sum_{wp}powwnf_g^{wp}X_g^{wp}+\sum_{sp}powsnf_g^{sp}X_g^{sp}+powerpool_g \quad \forall g$$

رابطه (۱۰) مقدار آب مورد نیاز سر مزرعه در ماه‌های مختلف در شهرستان‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

$$ra_g\, needwater_g^t=\sum_w kw_g^t a_g^{tw} X_g^w+\sum_s ks_g^t a_g^{ts} X_g^s+\sum_{wp} kw_g^t a_g^{tw} X_g^{wp}+\sum_{sp} ks_g^t a_g^{ts} X_g^{sp}+wats_g^t+watb_g^t \quad \forall g,t \qquad (۱۰)$$

کل آب استخراج‌شده از چاه‌های کشاورزی مجاز و غیرمجاز پس از کسر آب تأمین‌شده از سایر منابع مانند رودخانه، چشمه و قنوات در رابطه (۱۱) و محدودیت آب در دسترس در رابطه (۱۲) بیان شده که در آن، امکان انتقال آب به دوره بعدی از طریق ذخیره‌سازی فراهم شده است.

$$w5_g = tw31_g + tw32_g + tw4_g \qquad \forall g \qquad (11)$$

$$needwater_g^t + wpool_g^t - wpool_g^{t-1} \leq tw_g^t \, rtr_g \qquad \forall g,\ t \qquad (12)$$

میزان نفوذ آب به منابع آب زیرزمینی در مرحله انتقال از رابطه (۱۳) و در مرحله مصرف از رابطه (۱۴) و میزان کسری مخزن پس از اجرای سناریوها از رابطه (۱۵) برآورد شده است.

$$d1_g = k3_g \, w5_g \left(1 - rtr_g\right) \qquad \forall g \qquad (13)$$

$$d2_g = k4_g \, w5_g \, rtr_g \left(1 - ra_g\right) \qquad \forall g \qquad (14)$$

$$def_g = def0_g + \left(\left(w5_g - d1_g - d2_g\right) - ext0_g\right) \qquad \forall g \qquad (15)$$

رابطه (۱۶) میزان برداشت محصول به‌تفکیک نوع آبیاری، و نوع محصول و منطقه برداشت و رابطه (۱۷)میزان برداشت محصول به‌تفکیک نوع سامانهٔ آبیاری محصول و منطقه برداشت را نشان می‌دهد.

$$yx_g^h = b_g^h X_g^h \qquad \forall g,\ k \qquad (16)$$

$$yyx_g^y = b_g^y X_g^y + b_g^{yp} X_g^{yp} \qquad \forall\ g,y,yp \qquad (17)$$

رابطه (۱۸) نشان‌دهندهٔ تعادل بین تولید، مصرف و واردات و صادرات بین‌ناحیه‌ای و بیرون از ناحیه را نشان می‌دهد.

$$yyx_g^y - tn_g^y + im_g^y + imf_g^y - ex_g^y - exf_g^y = 0 \qquad \forall\ g,y \qquad (18)$$

در ادامه، سناریوهای مورد بررسی معرفی می‌شود.

کاهش برداشت از منابع آبی

این سناریو در قالب پنج زیرسناریو مطرح می‌شود، که عبارت‌اند از: ۱- بستن چاه‌های غیرمجاز، ۲- کاهش دبی چاه‌های مجاز به اندازه ایجاد موازنه در دشت، ۳- کاهش دبی چاه‌های مجاز و غیرمجاز به یک اندازه تا ایجاد موازنه در دشت، ۴- کاهش دبی چاه‌های غیرمجاز به اندازه دو برابر چاه‌های مجاز تا ایجاد موازنه در دشت، و ۵- بستن چاه‌های غیرمجاز و کاهش دبی چاه‌های مجاز به اندازه ایجاد موازنه در دشت.

افزایش راندمان آبیاری

راندمان در سامانه‌های آبیاری شامل راندمان انتقال، توزیع و کاربرد است. نسبت آب ابتدای کانال‌های توزیع در سر مزرعه به آب استخراج‌شده از منبع آبی نظیر چاه «راندمان انتقال»، نسبت آب واردشده به کرت‌ها و مزارع به آب ابتدای کانال‌های توزیع «راندمان توزیع» و نسبت نیاز آبی گیاه به آب واردشده به مزرعه «راندمان کاربرد» و نیز حاصل‌ضرب آنها «راندمان کل» نامیده می‌شود. راندمان کاربرد به نوع سامانهٔ آبیاری و مدیریت به‌کارگیری ابزار بستگی دارد. بنابراین، افزایش راندمان آبیاری می‌تواند از طریق سرمایه‌گذاری در کانال‌های انتقال و توزیع و همچنین، سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری در سر مزرعه برای افزایش راندمان مصرف صورت گیرد. راندمان مصرف در سامانه‌های نوین آبیاری، با توجه به نوع آنها و نوع مدیریتی که اعمال می‌شود، به‌طور متوسط، تا ۸۵ درصد قابلیت افزایش دارد (Abbasi et al., 2015). بنابراین، در اینجا، سه زیرسناریو بررسی خواهد شد، که عبارت‌اند از: ۱- افزایش راندمان انتقال آب آبیاری از طریق سرمایه‌گذاری در تأسیسات انتقال آب و افزایش راندمان مصرف از طریق بهبود مدیریت در بهره‌برداری از سامانه‌های نوین موجود بدون افزایش سطح زیر کشت، ۲- اجرای زیرسناریوی اول به‌همراه تجهیز مزارع سنتی به سامانه‌های نوین آبیاری بدون محدودیت در کل سطح زیر کشت، و ۳- اجرای زیرسناریوی اول و جایگزینی سامانهٔ آبیاری نوین به‌جای روش سنتی تا حد توان منطقه (عدم افزایش کل سطح زیر کشت). از آنجا

که سامانه‌های نوین آبیاری می‌تواند با افزایش عملکرد همراه باشد، هر کدام از این زیرسناریوها در ترکیب با افزایش عملکرد در هکتار، در مجموع، در قالب ۲۴ زیرسناریوی دیگر بررسی شده و ویژگی‌های زیرسناریوها در جدول ۳ آمده است.

دامنه افزایش عملکرد در سامانه‌های نوین آبیاری بین ده تا چهل درصد بوده که در محصولات مختلف، متفاوت گزارش شده است (Abbasi et al., 2015). در مطالعهٔ حاضر، افزایش عملکرد در زمین‌های مجهز به سامانه‌های نوین آبیاری به‌طور متوسط بیست درصد در نظر گرفته شده و حساسیت مدل به این متغیر بین ده تا چهل درصد افزایش عملکرد ارزیابی شده است.

جدول (۳) مشخصات زیر سناریوهای افزایش راندمان آبیاری

شهرستان	افزایش راندمان انتقال و توزیع (درصد)		افزایش راندمان مصرف (درصد)			افزایش ضریب عملکرد				سطح زیر کشت سامانه‌های نوین آبیاری (هکتار)		توان افزایش	طول لوله انتقال (کیلومتر)
	مقدار فعلی (H0)	مقدار سناریو (H1)	مقدار فعلی (F0)	مقدار سناریو (F1)	مقدار سناریو (F2)	مقدار فعلی (E0)	مقدار سناریو (E1)	مقدار سناریو (E2)	مقدار سناریو (E3)	زراعی	باغی		
تربت جام	۰/۷۳	۰/۹۵	۰/۶۶۶	۰/۷۵	۰/۸۵	۱/۲	۱/۱	۱/۳	۱/۴	۸۳۳۷	۲۲۷۷		۳۰۵۷
تربت حیدریه	۰/۷۸	۰/۹۵	۰/۶۶۶	۰/۷۵	۰/۸۵	۱/۲	۱/۱	۱/۳	۱/۴	۵۴۶۰	۲۶۶۴		۲۳۷۱
سبزوار	۰/۵۵	۰/۹۵	۰/۶۶۶	۰/۷۵	۰/۸۵	۱/۲	۱/۱	۱/۳	۱/۴	۱۳۳۳۲	۲۰۱۰		۳۶۵
مشهد	۰/۶۸	۰/۹۵	۰/۶۶۶	۰/۷۵	۰/۸۵	۱/۲	۱/۱	۱/۳	۱/۴	۱۳۴۶۸	۲۰۷۱		۹۳۹
نیشابور	۰/۷۱	۰/۹۵	۰/۶۶۶	۰/۷۵	۰/۸۵	۱/۲	۱/۱	۱/۳	۱/۴	۲۱۸۰۲	۶۴۲		۵۸۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش؛ عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2015)

نتایج و بحث

وضعیت منابع آبی مناطق مورد مطالعه در جدول ۴ آمده است. راندمان انتقال و توزیع فعلی بر اساس نوع و طول کانال‌های انتقال آب و دبی ورودی برای **۳۱۳۶** حلقه چاه برآورد شده است (Zare et al., 2017).

جدول ۴- وضعیت منابع آبی و سامانه‌های آبیاری در مناطق مورد مطالعه

شهرستان	تعداد مشاهدات (حلقه چاه مجاز)	دبی (لیتر بر ثانیه)	نحوه و فاصله انتقال آب به مزرعه(کیلومتر)			سهم منابع به غیر از آب چاه از کل آب مصرفی کشاورزی (درصد)	راندمان انتقال و توزیع (درصد)		میزان برداشت آب از منابع زیرزمینی برای کشاورزی (هزارمتر مکعب)	میزان کسری مخازن آب زیرزمینی ناشی از چاه‌های کشاورزی (هزارمتر مکعب)
			کانال خاکی	لوله	جوی سیمانی		میانگین	انحراف معیار		
سبزوار	۷۲۸۰	۱۲۲۲۵	۳۰۵۷	۳۴۹	۲۰۹	۲۱	۵۷	۱۰	۲۴۹۶۵۷	۴۱۳۴۷
نیشابور	۱۱۱۵	۲۴۱۷۴	۲۳۷۱	۴۴۶	۳۲۷	۲۰	۷۱	۱۷	۵۱۷۱۱۳	۱۰۷۸۵۲
مشهد	۳۴۲	۷۱۱۰	۳۶۵	۶۷	۱۰۶	۷	۶۹	۵	۱۴۸۹۹۳	۶۳۰۵۷
تربت جام	۶۱۴	۱۷۳۹۶	۹۳۹	۱۱۰۶	۳۱۶	۸	۷۳	۹	۳۷۲۴۷۸	۱۱۹۷۷۱
تربت حیدریه	۴۰۸	۱۱۱۶۲	۵۸۲	۷۰۰	۴۳	۱۶	۷۸	۱۶	۲۳۵۷۲۷	۵۵۶۲۴

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، با افزایش طول کانال‌های خاکی، راندمان انتقال و توزیع کمتر می‌شود؛ اما بالا بودن دبی چاه‌ها باعث افزایش سرعت انتقال و کاهش تلفات آب شده و در نتیجه، راندمان انتقال و توزیع بیشتر شده است. بنابراین، افزایش راندمان انتقال و توزیع در مناطقی که دبی منابع آب کمتر است، تأثیر بیشتری بر افزایش راندمان انتقال و توزیع دارد.

جدول ۵ سطح زیر کشت محصولات زراعی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در مطالعهٔ حاضر، میزان سطح زیر کشت محصولات زراعی به روش آبیاری تحت فشار متناسب با سطح زیر کشت هر محصول برآورد شده است.

جدول ۵- سطح زیر کشت محصولات مورد مطالعه در سال ۱۳۹۲

شهرستان	روش آبیاری	گندم	جو	پنبه	سیب‌زمینی	پیاز	گوجه‌فرنگی	چغندر قند	ذرت دانه ای	هندوانه	خربزه	یونجه
تربت جام	کرتی	۱۷۲۷۱	۵۶۰۳	۴۳۱	۲۲۴	۳۸	۱۱۹۱	۹۹۹	۸۴۷	۱۰۴۵	۱۱۸۱۵	۹۹۰
	نوین	۶۳۷۹	۲۰۷۰	۱۵۹	۸۳	۱۴	۴۴۰	۳۶۹	۳۱۳	۳۸۶	۴۳۶۴	۳۶۶
تربت حیدریه	کرتی	۶۷۳۲	۳۸۹۸	۴۰۲	۱۰۸۴	۲۹	۴۴	۱۵۳۹	۸۲	۱۳۳	۱۸۰	۲۴۵۳
	نوین	۴۴۹۴	۲۶۰۲	۲۶۸	۷۲۴	۲۰	۳۰	۱۰۲۷	۵۵	۸۹	۱۲۰	۱۶۳۸
سبزوار	کرتی	۹۳۴۶	۶۲۷۰	۴۸۲۵	۰	۰	۹۲	۲۳۴	۴۳	۱۰۰۴	۳۱۰	۵۲۸
	نوین	۹۹۴	۶۶۷	۵۱۳	۰	۰	۱۰	۲۵	۵	۱۰۷	۳۳	۵۶
مشهد	کرتی	۱۱۱۳۶	۱۰۰۳۱	۰	۹۹	۸۳۶	۳۱۱۵	۶۴۳	۱۱۱۶	۴۶	۲۳۸۷	۳۰۶۳
	نوین	۲۲۱۶	۱۹۹۶	۰	۲۰	۱۶۶	۶۲۰	۱۲۸	۲۲۲	۹	۴۷۵	۶۱۰
نیشابور	کرتی	۱۳۰۲۲	۱۲۵۳۴	۴۲۱۸	۳۸۶	۲۰	۱۲۶۵	۷۴۵	۱۵۰۸	۱۴۷	۲۲۶	۴۱۷۴
	نوین	۲۵۳۰	۲۴۳۶	۸۲۰	۷۵	۴	۲۴۶	۱۴۵	۲۹۳	۲۸	۴۴	۸۱۱

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج تأثیر سیاست کاهش برداشت آب از چاه‌های کشاورزی

نتایج بررسی اثر اجرای سیاست بستن چاه‌های غیرمجاز (زیرسناریوی یک) بر کسری مخزن، برداشت آب و مصرف انرژی در جدول ۶ آمده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، با اجرای این سیاست، افزون بر صفر شدن کسری مخزن در شهرستان مشهد، تراز برداشت نیز مثبت می‌شود. حداقل تأثیر در شهرستان تربت جام با نُه درصد است. با توجه به مثبت شدن تراز برداشت در مشهد، در مجموع، اجرای این سیاست در پنج شهرستان ۴۶ درصد از کسری مخازن این مناطق می‌کاهد؛ همچنین، در کاهش برداشت از چاه‌های مجاز مؤثر است و در مجموع پنج شهرستان مورد مطالعه (پنج ردیف آخر جدول ۶)، پنج درصد کاهش داشته و مصرف انرژی را ده درصد کاهش داده است.

شرط اجرای سایر زیرسناریوها (زیرسناریوهای دو تا پنج) ایجاد موازنه در دشت است؛ از این‌رو، در همهٔ آنها، کسری مخزن صفر می‌شود. در مجموع پنج شهرستان مورد مطالعه،

زیرسناریوهای دوم تا پنجم بین ۲۳ تا ۲۵ درصد از مصرف انرژی را کاهش می‌دهند. اجرای سناریوی سوم، اگرچه در هر شهرستان به‌طور مساوی از برداشت چاه‌های مجاز و غیرمجاز کم می‌کند (سهم مساوی)، اما درصد آن بین شهرستان‌ها متفاوت است، زیرا میزان کسری مخزن نیز در این شهرستان‌ها با هم متفاوت است. شهرستان تربت جام با ۴۷ درصد کاهش برداشت بیشترین سهم را دارد که اجرای آن با چالش اساسی روبه‌روست، زیرا کشاورزان باید از درصد قابل توجهی از درآمد خود صرف‌نظر کنند. بعد از تربت جام، تربت حیدریه، سبزوار و نیشابور با ۳۳، ۲۸ و ۲۸ درصد قرار دارند. کمترین کاهش برداشت متعلق به مشهد با شانزده درصد است.

جدول ۶- تأثیر سناریوهای برداشت آب از چاه بر کسری مخزن و مصرف انرژی

(میلیون متر مکعب- مگاوات)

شهرستان	سناریو	برداشت از چاه‌های مجاز		برداشت از چاه‌های غیرمجاز		برداشت آب از کل چاه‌ها		کسری مخزن		انرژی	
		مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد
تربت جام	۱	۰	۰	-۱۴	-۱۰۰	-۱۴	-۳	-۱۱	-۹	-۱۰	-۲
	۲	-۱۵۹	-۴۹	۰	۰	-۱۵۹	-۳۲	-۱۲۰	-۱۰۰	-۱۴۰	-۳۳
	۳	-۱۵۳	-۴۷	-۷	-۴۷	-۱۵۹	-۳۲	-۱۲۰	-۱۰۰	-۱۳۸	-۳۲
	۴	-۱۴۶	-۴۵	-۱۳	-۹۱	-۱۵۹	-۳۲	-۱۲۰	-۱۰۰	-۱۳۸	-۳۲
	۵	-۱۴۵	-۴۵	-۱۴	-۱۰۰	-۱۵۹	-۳۲	-۱۲۰	-۱۰۰	-۱۳۸	-۳۲
تربت حیدریه	۱	۱	۱	-۱۸	-۱۰۰	-۱۶	-۵	-۱۱	-۲۱	-۱۵	-۶
	۲	-۸۰	-۳۶	۰	۰	-۸۰	-۲۳	-۵۵	-۱۰۰	-۵۳	-۲۲
	۳	-۷۳	-۳۳	-۶	-۳۳	-۷۹	-۲۳	-۵۵	-۱۰۰	-۶۱	-۲۵
	۴	-۶۸	-۳۱	-۱۱	-۶۱	-۷۹	-۲۳	-۵۵	-۱۰۰	-۶۱	-۲۵
	۵	-۶۱	-۲۸	-۱۸	-۱۰۰	-۷۹	-۲۳	-۵۵	-۱۰۰	-۶۱	-۲۵
سبزوار	۱	۶	۲	-۲۵	-۱۰۰	-۱۹	-۴	-۱۰	-۲۵	-۱۶	-۵
	۲	-۷۷	-۳۰	۰	۰	-۷۷	-۱۶	-۴۱	-۱۰۰	-۶۰	-۲۰
	۳	-۷۰	-۲۸	-۷	-۲۸	-۷۷	-۱۷	-۴۱	-۱۰۰	-۵۹	-۱۹
	۴	-۶۴	-۲۵	-۱۳	-۵۱	-۷۷	-۱۷	-۴۱	-۱۰۰	-۵۹	-۱۹
	۵	-۵۲	-۲۰	-۲۵	-۱۰۰	-۷۷	-۱۶	-۴۱	-۱۰۰	-۵۶	-۱۹
مشهد	۱	۴۷	۱۳	-۱۳۴	-۱۰۰	-۸۷	-۱۴	-۶۸	-۱۰۸	-۶۰	-۱۶
	۲	-۸۰	-۲۲	۰	۰	-۸۰	-۱۳	-۶۳	-۱۰۰	-۷۵	-۱۹
	۳	-۵۹	-۱۶	-۲۲	-۱۶	-۸۱	-۱۳	-۶۳	-۱۰۰	-۶۳	-۱۶
	۴	-۴۶	-۱۳	-۳۴	-۲۵	-۸۱	-۱۳	-۶۳	-۱۰۰	-۶۳	-۱۶
	۵	۵۴	۱۵	-۱۳۴	-۱۰۰	-۸۱	-۱۳	-۶۳	-۱۰۰	-۶۳	-۱۶
نیشابور	۱	۲۰	۵	-۱۲۴	-۱۰۰	-۱۰۴	-۱۵	-۷۷	-۷۳	-۸۵	-۱۹
	۲	-۱۴۲	-۳۶	-۳	-۲	-۱۴۴	-۲۰	-۱۰۶	-۱۰۰	-۱۲۰	-۲۷
	۳	-۱۱۰	-۲۸	-۳۵	-۲۸	-۱۴۵	-۲۱	-۱۰۶	-۱۰۰	-۱۱۲	-۲۵
	۴	-۸۹	-۲۳	-۵۶	-۴۵	-۱۴۵	-۲۱	-۱۰۶	-۱۰۰	-۱۱۲	-۲۵
	۵	-۲۱	-۵	-۱۲۴	-۱۰۰	-۱۴۵	-۲۱	-۱۰۶	-۱۰۰	-۹۹	-۲۲
کل	۱	۷۴	۵	-۳۱۵	-۱۰۰	-۲۴۱	-۹	-۱۷۸	-۴۶	-۱۸۷	-۱۰
	۲	-۵۳۷	-۳۵	-۳	-۱	-۵۴۰	-۲۰	-۳۸۵	-۱۰۰	-۴۴۸	-۲۵
	۳	-۴۶۵	-۳۰	-۷۶	-۲۴	-۵۴۱	-۲۰	-۳۸۵	-۱۰۰	-۴۳۲	-۲۴
	۴	-۴۱۴	-۲۷	-۱۲۷	-۴۰	-۵۴۱	-۲۰	-۳۸۵	-۱۰۰	-۴۳۲	-۲۴
	۵	-۲۲۵	-۱۵	-۳۱۵	-۱۰۰	-۵۴۱	-۲۰	-۳۸۵	-۱۰۰	-۴۱۶	-۲۳

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همان‌گونه که گفته شد، در وضعیت تعادل مدل، علاوه بر سهمیه برداشت از چاه‌های مجاز و مقادیر برآوردی از چاه‌های غیرمجاز، برداشت‌های دیگری نیز صورت می‌گیرد که با عنوان برداشت مازاد و یا برداشت از چاه‌های غیرمجاز شناسایی‌نشده برآورد شده است. با

احتساب این مقادیر، اجرای سناریوهای دو تا پنج بین حداقل سیزده درصد در مشهد و حداکثر ۳۲ درصد در تربت جام و به‌طور متوسط، بیست درصد، از برداشت کل چاه‌های شهرستان‌های مورد مطالعه خواهد کاست.

با کاهش برداشت آب از چاه، صرف‌نظر از اختلافاتی که بین سناریوها از نظر الگوی کشت وجود دارد، سطح زیر کشت محصولات بین ۹ تا ۲۱ درصد کاهش یافت که نتایج آن در جدول ۷ آمده است. به‌طور کلی، در بین محصولات زمستانه به روش کرتی، سطح زیر کشت جو، به‌دلیل مصرف آب کمتر و اختلاف ناچیز در هزینه و درآمد، کمتر کاهش می‌یابد. در بین محصولات شتوی، گندم بیشترین کاهش را نشان می‌دهد. در بین محصولات صیفی نیز چغندر قند، ذرت و یونجه کاهش بیشتری دارند؛ البته، در سامانهٔ نوین آبیاری، علاوه بر محصولات یادشده، جو و پنبه نیز کاهش بیشتری دارند. در هر دو روش آبیاری، کاهش سطح زیر کشت سیب‌زمینی، خربزه، هندوانه، پیاز و گوجه‌فرنگی کمتر است.

جدول ۷- تأثیر اجرای زیرسناریوهای کاهش برداشت آب از چاه بر سطح زیر کشت در کل شهرستان‌های مورد مطالعه (هکتار)

زیرسناریو	سطح تابستانه		سطح زمستانه		سطح کرتی		سطح تحت فشار		کل سطح	
	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد
۱	-۶۷۸۰	-۱۰	-۱۰۰۱۶	-۸	-۸۱۸۳	-۵	-۸۶۱۳	-۲۱	-۱۶۷۹۶	-۹
۲	-۸۵۸۸	-۱۲	-۳۲۵۰۲	-۲۷	-۱۸۰۸۴	-۱۲	-۲۳۰۰۶	-۵۵	-۴۱۰۹۰	-۲۱
۳	-۷۴۳۶	-۱۱	-۳۳۲۰۸	-۲۷	-۲۱۸۷۳	-۱۵	-۱۸۷۷۲	-۴۵	-۴۰۶۴۵	-۲۱
۴	-۷۴۳۶	-۱۱	-۳۳۲۰۸	-۲۷	-۲۱۸۷۳	-۱۵	-۱۸۷۷۲	-۴۵	-۴۰۶۴۵	-۲۱
۵	-۱۳۱۲۹	-۱۹	-۲۰۴۴۸	-۱۷	-۱۵۷۹۵	-۱۱	-۱۷۷۸۳	-۴۳	-۳۳۵۷۷	-۱۷

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همان‌گونه که انتظار می‌رفت، کاهش سطح زیر کشت منجر به کاهش تولید و افزایش واردات شد. گندم (تا چهل درصد)، یونجه (تا ۵۲ درصد)، چغندرقند (تا پنجاه درصد) و ذرت (تا ۲۷ درصد) بیشترین میزان کاهش تولید را داشتند؛ اما درصد واردات جو در چهار سناریوی

اول بیش از گندم افزایش یافت، زیرا تولید اولیه این محصول نسبت به سایر محصولات کمتر بود و با کاهش تولید، نیاز به واردات آن افزایش بیشتری داشت. صادرات خربزه و پنبه که به خارج از مرزهای استان صادر می‌شدند (واردات خالص منفی)، کاهش یافت. افزایش واردات ذرت، چغندرقند و یونجه نیز مشهود است. در ارتباط با گوجه‌فرنگی، چون میزان خالص واردات در حالت پایه کم بود (۲۸۱۲ تن)، اگرچه کاهش تولید زیاد نبود، اما درصد واردات آن بسیار زیاد دیده می‌شود (جدول ۸).

جدول ۸- تأثیر اجرای زیرسناریوهای کاهش برداشت آب از چاه بر درصد تولید و خالص واردات (درصد)

معیار	سناریو	گندم	جو	پنبه	سیب‌زمینی	پیاز	گوجه‌فرنگی	چغندر	ذرت	هندوانه	خربزه	یونجه
تولید	۱	-۷	-۱۱	-۹	-۳	-۱	-۱۳	-۶	-۱۱	۰	۰	-۳۰
	۲	-۳۷	-۱۵	-۷	-۳	۰	-۱	-۵۰	-۱۸	-۱۹	-۲	-۲۱
	۳	-۴۰	-۹	-۹	۰	-۲	-۱	-۲۶	-۲۷	-۴	-۲	-۲۲
	۴	-۴۰	-۹	-۹	۰	-۲	-۱	-۲۶	-۲۷	-۴	-۲	-۲۲
	۵	-۲۸	-۲	-۹	۰	۰	-۱۱	-۴۰	-۲۷	-۴	-۲	-۵۲
خالص واردات	۱	۲	۲۰	-۱۹	۱	۱	۱۳۲۶	۲	۱۲	۰	۰	۱۶
	۲	۱۲	۲۵	-۱۵	۱	۰	۵۵	۱۹	۲۰	۱۰	-۳	۱۲
	۳	۱۳	۱۵	-۲۰	۰	۱	۵۵	۱۰	۲۹	۲	-۲	۱۲
	۴	۱۳	۱۵	-۲۰	۰	۱	۵۵	۱۰	۲۹	۲	-۲	۱۲
	۵	۹	۴	-۲۰	۰	۰	۱۱۱۴	۱۵	۲۹	۲	-۲	۲۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش

از آنجا که اثرات اجرای سناریوها بر سطح زیر کشت، تولید و واردات هر کدام از محصولات متفاوت بود، لازم است برآیند آنها بر درآمد و هزینه‌های اجتماعی هر متر مکعب آب صرفه‌جویی‌شده بررسی شود. تأثیر کاهش برداشت آب از چاه‌های کشاورزی بر درآمد کشاورزان و منافع اجتماعی آن در جدول ۹ آمده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، اجرای این سیاست باعث کاهش درآمد کشاورزان، افزایش هزینه واردات و افزایش هزینه حمل‌ونقل می‌شود. درآمد کشاورزان بین ۸ تا ۱۴/۷ درصد کاهش و هزینه‌های واردات بین شش تا دوازده درصد افزایش می‌یابد. همچنین، هزینه‌های حمل‌ونقل نیز بین ۹ تا ۱۵/۹ درصد افزایش می‌یابد. برآیند این هزینه‌ها (کاهش درآمد، افزایش هزینه حمل‌ونقل و افزایش خالص واردات)، هزینه اجرای این سیاست را برای هر متر مکعب صرفه‌جویی (کاهش کسری مخزن) بین ۴۵۴۰ تا ۶۳۶۰ ریال رقم خواهد زد که تقریباً دو برابر ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب مصرفی در بخش کشاورزی مناطق مورد مطالعه قبل از اجرای این سیاست است (ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب در بخش کشاورزی شهرستان‌های سبزوار، نیشابور، مشهد، تربت جام و تربت حیدریه، به‌ترتیب، ۱۲۱۰، ۱۹۰۰، ۳۳۱۰، ۳۱۴۰ و ۴۱۵۰ ریال محاسبه شد). البته هزینهٔ ناشی از کاهش درآمد کشاورزان تقریباً بین یک‌پنجم تا یک‌سوم این مقدار است.

جدول ۹- تأثیر کاهش دبی چاه‌های کشاورزی بر هزینه‌های اجتماعی

معیار	سناریو	تغییر تابع هدف (۱۰ میلیون ریال)	هزینه واردات (۱۰ میلیون ریال)	هزینه حمل و نقل (۱۰ میلیون ریال)	هزینه اجتماعی (۱۰ میلیون ریال)	هزینه واردات (۱۰ ریال) هزینه اجتماعی هر مترمکعب آب (۱۰ ریال)	هزینه هر مترمکعب آب بدون هزینه (ریال)	هزینه کشاورزان برای هر مترمکعب آب (۱۰ ریال)
	۱	-۳۰۴۱۸	۸۳۳۴۲	-۸۵۲	۱۱۲۹۰۹	۶۳۶	۱۶۷	۱۷۱
	۲	-۴۳۶۷۷	۱۴۵۶۱۳	-۱۱۴۹	۱۹۱۲۲۲	۴۹۶	۱۱۸	۱۲۱
مقدار	۳	-۴۵۱۴۰	۱۳۰۳۸۲	-۶۹۶	۱۷۴۸۲۷	۴۵۴	۱۱۵	۱۱۷
	۴	-۴۵۱۴۰	۱۲۹۷۲۱	۳۶۱۴۶	۲۱۱۰۰۸	۵۴۸	۲۱۱	۱۱۷
	۵	-۵۵۹۲۹	۱۴۷۴۷۰	۳۶۲۳۲	۲۳۹۶۳۱	۶۲۲	۲۳۹	۱۴۵
	۱	-۸/۰	۹/۰	-۱۲/۸	۲۰	-	-	-
	۲	-۱۱/۶	۱۵/۷	-۱۷/۲	۳۴	-	-	-
درصد	۳	-۱۱/۹	۱۴/۰	-۱۰/۴	۳۲	-	-	-
	۴	-۱۱/۹	۱۴/۰	۵۴۱/۴	۳۸	-	-	-
	۵	-۱۴/۷	۱۵/۹	۵۴۲/۷	۴۳	-	-	-

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج سیاست افزایش راندمان آبیاری

تأثیر این سیاست در شرایط عدم تغییر سطح زیر کشت و تنها در شرایط افزایش سرمایه‌گذاری در تأسیسات انتقال و توزیع (افزایش راندمان انتقال و توزیع) و همچنین، بهبود مدیریت در تأسیسات فعلی سامانه‌های نوین آبیاری در جدول ۱۰ نشان داده شده است (زیرسناریوی اول). همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، با افزایش راندمان انتقال، در مجموع، ۸۳ درصد از کسری مخزن جبران می‌شود. با افزایش راندمان مصرف به ۸۵ درصد (ردیف ۵)، ۲۷ درصد کاهش کسری مخزن اتفاق می‌افتد، که دلیل آن پایین بودن راندمان انتقال و توزیع تا حدود سی درصد بوده و بیشترین تلفات آب در این مرحله است. در اینجا، درصد جبران کسری مخزن شهرستان‌های سبزوار و مشهد که راندمان انتقال کمتری دارند، بیش از سایر شهرستان‌هاست. از آنجا که افزایش عملکرد در هکتار به‌طور مساوی بر محصولات مورد مطالعه مؤثر است (E2 و E3)، این افزایش تنها بر ارزش اقتصادی این سیاست تأثیرگذار است.

جدول ۱۰- تأثیر اجرای سناریوهای افزایش راندمان آبیاری بر تغییر کسری مخزن (درصد)

ردیف	سناریوها			تربت جام	تربت حیدریه	سبزوار	مشهد	نیشابور	کل
۱	E0	F0	H0	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	E0	F0	H1	-۵۴	-۴۴	-۹۵	-۱۵۹	-۸۶	-۸۳
۳	E0	F1	H0	-۱۲	-۱۴	-۷	-۱۷	-۱۳	-۱۳
۴	E0	F1	H1	-۶۴	-۵۸	-۱۰۱	-۱۷۲	-۹۷	-۹۴
۵	E0	F2	H0	-۲۵	-۳۰	-۱۵	-۳۶	-۲۷	-۲۷
۶	E0	F2	H1	-۷۶	-۷۲	-۱۰۸	-۱۸۸	-۱۰۹	-۱۰۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه ارزیابی اقتصادی زیرسناریوی اول از دید کشاورزان (هزینه و منافعی که برای کشاورزان ملموس است) در جدول ۱۱ ارائه شده است. در این محاسبات، سهم کشاورزان ۲۵ درصد کل هزینه لوله‌کشی خطوط انتقال در نظر گرفته شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در حالت پایه (افزایش بیست درصدی عملکرد در سامانه‌های نوین) و با افزایش راندمان انتقال و توزیع (تبدیل کانال‌های خاکی به لوله) و بدون افزایش سطح زیر کشت، هزینه کشاورزان سی‌صد ریال و هزینه‌های اجتماعی هفت‌صد ریال برای هر متر مکعب آب صرفه‌جویی‌شده خواهد بود.

جدول ۱۱- تأثیر اقتصادی افزایش راندمان آبیاری در شرایط عدم تغییر سطح زیر کشت

سناریوها		جمع هزینه (درآمد) اجرای سیاست برای کشاورزان (ده میلیون ریال)		مقدار کاهش تراز (میلیون مترمکعب)		هزینه (درآمد) کشاورزان برای هر مترمکعب صرفه‌جویی (ده ریال)		هزینه (درآمد) خالص اجتماعی هر مترمکعب صرفه‌جویی (ده ریال)	
		H0	H1	H0	H1	H0	H1	H0	H1
E0	F0	۰	-۹۵۱۹	۰	-۳۱۷	-	-۳۰	-	-۷۰
E0	F1	۷۱۰	۷۷۹۷	-۴۹	-۳۵۹	۱۴	۲۲	۱۴	-۱۳
E0	F2	۱۳۹۱	۸۳۲۴	-۱۰۴	-۴۰۶	۱۳	۲۱	۱۳	-۱۰
E1	F0	-۱۷۵۱۴	-۱۰۲۹۶	-۳	-۳۱۹	-۶۴۳۱	-۳۲	-۱۶۸۳۴	-۱۶۰
E1	F1	-۱۶۸۱۴	-۹۷۵۸	-۵۱	-۳۶۱	-۳۲۹	-۲۷	-۸۸۳	-۱۴۰
E1	F2	-۱۶۱۴۳	-۹۲۳۸	-۱۰۵	-۴۰۷	-۱۵۳	-۲۳	-۴۲۳	-۱۲۳
E3	F0	۱۷۶۹۲	۲۴۹۴۵	۰	-۳۱۷	-	۷۹	-	۱۱۵
E3	F1	۱۸۴۰۳	۲۵۴۹۰	-۴۹	-۳۵۹	۳۷۵	۷۱	۸۶۵	۱۰۳
E3	F2	۱۹۰۸۴	۲۶۰۱۶	-۱۰۴	-۴۰۶	۱۸۴	۶۴	۴۱۵	۹۲
E4	F0	۳۵۳۸۵	۴۲۶۳۸	۰	-۳۱۷	-	۱۳۵	-	۲۴۳
E4	F1	۳۶۰۹۵	۴۳۱۸۲	-۴۹	-۳۵۹	۷۳۵	۱۲۰	۱۶۸۸	۲۱۶
E4	F2	۳۶۷۷۶	۴۳۷۰۸	-۱۰۴	-۴۰۶	۳۵۴	۱۰۸	۸۰۴	۱۹۲

اعداد منفی بیانگر هزینه است. مأخذ: یافته‌های پژوهش

در مقایسه با سناریوی کاهش برداشت آب، هزینه‌های سناریوی افزایش راندمان آبیاری بسیار کمتر است. برای نمونه، در حالی که در سناریوی E0F2H1، کسری مخزن شهرستان‌های سبزوار، مشهد و نیشابور از بین رفته و شهرستان‌های تربت جام و تربت حیدریه نیز بین ۷۲ تا ۷۶ درصد کاهش کسری مخزن داشتند و سطح زیر کشت نیز کم نشده است، در مجموع، کسری مخزن به بیش از ۱۰۶ درصد کاهش یافته و هزینه اجتماعی هر متر مکعب صرفه‌جویی آب صد ریال است؛ اما در سناریوی کاهش برداشت آب که با کاهش سطح زیر کشت هم همراه بوده، هزینه اجتماعی حذف کسری مخزن بین ۴۵۴ تا ۶۲۲ ریال به‌دست آمد. البته در سناریوی اول، امکان ایجاد تعادل در هر دشت فراهم است؛ اما در اینجا، با توجه به متفاوت بودن میزان کسری مخزن و راندمان انتقال و توزیع آبیاری در شهرستان‌های مورد مطالعه، با وجود مثبت بودن تأثیر افزایش راندمان، میزان این تأثیر متفاوت است.

نتایج زیرسناریوی دوم در جدول ۱۲ آمده است. در شرایط عدم افزایش راندمان انتقال و توزیع و با افزایش راندمان مصرف و افزایش سطح زیر کشت سامانه‌های نوین و سنتی آبیاری، میزان کسری مخازن کاهش می‌یابد (به استثنای تیمارهای عملکردی E0 و E1) که البته ناچیز بوده و در مجموع، تا نُه درصد (۳۳ میلیون متر مکعب) کاهش می‌یابد. در واقع، در مواردی که افزایش کسری مخزن اتفاق افتاده و یا کاهش ناچیز بوده، آب‌های صرفه‌جویی‌شده به افزایش سطح زیر کشت اختصاص یافته است، به‌گونه‌ای که با افزایش راندمان آبیاری تا ۳۲ درصد افزایش سطح زیر کشت اتفاق خواهد افتاد. در بهترین حالت و افزایش راندمان انتقال، توزیع و مصرف، حداکثر کاهش کسری مخزن ۵۳ درصد خواهد بود (E3F2H1 و E4F2H1)، در حالی که در سناریوی افزایش راندمان بدون تغییر در سطح زیر کشت و نوع سامانه‌ها، کسری مخزن به صفر می‌رسد و حتی مازاد نیز ایجاد می‌شد (جداول ۱۱ و ۱۲).

جدول ۱۲- اثرات اقتصادی افزایش راندمان آبیاری و سرمایه‌گذاری در تأسیسات نوین آبیاری

سناریوها		جمع هزینه (درآمد) سیاست برای کشاورزان (۱۰ میلیون ریال)		مقدار کاهش کسری مخزن (میلیون متر مکعب)		هزینه (درآمد) کشاورزان برای هر متر مکعب صرفه‌جویی (۱۰ ریال)		هزینه (درآمد) خالص اجتماعی هر متر مکعب صرفه‌جویی (۱۰ ریال)	
		H0	H1	H0	H1	H0	H1	H0	H1
E0	F0	۵۲۰۵	۵۷۳۰۲	۰	۳۲	-	*	-	*
E0	F1	۲۹۰۵۴	۵۹۷۷۰	۱۸	-۵۴	*	۱۱۰۶	*	۶۵۶۹
E0	F2	۵۵۱۵۸	۵۸۱۷۴	۱۱	-۲۰۲	*	۲۸۹	*	۱۶۷۱
E1	F0	-۱۰۳۴۴	۱۶۷۵۵	-۳۰	-۳۶	-۳۴۸	۴۶۰	۲۰۲۶۵	۲۴۷۸۸
E1	F1	۲۶۳۱	۱۸۰۳۸	-۵	-۱۲۰	۵۷۵	۱۵۰	۲۰۱۱۰۷	۷۵۴۱
E1	F2	۲۰۹۸۹	۱۹۲۵۹	۶	-۲۱۰	*	۹۲	*	۴۳۲۰
E3	F0	۳۵۰۰۸	۹۵۷۴۸	-۱۰	-۲۴	۳۴۸۲	۳۹۰۹	۹۲۷۹۳	۳۹۹۶۴
E3	F1	۶۴۱۱۸	۹۷۰۶۱	-۲۱	-۱۱۰	۳۰۳۷	۸۸۲	۴۵۴۱۶	۸۹۰۸
E3	F2	۹۵۶۴۹	۹۸۳۱۱	-۳۳	-۲۰۲	۲۹۱۱	۴۸۸	۳۰۱۴۰	۴۸۶۷
E4	F0	۷۴۶۸۵	۱۳۵۸۸۴	-۶	-۲۴	۱۱۵۰۰	۵۵۴۸	۱۴۹۵۱۳	۴۱۶۶۸
E4	F1	۱۰۴۸۹۸	۱۳۷۱۹۸	-۲۱	-۱۱۰	۴۹۷۴	۱۲۴۷	۴۷۴۷۳	۹۲۸۷
E4	F2	۱۳۶۴۲۸	۱۳۸۴۴۷	-۳۳	-۲۰۲	۴۱۵۲	۶۸۷	۳۱۴۲۹	۵۰۷۴

* افزایش کسری مخزن اتفاق افتاده است. مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج زیرسناریوی سوم که در آن، امکان افزایش سطح زیر کشت سامانه‌های نوین به شرط کاهش سطح زیر کشت سامانه‌های سنتی میسر می‌شود، در جدول ۱۳ آمده است. در

تیمار E0F0H0، میزان کاهش کسری مخزن شش درصد است، در حالی که در وضعیت عدم کنترل سطح زیر کشت، صفر درصد بود. با اجرای سناریوی E0F0H1، این کاهش به ۶۳ درصد می‌رسد (۲۴۳ میلیون متر مکعب)، در حالی که در وضعیت عدم کنترل سطح زیر کشت، هشت درصد بود. اجرای سناریوی E0F2H1 کسری مخزن را ۹۴ درصد کاهش می‌دهد، اما در وضعیت عدم کنترل سطح زیر کشت، ۵۳ درصد بر کاهش کسری مخزن مؤثر بود. همچنین، در نیشابور، مازاد آب خواهد بود؛ اما در وضعیت عدم کنترل سطح زیر کشت، تنها هجده درصد از کسری مخزن این شهرستان کم می‌شد.

جدول ۱۳- اثرات فنی و اقتصادی افزایش راندمان آبیاری و جایگزینی سامانه‌های نوین به‌جای سنتی

سناریوها		جمع هزینه (درآمد) سیاست برای کشاورزان (ده میلیون ریال)		مقدار کاهش تراز (میلیون مترمکعب)		هزینه (درآمد) کشاورزان برای هر مترمکعب صرفه‌جویی (ده ریال)		هزینه (درآمد) خالص اجتماعی هر مترمکعب صرفه‌جویی (ده ریال)	
		H0	H1	H0	H1	H0	H1	H0	H1
E0	F0	۳۳۳۰	۳۹۸۵۱	-۲۱	-۲۴۳	۱۵۵	۱۶۴	۲۴۶۲	۷۸۷
E0	F1	۱۴۵۰۸	۴۲۱۹۳	-۱۰۳	-۳۰۴	۱۴۱	۱۳۹	۱۲۸۹	۶۸۸
E0	F2	۳۳۱۰۱	۴۳۰۶۷	-۱۵۵	-۳۶۶	۲۱۳	۱۱۸	۱۲۳۱	۵۷۴
E1	F0	-۱۱۶۴۱	۱۲۴۰۰	-۹	-۲۴۰	-۱۳۶۳	۵۲	-۹۵۶۱	۵۱۴
E1	F1	-۱۹۶۸	۱۳۱۱۹	-۴۶	-۲۸۶	-۴۳	۴۶	-۵۳۹	۴۳۴
E1	F2	۷۶۷۲	۱۳۸۰۸	-۸۴	-۳۳۷	۹۱	۴۱	۴۸۴	۳۷۱
E3	F0	۲۶۲۲۳	۷۱۳۱۵	-۸۵	-۲۵۱	۳۰۷	۲۸۴	۱۷۹۶	۱۱۰۰
E3	F1	۴۹۴۷۱	۷۲۳۳۹	-۱۳۰	-۳۱۷	۳۸۰	۲۲۸	۱۸۳۲	۸۷۳
E3	F2	۶۹۷۸۵	۷۲۰۲۸	-۱۹۰	-۴۱۳	۳۶۷	۱۷۴	۱۵۰۴	۶۷۰
E4	F0	۶۵۵۷۱	۱۰۳۴۹۹	-۹۶	-۲۸۲	۶۸۴	۳۶۷	۲۷۰۹	۱۲۷۸
E4	F1	۸۹۹۲۴	۱۰۴۶۵۵	-۱۳۹	-۳۵۷	۶۴۵	۲۹۳	۲۴۱۰	۱۰۱۲
E4	F2	۱۰۸۰۸۱	۱۰۵۴۶۱	-۱۹۶	-۴۳۱	۵۵۳	۲۴۵	۱۹۲۵	۸۳۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۱۴ خلاصه مقایسه فنی و اقتصادی سناریوهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این جدول، هزینه کشاورزان برای هر متر مکعب شامل خالص تغییر دردرآمد و هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای افزایش راندمان آبیاری است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، افزایش توأم

راندمان آبیاری و سطح زیر کشت کمترین کاهش کسری مخزن را در پی دارد؛ البته، این سیاست باعث افزایش تولید و وجود مازاد تولید برای صادرات می‌شود. مازاد تولید نیز لزوماً به افزایش صادرات منجر نمی‌شود و گاهی باعث کاهش شدید قیمت محصول شده و حتی برداشت و بازاررسانی محصول را غیراقتصادی می‌کند؛ اما اگر افزایش سطح زیر کشت صورت نگیرد، نه‌تنها موجب کاهش بیشتر در کسری مخزن (حفظ منابع آب زیرزمینی) می‌شود، بلکه همچنان مازاد تولید نیز وجود خواهد داشت و در مقایسه با سیاست کاهش برداشت آب از چاه‌های کشاورزی، نه‌تنها هزینه‌ای ندارد، بلکه منافع اجتماعی و درآمد کشاورزان را نیز افزایش خواهد داد.

جدول ۱۴- مقایسه اثرات فنی و اقتصادی تعدادی از سناریوهای مورد مطالعه

سناریوهای اصلی		سناریوهای فرعی	میزان صرفه جویی در آب (ده میلیون ریال)	هزینه(درآمد) اجتماعی	تغییر درآمد کشاورزان (درصد)	درآمد)کشاورزان برای هر مترمکعب	خالص واردات (درصد)
کاهش برداشت آب از چاه‌های کشاورزی		۱	-۱۷۸	-۶۳۶	-۸	-۱۷۱	۹/۰
		۲	-۳۸۵	-۴۹۶	-۱۱/۶	-۱۲۱	۱۵.۷
		۳	-۳۸۵	-۴۵۴	-۱۱/۹	-۱۱۷	۱۴.۰
		۴	-۳۸۵	-۵۴۸	-۱۱/۹	-۱۱۷	۱۴.۰
		۵	-۳۸۵	-۶۲۲	-۱۴/۷	-۱۴۵	۱۵.۹
افزایش راندمان آبیاری	بدون تغییر سطح زیر کشت در آبیاری تحت فشار و سنتی	E0F1H1	-۳۵۹	-۱۳	۰	۲۲	۰
		E0F2H1	-۴۰۶	-۱۰	۰	۲۱	۰
		E4F2H1	-۴۰۶	۱۹۲	۸/۵	۱۰۸	-۵/۲
	جایگزینی سامانه‌های نوین به‌جای سنتی و افزایش سطح زیر کشت	E0F1H1	-۵۴	۶۵۶۹	۱۷/۲	۱۱۰۶	-۳۶/۰۸
		E0F2H1	-۲۰۲	۱۶۷۱	۱۶/۵	۲۸۹	-۳۴/۳
		E4F2H1	-۲۰۲	۵۰۷۴	۲۹	۶۸۷	-۹۹/۹۸
	جایگزینی سیامانه‌های نوین به‌جای سنتی بدون افزایش سطح زیر کشت	E0F1H1	-۳۰۴	۶۸۸	۱۲/۷	۱۳۹	-۲۰
		E0F2H1	-۳۶۶	۵۷۴	۱۲/۷	۱۱۸	-۲۰
		E4F2H1	-۴۳۱	۸۳۹	۲۴/۲	۲۴۵	-۳۱

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مطالعهٔ حاضر نشان داد که گرچه سیاست کاهش برداشت آب می‌تواند باعث ایجاد تعادل در برداشت آب شود و مصرف انرژی را تا ۲۵ درصد کاهش دهد، اما به کاهش تولید

محصولات مهمی مانند گندم و افزایش هزینه‌های اجتماعی به‌ویژه کاهش درآمد کشاورزان و افزایش واردات می‌انجامد، به‌گونه‌ای که سطح زیر کشت را بین ۹ تا ۲۱ درصد و درآمد کشاورزان را بین ۸ تا ۱۴/۷ درصد کاهش می‌دهد و همچنین، واردات را بین ۱۲ تا ۲۹ درصد و هزینه‌های اجتماعی را بین ۲۰ تا ۴۳ درصد افزایش می‌دهد؛ بدین ترتیب، هزینه اجرای این سیاست برای هر متر مکعب صرفه‌جویی (کاهش کسری مخزن) بین ۴۵۴۰ تا ۶۳۶۰ ریال خواهد بود. با افزایش راندمان انتقال و توزیع و بدون افزایش سطح زیر کشت، (تبدیل کانال‌های خاکی به لوله)، کسری مخزن ۸۳ درصد کاهش می‌یابد، اما هزینه‌های اجتماعی آن هفت‌صد ریال برای هر متر مکعب خواهد بود. اگر این افزایش راندمان بدون کنترل سطح زیر کشت باشد، در حالت پایه (E0)، سطح زیر کشت ۲۷ درصد افزایش می‌یابد؛ در اینجا، اگرچه تولید افزایش می‌یابد، اما کسری مخزن به‌طور متوسط ۵۳ درصد کاهش می‌یابد. از این‌رو، هدف سرمایه‌گذاری مبنی بر ایجاد تراز مثبت اتفاق نخواهد افتاد. جایگزینی سامانه‌های جدید به‌جای قدیمی و افزایش راندمان آبیاری، بدون افزایش سطح زیر کشت در حد توان، کسری مخزن را ۹۴ درصد کاهش می‌دهد. دستیابی بدین کاهش ۹۴ درصدی کسری مخزن نه‌تنها هزینه‌ای دربر ندارد، بلکه برای کشاورزان و جامعه سودآور است. اگر در این حالت، کشاورزان نتوانند راندمان مصرف را اصلاح کنند، تنها با اصلاح راندمان انتقال و توزیع و جایگزینی سامانه‌های جدید، نه‌تنها هزینه‌ای پرداخت نمی‌کنند، بلکه ۱۶۴۰ ریال به ازای هر متر مکعب صرفه‌جویی منفعت کسب می‌کنند و ۶۳ درصد کسری مخزن نیز اصلاح می‌شود. بنابراین، زیرسناریوی سوم روش بهتری به‌نظر می‌رسد؛ اما باید در نظر داشت که اگرچه بستن چاه‌های غیرمجاز از الزامات قانونی است، ولی اجرای آن به‌تنهایی نمی‌تواند موجب ایجاد تعادل در برداشت آب شود (به‌طور متوسط، تنها ۴۶ درصد از عدم توازن برداشت آب را اصلاح می‌کند). از سوی دیگر، افزایش راندمان آبیاری کم‌هزینه‌تر از کاهش برداشت آب از چاه‌های مجاز است. در این بین، انگیزه برخی کشاورزان برای افزایش راندمان آبیاری با اجبار در کاهش برداشت افزایش می‌یابد، زیرا از یک‌سو، هزینهٔ برآوردشدهٔ هر متر مکعب آب صرفه‌جویی‌شده در

سناریوی اول تا ۶۳۶۰ ریال بوده و از سوی دیگر، این هزینه حدود دو برابر ارزش اقتصادی آب قبل از اجرای این سناریو است؛ بنابراین، برای کسب نتیجه مطلوب، لازم است که ضمن بستن چاه‌های غیرمجاز، نسبت به کاهش تدریجی پروانه چاه‌های مجاز نیز اقدام شود و با اعطای تسهیلات و خدمات مشاوره‌ای، به کشاورزان در راستای افزایش راندمان یاری رساند. همچنین، با اجرای سیاست کاهش برداشت آب، از افزایش سطح زیر کشت توسط کشاورزان از محل آب صرفه‌جویی‌شده ناشی از افزایش راندمان آبیاری جلوگیری می‌شود.

منابع

1. Abbasi, F., Naseri, A., Sohrab, F., Baghani, J. and Akbari, M. (2015). Improving water use productivity. Tehran: Research, Education and Extension Organization, Agricultural Engineering Research Institute (Persian)
2. Ahmad, M., Turral, H., Masih, I., Giordano, M. and Masood, Z. (2007). Water saving technologies: myths and realities revealed in Pakistan's rice-wheat systems. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI).
3. Ahmadpour, M. and Sabouhi, M. (2009). Water pricing in agricultural sector using interval mathematical programming: the case study of Dashtestan. *Agricultural Economics*, 3(3): 121-141. (Persian)
4. Alizadeh, A., Majidi, Khalilabad N., Ghorbani, M. and Mohammadian, F. (2012). Cropping pattern optimization with target balancing of ground water resources: a case study of Mashhad, Chenaran Plain, Iran. *Iranian Journal of lrrigation and Drainage*, 6(1): 55-68. (Persian)
5. Alizadeh, H.A., Liaghat, A. and Sohrabi, T. (2014). Assessing pressurized irrigation systems development scenarios on groundwater resources using system dynamics modeling. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 3(4): 1-14. (Persian)
6. Amiri-Ardakani, M. and Zamani, G. (2003). Problems and obstacles in utilization of new irrigation systems by farmers in Kohgilouyeh and Boyerahmad province. *Journal of Soil and Waters Sciences*, 17(2): 230-241. (Persian)
7. Bakhshi, A., Daneshvar Kakhki, M. and Moghaddsi, R. (2012). An application of positive mathematical programming model to analyze the effects of alternative policies to water pricing in Mashhad Plain. *Agricultural Economics and Development*, 25(3): 284-294. (Persian)

8. Balali, H. and Viaggi, D. (2015). Applying a system dynamics approach for modeling groundwater dynamics to depletion under different economic and climate change scenarios. *Water*, 7(10): 5258-5271.
9. 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.
10. Doppler, W., Salman, A.Z., Al-Karablieh, E.K. and Wolff, H.P. (2002). The impact of water price strategies on the allocation of irrigation water: the case of the Jordan Valley. *Agricultural Water Management*, 55(3): 171-182.
11. 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.
12. Kahil, M.T., Albiac, J., Dinar, A., Calvo, E., Esteban, E., Avella, L. and Garcia-Molla, M. (2016). Improving the performance of water policies: evidence from drought in Spain. *Water*, 8(2): 34.
13. Kosari Sivaki, A., Alavi Moghaddam, S.M.R. and Bina, K. (2016). The effect of intelligent meter installation on the reducing the tren of underground water level (case study: Mahvelat aquifer). Paper Presented at the 10th Symposium on Advances in Science and Technology, Mashhad, Iran. (Persian)
14. Mahboubi, M.R., Aval, M.E. and Yaghoubi, J. (2011). Impeding and facilitating factors influencing the application of new irrigation methods by farmers: a case study of west Boshroyeh County in South Khorasan. *Journal of Water and Irrigation Management*, 1(1): 87-98. (Persian)
15. Mamitimin, Y., Feike, T. and Doluschitz, R. (2015). Bayesian network modeling to improve water pricing practices in northwest China. *Water*, 7(10): 5617-5637.
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 (No: 813). United States Agency for International Development. Available at http://www.ce.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/lectures/McKinneySavitsky_ver8_e.pdf. Retrieved at 20 March, 2018.
18. Ministry of Energy (2014). Razavi Khorasan province water feature (No. 20). Mashhad: Ministry of Energy, Regional Water Company of Razavi Khorasan Province, Planning and Management Improvement Adjutancy. Available at:

19. http://www.khrw.ir/SC.php?type=component_sectionsandftype=1andid=52andsid=210. Retrieved at 20 July, 2017. (Persian)
20. Ministry of Energy (2015). Iran water statistical yearbook, 2011-2012. Tehran: Ministry of Energy, Office of Planning for Water and Wastewater. (Persian)
21. Mohammadi, A.A. and Alipour, H. (2017). Factors affecting adoption of new irrigation systems: viewpoints of experts of Agriculture-Jahad departments in Tehran and Alborz provinces. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sciences),* 31(3): 455-468. (Persian)
22. Mozaffari, M.M. (2016). Irrigation water demand management in Ardalan Plain with emphasis on pricing policy. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 5(4): 47-67. (Persian)
23. Nazari, A.H., Manafi-Azar, R. and Abdollahi, A. (2014). Aluating the influences of pressurized irrigation system on the charging of farming structure, cropping pattern and yield. *Quarterly Journal of the Studies of Human Settlements Planing (Journal of Geographical Landscape)*, 8(25): 147-161. (Persian)
24. Nainiva, S.P., Azizi Kashantouei, M., Khaledian, V. and Faghani, A. (2018). Investigating the effect of installing smart water and power meters on water wells (case study: plains in east of Kurdistan province). Paper Presented at the Third National Conference on Farm Water Management, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran. (Persian)
25. Palouj, M. (2014). Break forward, approach of water crisis-stricken management in Iran. Tehran: Agricultural Planning, Economics and Rural Development Research Institute (APERDRI). (Persian)
26. Parhizkari, A., Sabouhi, M., Ahmadpour, M. and Badie Barzin, H. (2014). Simulation of farmers' response to irrigation water pricing and rationing policies (case study: Zabol County). *Agricultural Economics and Development*, 28(2): 164-176. (Persian)
27. Qobadpour, R., Eskandari, F. and Jalali, M. (2018). Farmers' satisfaction with installing intelligent flowmeter on underground water wells (the case of Mahidasht County, Kermanshah province). *Agricultural Economics and Development*, 32(1): 43-55. (Persian)
28. Sabouhi, M. and Ahmadpour, M. (2012). Estimation of Iran agricultural products demand functions using mathematical programming (application of maximum entropy method). *Agricultural Economics*, 6(1): 71-91. (Persian)
29. Sabouhi, M. and Zare, S. (2014). A look at developments, challenges and the rules on the conservation and exploitation of water resources in Iran. *Agricultural Economics*, Special Issue: 174-157. (Persian)

30. Salem, J. (2018). Analysis of effective factors on pistachio farmers' reluctance to adopt pressurized irrigation in Yazd province. *Journal of Water Research in Agriculture,* 31(4): 585-594. (Persian)
31. Soleymani, E. and Hajizadeh, F. (2009). Challenges and problems of agricultural water supply in Khorasan Razavi province (No. 9943). Tehran: IRI Parliament Research Center, Infrastructure Studies Office. Available at https://rc.majlis.ir/fa/report/show/739028. Retrieved at 10 Jul 2019. (Persian)
32. Statistical Center of Iran (2014). Iran statistical yearbook, 2013 [March 2013-March 2014]. Tehran: Statistical Center of Iran, Office of the President, Public Relations and International Cooperation. (Persian)
33. Varziri, A., Vakilpour, M.H. and Mortazavi, S.A. (2016). The effects of economic pricing of irrigation water on cropping pattern in Dehgolan Plain. *Agricultural Economics Research*, 8(31): 81-100. (Persian)
34. Yazdani, M. (2013). Investigating the effect of employing smart water and power meters on improvement of underground water hydrograph in Esfarayen plain. Paper Presented at the 7th National Congress on Civil Engineering, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran. (Persian)
35. Zare, S., Mohammadi, H. and Sabouhi, M. (2017). Simulation of developing modern irrigation systems on groundwater resources balance of Razavi Khorasan. *Journal of Agricultural Economics and Developments*, 31(2): 179-195. (Persian)
36. Zhong, S., Shen, L., Sha, J., Okiyama, M., Tokunaga, S., Liu, L. and Yan, J. (2015). Assessing the water parallel pricing system against drought in China: a study based on a CGE model with multi-provincial irrigation water. *Water*, 7(7): 3431-3465.