DOI: 10.22034/IAES.2018.88115.1601

اقتصاد کشاورزی/جلد ۱۲/شماره ۳/صفحه های ۱۳۱-۹۵

بررسی تاثیر سیاستهای قیمتی و سرمایه‌گذاری در فن‌آوری‌های آب اندوز بر کسری مخازن آب زیرزمینی و هزینه‌های اجتماعی در استان خراسان رضوی

شجاعت زارع، حمید محمدی ، محمود صبوحی، محمود احمدپور،سیداحمد محدث حسینی[۱]

تاریخ دریافت:1397/03/27 تاریخ پذیرش:1397/09/06

چکیده

به منظور مقایسه تاثیر سیاست قیمت‌گذاری آب با سیاست افزایش راندمان آبیاری و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های آب اندوز، بر روی کاهش کسری مخازن آب‌های زیرزمینی، میزان تولید، خالص واردات، خالص منافع اجتماعی و درآمد کشاورزان در سال زراعی ۹۲-۹۱ در استان خراسان رضوی، پنج شهرستان شامل: مشهد، سبزوار، نیشابور، تربت جام و تربت حیدریه انتخاب و تاثیر این سیاست‌ها با استفاده از نوعی مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP_GME) بررسی گردید. بررسی تاثیر افزایش قیمت آب نشان داد که هر چند این سیاست در مناطق مختلف نتایج متفاوتی داشته و اجرای آن را غیر ممکن می‌سازد، اما درآمد کشاورزان را بین ۱۹ تا ۹۸ و به طور میانگین ۶۳ درصد کاهش و هزینه‌های اجتماعی را ۵۰ درصد افزایش می‌دهد. به طوری که هزینه هر مترمکعب آب صرفه جویی شده ۵۷۵۰ ریال خواهد بود. با افزایش راندمان انتقال و توزیع آب و بدون افزایش سطح زیر کشت، کسری مخزن به طور میانگین، ۸۳ درصد کاهش می‌یابد. هزینه کشاورزن نیز ۳۰۰ ریال و هزینه‌های اجتماعی ۷۰۰ ریال برای هر متر مکعب خواهد بود. اگر کل راندمان آبیاری تا حد پتانسیل آن اصلاح شود کسری مخزن ۱۰۶ درصد کاهش می‌یابد. اگر افزایش راندمان بدون کنترل سطح زیرکشت باشد اگر چه تولید افزایش می‌یابد اما کسری مخزن در شرایطی افزایش یافته ولیکن به طور میانگین ۵۳ درصد کاهش می‌یابد. جایگزینی سامانه‌های جدید بجای قدیمی و افزایش راندمان آبیاری در حد پتانسیل بدون افزایش سطح زیر کشت، کسری مخزن را ۹۴ درصد کاهش می‌دهد. اما بدون افزایش راندمان مصرف تنها ۶۳ درصد کسری مخزن اصلاح می‌شود. لذا پیشنهاد می‌شود، دولت ضمن نصب کنتورهای هوشمند، در منطقه‌های که نسبت به افزایش راندمان انتقال و توزیع اقدام می‌کند، میزان برداشت آب از چاه را به میزان افزایش راندمان آبیاری کاهش دهد .همچنین در دشت‌های بحرانی، دادن تسهیلات برای سامانه‌های نوین آبیاری مشروط به کاهش برداشت آب شود.

طبقه‌بندی JEL : C61, D61, D78, Q28

واژگان کلیدی: مدیریت منابع آبی، راندمان آبیاری، الگوی کشت، برنامه ریزی ریاضی مثبت، حداکثر بی‌نظمی تعمیم یافته

[۱] به ترتیب :عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل(نویسنده مسئول)،استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل و عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی

Email: hamidmohammadi1378@gmail.com

مقدمه

با وجود هشدارهای بسیار کارشناسان در سال‌های گذشته مبنی بر مدیریت استفاده بهینه و پایدار از منابع آبی، اقدام‌های انجام شده چه به لحاظ تصویب قوانین و چه اختصاص بودجه نتوانسته است باعث ایجاد تعادل بین برداشت آب از منابع و تغذیه سفره‌های زیرزمینی شود(صبوحی و زارع، ۲۰۱۴). عوارض استفاده لجام گسیخته از منابع آبی زیرزمینی منجر به بحرانی شدن بیشتر دشت‌های کشور و نشست زمین در بسیاری از نقاط شده است. این موضوع روند ایجاد آسیب و زیان‌های زیاد و غیر قابل جبران به تاسیسات، ساختمان‌ها و ابنیه را تشدید کرده است (لشکری پور و همکاران ، ۲۰۰۸؛ عفیفی، ۲۰۱۶). به طوری که میزان نوسان سطح آب‌های زیرزمینی در کل کشور به طور میانگین سالانه منفی ۰/۴۸ متر می‌باشد(وزارت نیرو، ۲۰۱۵ الف). این در حالی است که افزون بر هزینه های کلان در بخش مهار آب‌های سطحی و طرح‌های آبخیزداری، تنها در بخش کشاورزی در سال ۱۳۹۵، برای طرح احیا و توسعه کشاورزی در بخش آب و خاک، بیش از ۱۲۷/۷ میلیارد ریال، برای طرح‌های کوچک توسعه منابع آب، ۴۴۰/۷ میلیارد ریال، برای مرمت و لایروبی قنات‌ها،۲۵۱/۴ میلیارد ریال هزینه شده و بیش از۹۵ هزار هکتار از اراضی کشور به سامانه‌های نوین آبیاری مجهز شده‌اند(وزارت جهاد کشاورزی ، ۲۰۱۷) به طوری که بر پایه گزارش معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی از آغاز اجرای عملیات توسعه سامانه‌های نوین آبیاری تا پایان سال ۱۳۹۵، در بیش از ۱،۶۰۰،۰۰۰ هکتار از اراضی کشور عملیات اجرای سامانه‌های نوین آبیاری اجرا شده است و از این نظر استان خراسان رضوی در رتبه دوم کشورقرار دارد. اما بیشترین کسری مخزن نیز متعلق به استان خراسان رضوی بوده به طوری‌که تا پایان سال ۱۳۹۱، از کل کسری مخزن کشور(۴۸۶۷ میلیون متر مکعب) بیش از ۲۵ درصد آن متعلق به این استان است (وزارت نیرو، ۲۰۱۵الف). نتایج بررسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی نشان داده که افزایش جمعیت، افزایش چاه‌های غیر مجاز و افزایش برداشت از چاه در خشکسالی‌ها و محور بودن کشاورزی در معیشت استان خراسان از چالش‌های مدیریت آب در این استان بوده و تعیین قیمت مناسب آب یکی از راهکارهای برون رفت از بحران آب استان عنوان شده است(سلیمانی و حاجی زاده، ۲۰۰۹). میزان افت آب‌های زیرزمینی در این استان بسیار بالا بوده به طوری که در سال ۱۳۹۲ از ۳۷ دشت آن ۱۹ دشت،

ممنوعه و ۱۵ دشت بحرانی گزارش شده است. میزان کسری مخزن نیز ۱۱۱۷ میلیون متر مکعب گزارش شده که بیش از ۱۷ درصد از برداشت را شامل می‌شود(وزارت نیرو، ۲۰۱۴). افت آب‌های زیرزمینی نیز باعث شده که میزان مصرف انرژی در بخش کشاورزی استان نیز بسیار بالا باشد به طوری که مشترکان برق کشاورزی استان که ۵/۴ درصد از مشترکان برق کشاورزی کشور را تشکیل می‌دهند، در سال ۱۳۹۲ با مصرف ۴۸۳۰ گیگاوات ساعت، ۱۴/۵ درصد از برق مصرف شده در بخش کشاورزی کشور را مصرف کرده‌اند(مرکز آمار ایران، ۲۰۱۴). از این رو بررسی ارزیابی تاثیر سیاست‌های حفاظت از منابع زیرزمینی در استان خراسان رضوی اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. در این راستا و با تداوم خشکسالی و بحرانی شدن وضعیت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، طرح ملی احیاء و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی به صورت جدی مورد توجه قرار گرفت. بطوی که در سال ۱۳۹۳ در این استان، میزان پیشرفت عملیات یستن چاه‌های غیر مجاز با ۴۹ درصد پیشرفت در صدر قرار داشته و خرید و نصب کنتورهای هوشمند با ۲۶ درصد پیشرفت در مرتبه بعدی بوده است(وزارت نیرو ، ۲۰۱۵ب). در کنار این اقدام‌ها، افزایش بهره‌وری در سطح مصرف‌کننده از راه سیاست قیمت‌گذاری و توسعه فناوری‌های آب‌اندوز، و در سطح بین‌المللی از راه تجارت آب مجازی قابل تحقق است(صبوحی و سلطانی، ۲۰۰۸). به کارگیری سیاست قیمت‌گذاری در کشورهای مختلف متفاوت گزارش شده که می‌توان آنها را در سه دسته قیمت‌گذاری بر پایه حجم مصرف، روش غیر حجمی و قیمت‌گذاری بر پایه بازار تقسیم بندی کرد(جانسون، ۲۰۰۰؛ کاهیل و همکاران ، ۲۰۱۶؛ الرباعی، ۲۰۱۸). همچنین روش‌های قیمت‌گذاری بر پایه بخش‌های مصرف‌کننده مانند صنعت، کشاورزی و آب آشامیدنی می‌تواند متفاوت باشد(یانگ و لومیس، ۲۰۱۴). هر یک از این روش‌ها اگر چه کاستی‌هایی دارد، اما موفقیت در آنها نیز در گرو ایجاد شرایطی از جمله تعریف حق آبه، ایجاد چارچوب‌های قانونی و نهادی برای تجارت و همچنین سرمایه‌گذاری در امر تسهیلات و ابزارها برای انتقال آب است(دینار و همکاران، ۱۹۹۷؛ کاهیل و همکاران، ۲۰۱۵). سیاست قیمتی اگر چه برای مهار تقاضای آب لازم بوده و از هدف‌های اصلی این سیاست به شمار می‌آید(صاحب زادا ،۲۰۰۳؛ لاتینوپولوس، ۲۰۰۸) و از جنبه نظری نیز روش ساده و موثری قلمداد می‌شود، اما به لحاظ سیاسی ممکن است روش بسیار دشواری باشد (روگرس و همکاران، ۲۰۰۲) و تاثیر آن به تنهایی مورد تردید جدی قرار دارد(بلالی و همکاران، ۲۰۱۰؛ احمدپور و صبوحی، ۲۰۰۹؛ صبوحی و آزادگان، ۲۰۱۴؛

چیمه و همکاران، ۲۰۱۴؛ چن و همکاران، ۲۰۱۴؛ مامیتیمین و همکاران ۲۰۱۵؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ تیسور و دینار، ۱۹۹۷؛ کاهیل و همکاران ۲۰۱۶) و اثرگذاری‌های این سیاست در نقاط روستایی وابسته به آب فاجعه آمیز خواهدبود(مانوس و همکاران، ۲۰۰۶). در واقع اگر چه سازوکار قیمت با تخصیص بهینه منابع و تامین منابع مالی برای توسعه منابع آبی در استفاده بهینه از آب موثر است، اما در کشورهای در حال نوسعه که بخش زیادی از جمعیت درآمد کمی دارند افزایش قیمت آب می‌تواند به اقشار ضعیف فشار وارد کند(هو، ۲۰۰۵). لذا برای اثربخشی آن اتخاذ سیاست‌های تکمیلی غیرقیمتی پیشنهاد شده است(جلیل پیران، ۲۰۱۲؛ تهامی‌پور و همکاران، ۲۰۱۵؛ قره داغی و همکاران، ۲۰۱۳). تجربه‌های کشورهای مختلف نیز نشان داده که این سیاست بیشتر ترکیب الگوی کشت را مورد تاثیر قرار می‌دهد تا میزان تقاضای آب برای هر محصول(وینوت و مول، ۲۰۰۸؛ لاتینوپولوس، ۲۰۰۸). در ایران نیز پایین بودن قیمت نسبی نهاده آب در مقایسه با دیگر نهاده‌ها، انگیزه لازم برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های آب‌اندوز را فراهم نمی‌کند (کلایی، ۲۰۱۴). لذا افزایش هم‌زمان قیمت آب و دادن یارانه برای سامانه‌های نوین آبیاری، می‌تواند ضمن افزایش ارزش اقتصادی آب، باعث افزایش درآمد کشاورزان شده و تاثیر معنی‌دار بر کاهش مصرف آب داشته باشد(اوهب یزدی و احمدی، ۲۰۱۶). اما با وجودی که سیاست افزایش بازده مصرف با گسترش سامانه‌های نوین آبیاری مورد توجه برنامه ریزان برای حفاظت از منابع آبی در بخش کشاورزی ایران است، تجربه کشورهای پیشرو در این زمینه نشان دهنده عدم موفقیت بوده است. به طور مثال تغییر سامانه‌های آبیاری بارانی در ایالت نبرسکا[1]در آمریکا، باعث تغییر الگوی کشت از سمت کشت غلات و علوفه دیم به ذرت آبی شده (لیچتنبرگ، ۱۹۸۹) و در ایالت کانزاس[2] میزان برداشت آب افزایش یافته است(پی فیفر، ۲۰۰۹). در واقع سامانه‌های نوین آبیاری با کاهش آب نشتی به سفره‌های زیرزمینی، افزایش تبخیر و تعرق و افزایش سطح زیر کشت باعث مصرف بیشتر آب و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی شده‌اند(احمد و همکاران، ۲۰۰۷؛ هوفاکر و ویتلسی، ۲۰۰۳). نتایج بررسی‌های علیزاده و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان داد، توسعه سامانه‌های آبیاری بارانی روی منابع آب سطحی، در صورتی که با افزایش سطح کشت همراه نباشد، باعث افزایش درآمدهای ملی و

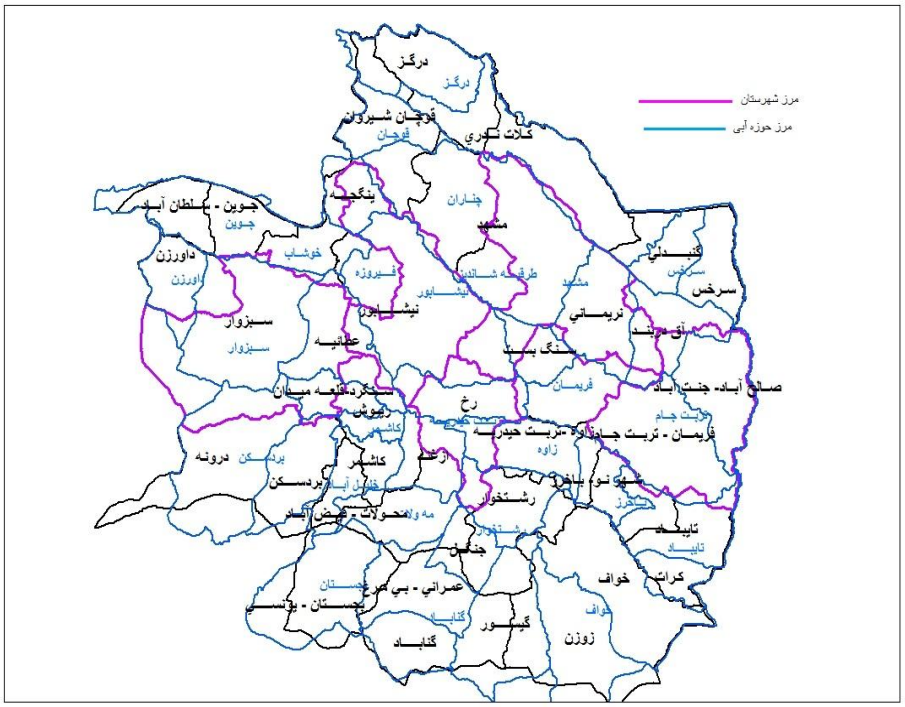
[1] Nebraska
[2] Kansas

کاهش افت آب‌های زیرزمینی خواهد شد در غیر این صورت، اگر کشاورزان اقدام به افزایش سطح کشت کنند، دولت با کمک مالی به کشاورزان، به نابودی منابع آب زیرزمینی کشور کمک کرده است. اما در منطقه‌های که از آب چاه برای آبیاری استفاده می‌شود، اگر چه توسعه سامانه‌های آبیاری بارانی به شرط حفظ سطح زیر کشت و کاهش مصرف آب، به پایداری کشاورزی کمک می‌کند، اما تاثیر توسعه سامانه‌های نوین آبیاری بر بهبود وضعیت منابع آب زیرزمینی کم خواهد بود. همچنین با وجودی که نتایج بررسی‌های نیکبخت و همکاران(۲۰۱۲) نشان داد که در سال زراعی ۸۸-۸۷ تبدیل سامانه‌های آبیاری سنتی به نوین در دشت عجب شیر آذربایجان شرقی باعث کاهش افت آب‌های زیرزمینی شده است، اما نتایج بررسی‌های واسطه و همکاران(۲۰۱۸) نشان داده که در عمل با اجرایی شدن سامانه‌های نوین آبیاری در دشت شیروان در استان خراسان شمالی، میزان برداشت از آبخوان کاهش نیافته و با اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار و افزایش بازده در مقیاس کشتزار ، کشاورزان مبادرت به افزایش سطح زیر کشت کرده‌اند.

در ایران برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی، افزون بر دادن یارانه برای توسعه سامانه‌های نوین آبیاری، اقدام‌های اولیه برای ایجاد زیرساخت به منظور مهار و نظارت بر برداشت آب از چاه‌ها مانند نصب کنتورهای هوشمند روی چاه‌های مجاز و شناسایی چاه‌های غیر مجاز در حال انجام است. اما صرف نظر از تاثیر این سیاست‌ها بر حفظ منابع آبی، اجرای هر برنامه باید با شیوه‌ها و ابزارهایی باشد که در مرحله اجرا با کمترین واکنش‌های اقتصادی و اجتماعی منفی (کمترین هزینه، بیکاری، کاهش تولید، اثرگذاری‌های سیاسی، وابستگی به خارج و ...) را در پی داشته باشد چرا که شمار زیادی از خانوارهای روستایی از راه کشاورزی امرار معاش می‌کنند(وفابخش و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین لازم است در آغاز اثرگذاری‌های فنی و اقتصادی هر سیاست بررسی شده و سپس نسبت به انتخاب روش مناسب اقدام شود. لذا در این پژوهش فرایند برداشت آب از منابع آبی موجود تا مصرف در سطح کشتزار، با استفاده از مدل‌های ریاضی شبیه‌سازی شد، تا پس از بررسی اثرگذاری‌های اقتصادی و فنی، بهترین روش برای اجرا پیشنهاد شود.

مواد و روشها

به منظور انجام این بررسی و ارزیابی، ۵ شهرستان استان شامل شهرستان های مشهد، سبزوار، نیشابور، تربت جام و تربت حیدریه انتخاب شدند. این شهرستان‌ها افزون بر اینکه بر حوزه‌هایی با افت زیاد آب‌های زیرزمینی منطبق هستند، برخی دارای یک یا دو حوزه مشترک بوده (شکل ۱) و در بین ۲۹ شهرستان استان، بیش از ۳۵ درصد از کل سطح زیرکشت گیاهان زراعی و باغی را به خود اختصاص داده‌اند. اطلاعات مورد نیاز شامل همه منابع آبی به تفکیک روستا، طول و نوع آبراهه‌های انتقال آب، از راه تکمیل پرسشنامه برای کلیه آبادی‌های منطقه‌های مورد بررسی به دست آمد. اطلاعات هزینه و درآمد با استفاده از پرسشنامه های تهیه شده برای نظام هزینه تولید سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی تهیه شد. اطلاعات مربوط به میزان برداشت از مخازن در حوزه‌های آبریز، از سازمان آب منطقه‌ای تهیه شد. با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی(GIS)، شمار چاه‌های هر شهرستان در حوزه‌های آبی مشخص، و با توجه به دبی آنها، سهم‌شان از برداشت حوزه‌ها تعیین شد(جدول ۴). از این نسبت برای تعیین میزان سهم هر شهرستان از افت آب‌های زیرزمینی حوزه‌های مربوطه و آب برداشت شده توسط چاه‌های کشاورزی مطابق با آمار آب منطقه‌ای استفاده شد. سطح زیر کشت گیاهان زراعی و باغی و نوع سامانه‌های آبیاری نیز از سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی تهیه شد. ضریب کم آبیاری ، و میزان نفوذ آب هدر شده به آب‌های زیرزمینی از راه شبیه‌سازی برآورد شد(زارع و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل(۱) انطباق مرز شهرستان‌های مورد بررسی بر حوزه‌های آبی

Figure1- Adaptation of the border of the studied cities to the aquatic areas

به منظور تعیین هزینه‌های سالانه سامانه‌های نوین آبیاری و همچنین لوله‌گذاری آبراهه‌های انتقال آب از رابطه‌های (۱ و ۲) استفاده شد(مک‌کینی و ساویستکی ۲۰۰۶) .

$$F= P(1+i)^n \qquad (۱)$$

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

در اینجا F : ارزش آتی هزینه سرمایه گذاری در تاسیسات آبیاری، P: ارزش کنونی هزینه سرمایه گذاری در تاسیسات ، i : نرخ بهره، n : شمار سال بهره‌برداری(۲۰سال) و A ارزش یکنواخت سالانه هزینه سرمایه‌گذاری در تاسیسات آبیاری است. از آنجا که محاسبات اقتصادی درآمدها و هزینه‌ها در مدل در یک سال زراعی بود، لذا نرخ تنزیل بر پایه سود بانکی یکساله، ۱۰ درصد در نظر گرفته شد. با توجه به فراگیر بودن به کارگیری مدل‌های ریاضی در بررسی اثرگذاریهای سیاست‌گذاری، در اینجا

از مدل برنامه ریزی ریاضی مثبت(PMP[1]) استفاده شد. (دوپلر و همکاران، ۲۰۰۲؛ بلالی و ویاجی، ۲۰۱۵؛ زونگ و همکاران، ۲۰۱۵؛ کاهیل و همکاران، ۲۰۱۶؛ مامی تیمین و همکاران، ۲۰۱۵). در این مدل درآغاز مدل الگوی کشت بهینه منطقه تهیه می‌شود، اما به منظور بررسی و تحلیل تاثیر سیاست‌ها بر الگوی کشت، مدل باید طوری واسنجی شود که پس از اجرا، سطح زیر کشت و ترکیب الگو با الگوی کشاورزان یکسان باشد. به این ترتیب شرایطی که کشاورزان در آن تصمیم‌گیری می‌کنند، شبیه‌سازی می‌شود. برای این منظور، بعد از برآورد تابع هزینه‌ای که کشاورزان با آن روبه رو هستند، از تابع هزینه به دست آمده در الگوی کشت کشاورزان استفاده شد. برای برآورد ضریب‌های تابع هزینه(درجه دو) مدل، از روش حداکثر بی‌نظمی تعمیم یافته (GME[2]) استفاده گردید(صبوحی و احمدپور، ۲۰۱۲). متغیرها و فراسنجه‌های مدل در جدول‌های ۱ و۲ آورده شده است(زارع، ۲۰۱۸). گیاهان زراعی مورد بررسی در الگوی کشت شامل گندم، جو، پنبه، چغندرقند، پیاز، سیب زمینی، ذرت، گوجه فرنگی، هندوانه و یونجه بود. این گیاهان بیش از ۹۰ درصد سطح زیر کشت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. معادله‌های مدل شامل: تابع هدف؛ مصرف انرژی برق به تفکیک گیاهان زراعی پاییزه، بهاره و روش‌های مختلف آبیاری؛ محدودیت‌های زمین و تناوب زراعی؛ رابطه‌های آب مصرفی به صورت ماهانه و با توجه به نوع گیاه، نوع سامانه آبیاری و بازده آبیاری در مرحله‌های انتقال، توزیع و مصرف؛ میزان برداشت آب از چاه‌های مجاز و غیر مجاز کشاورزی، استخرهای ذخیره و دیگر منابع آب سطحی و زیر سطحی؛ روابط تجاری و مبادله‌های محصول بین نواحی و خارج از مرزهای منطقه‌های مورد بررسی بوده که در مجموع حدود ۱۰۰۰ متغیر و بیش از ۱۰۰۰ محدودیت داشته که با تبدیل آن به مدل PMP، با توجه به سناریو مورد بررسی، به بیش از ۲۰۰۰ متغیر و ۱۵۰۰ محدودیت رسیده است.

[1] Positive Mathematical Programming
[2] Generalized Maximum Entropy

جدول(۱) نماد متغیرهای مورد استفاده در مدل

Table 1- The symbol for the variables used in the model

ردیف Row	نام متغیر Variable name	توضیحات Description
1	YX_g^k	میزان تولید محصول k در منطقه g The amount of production ***k*** in region ***g***
2	yyx_g^y	میزان تولید محصول y در منطقه g The amount of production ***y*** in region ***g***
3	X_g^k	سطح زیر کشت گیاه زراعی k در منطقه g The cultivated area of crop ***k*** in region ***g***
4	txf_g	کل سطح زیر کشت گیاهان زراعی و باغی آبیاری شده به روش سنتی در منطقه g Total cultivated area of irrigated crops and orchard in traditional method in region ***g***
5	$txnf_g$	کل سطح زیر کشت گیاهان زراعی و باغی آبیاری شده به روش نوین در منطقه g Total cultivated area of irrigated crops and orchard in modern method in region ***g***
6	ra_g	میانگین بازده کاربرد آبیاری در منطقه g Mean irrigation application efficiency in region ***g***
7	$rtot_g$	میانگین کل بازده آبیاری در منطقه g Mean Whole irrigation efficiency in region ***g***
8	$w5_g$	میزان آب استخراج شده از چاه‌های کشاورزی در منطقه g The amount of water extracted from agriculture wells in region ***g***
9	$d1_g$	میزان نفوذ آب به مخازن زیرزمینی در مرحله انتقال و توزیع در منطقه g The amount of water penetration to aquifers in water conveyance and distribution step in region ***g***
10	$d2_g$	میزان نفوذ آب به مخازن زیرزمینی در مرحله مصرف در منطقه g The amount of water penetration to aquifers in water application step in region ***g***
11	def_g	میزان کسری مخزن در شرایط اجرای سناریو در منطقه g The amount of aquifer deficit in scenario execution conditions in region ***g***
12	tw_g^t	میزان کل آب در دسترس در ماه t در منطقه g The amount of total water available in the month ***t*** in region ***g***
13	$w31_g^t$	میزان آب استخراج شده از چاه‌های دارای پروانه برداشت در ماه t در منطقه g The amount of water extracted from licensed wells in month ***t*** in region ***g***
14	$w32_g^t$	میزان آب استخراج شده از چاه‌های بدون پروانه برداشت در ماه t در منطقه g The amount of water extracted from unauthorized wells in month ***t*** in region ***g***
15	ri_g^t	میزان آب در دسترس از منابع آب سطحی در ماه t در منطقه g The amount of available water from surface water resources in month ***t*** in region ***g***
16	$w4_g^t$	میزان آب استخراج شده از چاه‌های شناسایی نشده بدون پروانه برداشت و یا اضافه برداشت از چاه‌های دارای پروانه در ماه t در منطقه g The amount of water extracted from unauthorized wells unidentified or Extra water extracted from licensed wells in month ***t*** in region ***g***

ادامه جدول(۱) نماد متغیرهای مورد استفاده در مدل

Table 1- The symbol for the variables used in the model

ردیف Row	نام متغیر Variable name	توضیحات Description
17	$tw31_g$	میزان کل آب استخراج شده از چاه‌های دارای پروانه برداشت در منطقه g The amount of total water extracted from licensed wells in region ***g***
18	$tw32_g$	میزان کل آب استخراج شده از چاه‌های بدون پروانه برداشت در منطقه g The amount of total water extracted from unauthorized wells in region ***g***
19	$tw4_g$	میزان کل آب استخراج شده از چاه‌های شناسایی نشده بدون پروانه برداشت و یا اضافه برداشت از چاه‌های دارای پروانه در منطقه g The amount of total water extracted from unauthorized wells unidentified or Extra water extracted from licensed wells in region ***g***
20	$wpool_g^t$	میزان آب ذخیره شده در استخرهای ذخیره آب در ماه t در منطقه g The amount of water stored in water pools in month ***t*** in region ***g***
21	pol_g	شمار استخرهای ذخیره آب احداث شده در سناریو مورد بررسی در منطقه g The number of water pools constructed in the scenario under study in region ***g***
22	yex_g^{ggy}	میزان محصولy خارج شده از منطقه g به مقصد gg The amount of production y exported from region ***g*** to region ***gg***
23	yim_g^{ggy}	میزان محصول y وارد شده از منطقه g بهgg The amount of production y imported from region ***g*** to region ***gg***
24	$timf_y$	کل واردات محصول y از خارج از منطقه مورد بررسی به داخل منطقه Total import of production ***y*** from outside of studied regions to inside of studied regions
25	$texf_y$	کل صادرات محصول y از داخل منطقه مورد بررسی به خارج از منطقه Total export of production ***y*** from inside of studied regions to outside of studied regions
26	ex_g^y	میزان کل محصول y خارج شده از منطقه g به دیگر منطقه‌های محدوده مورد بررسی The amount of total production ***y*** exported from region ***g*** to other regions of study
27	exf_g^y	میزان کل محصول y خارج شده از منطقه g به خارج از محدوده مطالعاتی The amount of total production ***y*** exported from region ***g*** to outside of studied regions
28	im_g^y	میزان کل محصول y وارد شده به منطقه g از دیگر منطقه‌های محدوده مورد بررسی The amount of total production ***y*** imported to region ***g*** from other regions of study
29	imf_g^y	میزان کل محصول y وارد شده به منطقه g از خارج از محدوده مورد بررسی The amount of total production ***y*** imported to region ***g*** from outside of studied regions
30	ctotranc	کل هزینه حمل و نقل بین منطقه‌ها Total cost of transportation between regions
31	tci	خالص هزینه واردات Net cost of importation
32	obj	میزان تابع هدف The amount of the objective function

ادامه جدول(۱) نماد متغیرهای مورد استفاده در مدل

Table 1- The symbol for the variables used in the model

ردیف Row	نام متغیر Variable name	توضیحات Description
33	$needwater_g^t$	میزان کل آب مورد نیاز سر کشتزارها و با غ‌ها در ماه t در منطقه g The amount of total water requirements at the head of farms and gardens in month ***t*** in region ***g***
34	$powwf_g^{wf}$	انرژی الکتریکی مصرف شده در هکتار برای انتقال آب آبیاری به روش سنتی به کشتزار محصول پاییزه w در منطقه g Electricity consumed per hectare for transfer water to head farm of traditional irrigated autumn crop ***w*** in region ***g***
35	$powsf_g^{sf}$	انرژی الکتریکی مصرف شده در هکتار برای انتقال آب آبیاری به روش سنتی به کشتزار محصول بهاره s در منطقه g Electricity consumed per hectare for transfer water to head farm of traditional irrigated spring crop ***w*** in region ***g***
36	$powwnf_g^{wp}$	انرژی الکتریکی مصرف شده در هکتار برای انتقال آب آبیاری با سامانه‌های نوین آبیاری به کشتزار محصول پاییزه w در منطقه g Electricity consumed per hectare for transfer water to head farm of modern irrigated autumn crop ***w*** in region ***g***
37	$powsnf_g^{sp}$	انرژی الکتریکی مصرف شده در هکتار برای انتقال آب با سامانه‌های نوین آبیاری به کشتزار محصول یهاره s در منطقه g Electricity consumed per hectare for transfer water to head farm of modern irrigated spring crop ***w*** in region ***g***
38	$powerpool_g$	انرژی الکتریکی مصرف شده برای انتقال آب از استخرهای ذخیره به کشتزارها در منطقه g Electricity consumed for transfer water from pools to head farms in region ***g***
39	$totalpowerg_g$	کل انرژی الکتریکی مصرف شده برای انتقال آب به کشتزارهای گیاهان مورد بررسی در منطقه g Total electricity consumed for transfer water to head farm of studied crops in region ***g***
40	*totalpowert*	کل انرژی الکتریکی مصرف شده برای انتقال آب به مزارع در مدل Total electricity consumed for transfer water to head farms in model
41	$cost_g^k$	هزینه در هکتار محصول y در منطقه g Cost per hectare of production ***y*** in region ***g***
42	$wellcoef_g^t$	درصد آب چاه استفاده شده برای آبیاری در ماه t در منطقه g The percentage of well water used for irrigation in month ***t*** in region ***g***
43	xs_g	سطح زیر کشت گیاهان بهاره در منطقه g The cultivated area of spring crops in region ***g***
44	xw_g	سطح زیر کشت گیاهان پاییزه در منطقه g The cultivated area of autumn crops in region ***g***

ادامه جدول(۱) نماد متغیرهای مورد استفاده در مدل

Table 1- The symbol for the variables used in the model

ردیف Row	نام متغیر Variable name	توضیحات Description
45	xf_g	سطح زیر کشت گیاهان آبیاری شده به روش سنتی در منطقه g The cultivated area of traditional irrigated crops in region ***g***
46	xp_g	سطح زیر کشت گیاهان آبیاری شده به روش آبیاری نوین در منطقه g The cultivated area of modern irrigated crops in region ***g***
47	$coefland_g$	درصد استفاده از زمین‌های آیش برای افزایش سطح زیر کشت با آب مازاد در منطقه g The percentage of fallow land used for increasing the area under cultivation with surplus water in region ***g***

Source: Research data

منبع: داده‌های تحقیق

جدول (۲) نماد فراسنجه‌های مورد استفاده در مدل

Table 2- The symbol of the parameters used in the model

ردیف Row	نام فراسنجه Parameters name	توضیحات Description
1	PX_g^k	قیمت محصول k در منطقه g Price of production ***k*** in region ***g***
2	CX_g^k	کل هزینه در هکتار به غیر از هزینه آب محصول k در منطقه g Total cost per hectare of production ***k*** in region ***g*** except water cost
3	$sdcx_g^k$	انحراف معیار هزینه در هکتار محصول k در منطقه g Standard deviation of cost per hectare of production ***k*** in region ***g***
4	pw_g	قیمت هر کیلووات ساعت انرژی برق Electricity Price of one kilowatt hour
5	$ctranc_g^{y\,gg}$	هزینه انتقال هر واحد محصول y از منطقهg به gg The transfer cost per unit of production ***y*** from region ***g*** to region ***gg***
6	ci_y	هزینه واردات هر واحد محصول y به محدوده مطالعاتی The import cost per unit of production ***y*** to studied regions
7	ie_y	درآمد هر واحد محصول y برای صادرات به خارج از محدوده مطالعاتی The income per unit of production ***y*** for export to outside of studied regions
8	l_g	گستره کل زمین موجود در منطقه g برای کشت گیاهان زراعی Total available land in region ***g*** for crops
9	i_g	درصدی از زمین که تنها در فصل زمستان کشت می‌شود Percent of the land that can be cultivated only in winter
10	a_g^{tk}	میزان نیاز خالص آبیاری گیاه k در منطقه g و در ماه t The amount of net irrigation needs of crop ***k*** in region ***g*** in month ***t***
11	$iw31_g^t$	میزان کل آب قابل استحصال از چاه های دارای پروانه برداشت در ماه t در منطقه g The amount of total available water from licensed wells in month ***t*** in region ***g***

ادامه جدول (۲) نماد فراسنجه‌های مورد استفاده در مدل

Table 2- The symbol of the parameters used in the model

ردیف Row	نام فراسنجه Parameters name	توضیحات Description
12	$iw32_g^t$	میزان کل آب قابل استحصال از چاه های بدون پروانه برداشت در ماه t در منطقه g The amount of total available water from unauthorized wells in month ***t*** in region ***g***
13	iri_g^t	کل آب در دسترس از منابع سطحی در در ماه t در منطقه g The amount of total available water from surface water resources in month ***t*** in region ***g***
14	$iw4_g^t$	میزان کل آب برداشت شده از چاه‌های فاقد پروانه شناسایی نشده و یا اضافه برداشت از چاه‌های دارای پروانه در ماه t در منطقه g The amount of total water extracted from unauthorized wells unidentified or Extra water extracted from licensed wells in month ***t*** in region ***g***
15	$watb_g^t$	میزان آب استفاده شده برای آبیاری باغ‌ها در ماه t در منطقه g The amount of water used for irrigation garden in month ***t*** in region ***g***
16	$wats_g^t$	میزان آب استفاده شده برای آبیاری دیگر گیاهان زراعی در منطقه g و در ماه t The amount of water used for irrigation other crops in month ***t*** in region ***g***
17	kw_g^t	ضریب کم آبیاری گیاهان کشت پاییزی در منطقه g و در ماه t Low irrigation coefficient of autumn crops in month ***t*** in region ***g***
18	ks_g^t	ضریب کم آبیاری گیاهان کشت بهاری در منطقه g و در ماه t Low irrigation coefficient of spring crops in month ***t*** in region ***g***
19	$def0_g$	میزان کسری مخزن در حالت تعادل کنونی در منطقه g The amount of aquifer deficit in the current equilibrium in region ***g***
20	$ext0_g$	میزان خالص برداشت از آب‌های زیرزمینی توسط چاه‌های کشاورزی در وضعیت کنونی در منطقه g Net extraction from groundwater by agricultural wells in the current situation in region ***g***
21	rtr_g	بازده انتقال و توزیع آب آبیاری در منطقه g Conveyance and distribution irrigation water efficiency in region ***g***
22	rf_g	بازده مصرف آب آبیاری در زراعت در روش آبیاری کرتی در منطقه g Irrigation application efficiency in traditional irrigated crops in region ***g***
23	rnf_g	بازده مصرف آب آبیاری در زراعت در روش آبیاری نوین در منطقه g Irrigation application efficiency in modern irrigated crops in region ***g***
24	$k3_g$	ضریب نفوذ آب هدر رفته به مخازن زیرزمینی در مرحله انتقال و توزیع در منطقه g Penetration coefficient of waste water to aquifer in conveyance and distribution step in region g
25	$k4_g$	ضریب نفوذ آب هدر رفته به مخازن زیرزمینی در مرحله مصرف در منطقه g Penetration coefficient of waste water to aquifer in irrigation application step in region g
26	xof_g	سطح زیر کشت دیگر گیاهان زراعی به روش آبیاری کرتی در منطقه g The cultivated area of other traditional irrigated crops in region ***g***

ادامه جدول (۲) نماد فراسنجه‌های مورد استفاده در مدل

Table 2- The symbol of the parameters used in the model

ردیف Row	نام فراسنجه Parameters name	توضیحات Description
27	$xonf_g$	سطح زیر کشت دیگر گیاهان زراعی به روش آبیاری مدرن در منطقه g The cultivated area of other modern irrigated crops in region ***g***
28	xbf_g	سطح زیر کشت دیگر گیاهان باغی به روش آبیاری کرتی در منطقه g The cultivated area of other traditional irrigated orchards in region ***g***
29	$xbnf_g$	سطح زیر کشت دیگر گیاهان باغی به روش آبیاری مدرن در منطقه g The cultivated area of other modern irrigated orchards in region ***g***
30	$pool0_g$	حجم استخر ذخیره آب در وضعیت کنونی در منطقه g The volume of the reserve pool of water in the current situation in region ***g***
31	b_g^k	عملکرد در هکتار گیاه زراعی k در منطقه g Yield per hectare of crop ***k*** in region ***g***
32	b_g^y	میزان کل نیاز مصرفی به محصول y در منطقه g The total amount of consumption need to production ***y*** in region ***g***
33	$tydry_g^y$	میزان کل تولید محصول y به روش دیم کاری در منطقه g The total amount of production ***y*** in region ***g*** by dry farming method
34	$bland_g^k$	میزان کنونی سطح زیر کشت کشاورزان برای محصول k در منطقه g The farmer's current cultivated area of crop ***k*** in region ***g***
35	bf_g	سطح آیش در منطقه g The amount of fallow area
36	d_r	ضریب افزایش قیمت انرژی به r برابر قیمت کنونی The coefficient of increasing the price of energy to ***r*** times of current price
37	lab_g^k	میزان اشتغال مستقیم هر هکتار گیاه k در منطقه g Direct employment per hectare of crop ***k*** in region ***g***
38	$addnf_g$	میزان تغییر مجاز سطح زیرکشت گیاهان زراعی از روش آبیاری کرتی به روش آبیاری نوین در منطقه g The amount of permissible variation of cultivated area of crops from traditional irrigation method to modern irrigation method in region ***g***
39	$addbnf_g$	میزان تغییر مجاز سطح زیرکشت گیاهان باغی از روش آبیاری کرتی به روش آبیاری نوین در منطقه g The amount of permissible variation of cultivated area of orchards from traditional irrigation method to modern irrigation method in region ***g***
40	costpol	هزینه سالانه احداث استخر با حجم ۴۰۰ متر مکعب The annual cost of building a pool with a volume of 400 cubic meters
41	$b1_g^{eyp}$	عملکرد در هکتار گیاه k در سامانه‌های نوین آبیاری با ضریب e در منطقه g Yield per hectare of modern irrigated crop ***k*** with coefficient ***e*** in region ***g***
42	b_g^f	بازده مصرف آب آبیاری در سامانه‌های نوین آبیاری با ضریب f در منطقه g Irrigation application efficiency in modern irrigation systems with coefficient ***f*** in region ***g***
43	b_g^h	بازده انتقال و توزیع آب آبیاری با ضریب h در منطقه g Conveyance and distribution irrigation water efficiency with coefficient ***h*** in region ***g***

ادامه جدول (۲) نماد فراسنجه‌های مورد استفاده در مدل

Table 2- The symbol of the parameters used in the model

ردیف Row	نام فراسنجه Parameters name	توضیحات Description
44	$totalblandp_g$	گستره کل سطح زیر کشت آبیاری نوین در منطقه g در وضعیت فعلی Total modern irrigated cultivated area in current situation in region ***g***
45	*ca*	ظرفیت استخر ذخیره آب The capacity of a reserve pool of water
46	*pow*	میزان مصرف انرژی توسط الکتروپمپ چاه برای هر متر مکعب آب The amount of energy consumed by the electro pump of well for each cubic meter of water
47	*pownf*	میزان مصرف انرژی توسط الکترو پمپ سامانه‌های نوین برای هر متر مکعب آب The amount of energy consumed by the electro pump of modern irrigation systems for each cubic meter of water
48	*powpool*	میزان مصرف انرژی توسط الکترو پمپ استخر ذخیره برای هر متر مکعب آب The amount of energy consumed by the electro pump of the reserve pool of water for each cubic meter of water
49	*n*	بیشترین نسبت سطح زیر کشت گیاهان پاییزی به بهاره The highest ratio of spring planting to autumn
50	*n2*	کمترین نسبت سطح زیر کشت گیاهان پاییزی به بهاره The lowest ratio of spring planting to autumn

منبع: داده‌های تحقیق Source: Research data

برای رعایت اختصار به شمار معدودی از رابطه‌ها اشاره می‌شود.

رابطه (۳) بیانگر تابع سود می‌باشد که شامل متغیرهای میزان تولید، سطح زیر کشت و کل مصرف برق و فراسنجه‌های قیمت محصول، هزینه در هکتار به غیر از هزینه برق و قیمت برق است. تابع سود به شرط رعایت محدودیت های مدل بیشینه می‌شود.

$$\text{Max: } \pi = \sum_g \sum_k \left(PX_g^k \; YX_g^k\right) - \sum_g \sum_k \left(CX_g^k \; X_g^k\right) - \sum_g \left(PW_g \; Totalpowerg_g\right) \qquad (۳)$$

رابطه(۴) میزان مصرف انرژی(کیلووات در هکتار) را برای گیاهان پاییزه و تحت روش آبیاری نوین نشان می‌دهد. همانند این رابطه‌ها برای گیاهان بهاره و روش آبیاری کرتی نیز تهیه شد.

$$powwnf_g^{wp} = \sum_t (kw_g^t\, a_g^{twp})/(pow\ rtr_g\ rf_g\ wellcoeff_g^t) + \sum_t (kw_g^t\, a_g^{twp}) / (pownf\ \ rtr_g\ rnf_g) \qquad \forall\ g, wp \tag{۴}$$

رابطه (۵) میزان آب مورد نیاز سر کشتزار در ماه‌های مختلف در شهرستان‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

$$ra_g\ needwater_g^t = \sum_w kw_g^t\ a_g^{tw} X_g^w + \sum_s ks_g^t\ a_g^{ts} X_g^s + \sum_{wp} kw_g^t\ a_g^{tw} X_g^{wp} + \sum_{sp} ks_g^t\ a_g^{ts} X_g^{sp} + wats_g^t + watb_g^t \qquad \forall\ g,t \tag{۵}$$

میزان کل آب استخراج شده از چاه‌های کشاورزی مجاز و غیر مجاز، پس از کسر آب تامین شده از دیگر منابع مانند رودخانه، چشمه و قنات، از رابطه (۶) و محدودیت آب در دسترس در رابطه (۷) بیان شده است. در این رابطه امکان انتقال آب به دوره بعدی با ذخیره‌سازی فراهم شده است.

$$w5_g = tw31_g + tw32_g + tw4_g \qquad \forall g \tag{۶}$$

$$needwater_g^t + wpool_g^t - wpool_g^{t-1} \le tw_g^t\ rtr_g \qquad \forall g, t \tag{۷}$$

میزان نفوذ آب به منابع آب زیرزمینی در مرحله انتقال از رابطه (۸) و در مرحله مصرف از رابطه (۹) و میزان کسری مخزن پس از اجرای سناریوها از رابطه (۱۰) برآورد شده است.

$$d1_g = k3_g\ w5_g\left(1-rtr_g\right) \qquad \forall g \tag{۸}$$

$$d2_g = k4_g\ w5_g\ rtr_g\left(1-ra_g\right) \qquad \forall g \tag{۹}$$

$$def_g = def0_g + \left(\left(w5_g - d1_g - d2_g\right) - ext0_g\right) \qquad \forall g \tag{۱۰}$$

معادله (۱۱) تعادل بین تولید، مصرف و واردات و صادرات بین ناحیه‌ای و بیرون از ناحیه را نشان می‌دهد.

$$yyx_g^y - tn_g^y + im_g^y + imf_g^y - ex_g^y - exf_g^y = 0 \qquad \forall\ g, y \tag{۱۱}$$

سناریوهای مورد بررسی شامل:

الف: افزایش قیمت آب تا حد تعادل در آب‌های زیرزمینی.

ب: افزایش بازده آبیاری

بازده در سامانه‌های آبیاری شامل بازده انتقال، توزیع و کاربرد می‌باشد. نسبت آب ابتدای آبراهه‌های توزیع در سر کشتزار به آب استخراج شده از منبع آبی مانند چاه، بازده انتقال؛ نسبت آب وارد شده به کرت‌ها و مزارع به آب ابتدای آبراهه‌های توزیع بازده توزیع؛ و نسبت نیاز آبی گیاه به آب وارد شده به کشتزار بازده کاربرد و حاصل ضرب آنها بازده کل نام دارد. بازده کاربرد به نوع سامانه آبیاری و مدیریت بکارگیری ابزار بستگی دارد. بنابراین افزایش بازده آبیاری می‌تواند از راه سرمایه‌گذاری در آبراهه‌های انتقال و توزیع و همچنین سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری در سر کشتزار(برای افزایش بازده مصرف) صورت گیرد. بازده مصرف در سامانه‌های نوین آبیاری با توجه به نوع آنها و نوع مدیریتی که اعمال می‌شود به طور میانگین تا ۸۵ درصد قابلیت افزایش دارد(عباسی و همکاران، ۲۰۱۵). بنابراین در اینجا سه زیر سناریو بررسی خواهد شد که شامل: ۱- افزایش بازده انتقال آبیاری با سرمایه‌گذاری در تاسیسات انتقال آب و افزایش بازده مصرف با بهبود مدیریت در بهره‌برداری از سامانه‌های نوین موجود بدون افزایش سطح زیر کشت. ۲- اجرای زیر سناریو اول به همراه تجهیز مزارع با سامانه آبیاری سنتی به سامانه‌های نوین آبیاری بدون محدودیت در کل سطح زیر کشت.۳- اجرای زیرسناریو اول و جایگزینی سامانه آبیاری نوین به جای روش سنتی تا حد پتانسیل منطقه (بدون افزایش کل سطح زیر کشت). از آنجا که سامانه‌های نوین آبیاری می‌تواند با افزایش عملکرد همراه باشد لذا هر یک از این زیرسناریوها در ترکیب با افزایش عملکرد در هکتار، در مجموع در قالب ۲۴ زیر سناریو دیگر بررسی شد. ویژگی‌های زیرسناریوها در جدول (۳) ذکر شده است. دامنه افزایش عملکرد در سامانه‌های آبیاری نوین بین ۱۰ تا ۴۰ درصد بوده که درگیاهان مختلف متفاوت گزارش شده است(عباسی و همکاران، ۲۰۱۵). در این بررسی افزایش عملکرد در زمین‌های مجهز به این سامانه‌ها به طور میانگین ۲۰ درصد در نظر گرفته شد و حساسیت مدل به این متغیر، بین ۱۰ درصد تا ۴۰ درصد افزایش عملکرد ارزیابی شد. برآورد بازده انتقال و توزیع آب یکی از فراسنجه‌های مهم مدل می باشد. برای محاسبه هدررفت آب در جوی‌های انتقال آب رابطه‌های چندی به صورت تجربی و محاسباتی پیشنهاد شده است که روش دیویس- ویلسون از روش‌های معروف می‌باشد. در این روش میزان نشت به عمق آب در آبراهه، محیط خیس شده آب، سرعت آب و یک ضریب ثابت که بسته به بافت خاک بین ۱۵ تا ۲۵ است، بستگی دارد. از آنجا که برای تعیین میزان نشتی آب از آبراهه‌های خاکی نیاز به انجام طرح‌های آزمایشی برای همه کانال‌ها می‌باشد و انجام این کار بسیار هزینه‌بر و

زمان بر است، لذا برای برآورد میزان نشت از کانال در واحد طول از نتایج بررسی‌های سالمی و سپاسخواه(۲۰۰۶) استفاده شد. بر این پایه بازده انتقال شبکه‌های سیمانی نیز ۹۲ درصد در نظر گرفته شد. و با استفاده از رابطه (۱۲) میزان بازده انتقال و توزیع کنونی بر پایه نوع و طول آبراهه‌های انتقال آب و دبی ورودی برای ۳۱۳۶ حلقه چاه برآورد شد.

$$O_J=I_j \frac{\sum_{i=1}^{9} (I_i-\left(L_j*\frac{K_i}{3600*24}\right))/I_i}{9} \qquad (۱۲)$$

در این رابطه

Oj میزان دبی خروجی (لیتر بر ثانیه) آب چاه jام از آبراهه خاکی به طول Lj (متر)،

Ij میزان دبی آب چاه در ابتدای آبراهه خاکی،

Ii میزان دبی ورودی به آبراهه در طرح آزمایشی با بافت خاکی i (طبق جدول ۳) ،

Ki میزان نشتی آب از آبراهه در طرح آزمایشی با بافت خاکی i ، می‌باشد.

برای محاسبه هزینه اجتماعی ناشی از اجرای سیاست‌ها، خالص تغییرهایی که در هزینه و سودمندی‌های دولت، کشاورزان و همچنین تجارت خارجی و حمل و نقل ایجاد می‌شود در صورت مثبت بودن با عنوان سودمندی‌ها و در صورت منفی بودن با عنوان هزینه اجتماعی در نظر گرفته شد. هزینه های دولت شامل یارانه تاسیسات آبیاری، و درآمد دولت شامل افزایش بهای انرژی می‌باشد خالص این تغییرها به شرح زیر محاسبه شد.

$$NSBC=\pi_b-\pi_a+PW_b*TPOW_b-PW_a*TPOW_a-CGOW_b+CGOW_a-TCI_b+TCI_a-CTRNC_b+CTRNC_a \qquad (۱۳)$$

در این رابطه NSBC خالص هزینه یا سودمندی‌های اجتماعی، اندیس‌های a و b به ترتیب بیانگر ارزش متغیر در پیش و پس از اجرای سیاست، π ارزش تابع هدف، PW قیمت هر کیلووات برق مصرفی، TPOW میزان کل برق مصرف شده،CGOW یارانه دولت برای تاسیسات آبیاری، TCI خالص ارزش واردات محصول‌ها و CTRNC هزینه حمل و نقل محصول‌های مورد بررسی می‌باشد. قیمت برق برون‌زا بوده و ارزش دیگر متغیرها توسط مدل تعیین می‌شود. از تقسیم تغییر سودمندی‌های اجتماعی به میزان آب صرفه‌جویی شده هزینه اجتماعی هر متر مکعب به دست می‌آید. به همین ترتیب، خالص تغییر درآمد و تغییر هزینه‌های کشاورزان ناشی از کاربرد سامانه‌های جدید

نیز هزینه‌های کشاورزان را تشکیل می‌دهد که از تقسیم آن بر آب صرفه جویی شده هزینه کشاورزان برای اجرای یک سیاست حاصل می‌شود. لازم به یادآوری است که هزینه کشاورزان در سیاست افزایش قیمت انرژی در تابع هدف مستتر است.

جدول (۳) ویژگی‌های سناریوهای افزایش بازده آبیاری

Table 3- Features of increasing irrigation efficiency scenarios

شهرستان City	افزایش راندمان انتقال و توزیع Increase transmission and distribution efficiency		افزایش راندمان مصرف Increasing the applying efficiency			اقزایش ضریب عملکرد Increasing yield coefficient				پتانسیل افزایش سطح زیر کشت سیستمهای نوین آبیاری Potential of increasing the modern irrigated cultivated area		طول لوله انتقال (کیلومتر) Transmission tube length (Km)
	میزان کنونی Current amount (H۰)	میزان سناریو Scenario amount (H۱)	میزان کنونی Current amount (F۰)	میزان سناریو Scenario amount (F۱)	میزان سناریو Scenario amount (F۲)	میزان کنونی Current amount (E۰)	میزان سناریو Scenario amount (E۱)	میزان سناریو Scenario amount (E۲)	میزان سناریو Scenario amount (E۳)	زرراعی crops	باغی orchard	
تربت جام Torbat-e-jam	0.73	0.95	0.666	0.75	0.85	1.2	1.1	1.3	1.4	8337	2277	3057
تربت حیدریه Torbat-e-heidarieh	0.78	0.95	0.666	0.75	0.85	1.2	1.1	1.3	1.4	5460	2664	2371
سبزوار Sabzevar	0.55	0.95	0.666	0.75	0.85	1.2	1.1	1.3	1.4	13332	2010	365
مشهد Mashhad	0.68	0.95	0.666	0.75	0.85	1.2	1.1	1.3	1.4	13468	2071	939
نیشابور Neyshabour	0.71	0.95	0.666	0.75	0.85	1.2	1.1	1.3	1.4	21802	642	582

منبع: داده‌های تحقیق Source: Research data

نتایج و بحث:

جدول(۴) وضعیت برداشت آب از حوزه‌های آبریز منطقه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در مصرف آب کشاورزی بیشترین کسری مخزن متعلق به حوزه فریمان- تربت جام به میزان ۳۳ درصد از مصرف بخش کشاورزی می‌باشد. حدود ۷۴ درصد از برداشت آب کشاورزی از این حوزه در شهرستان تربت جام قرار دارد و میزان کسری مخزن در این شهرستان ۳۲ درصد از کل آب‌های برداشتی در این شهرستان است. نتایج بررسی تاثیر سیاست‌های مورد بررسی به شرح زیر است.

الف-تاثیر سیاست قیمتی

با توجه به اینکه کشاورزان برای آب هزینه ای پرداخت نمی‌کنند برای افزایش قیمت آب، هزینه برداشت آب افزایش پیدا کرد. لذا افزایش قیمت آب با افزایش قیمت انرژی انجام شد(شاه و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج تاثیر افزایش غیر مستقیم قیمت آب روی کاهش کسری مخزن در شکل (۲) دیده می‌شود. محور افقی ضریب افزایش قیمت را نشان می‌دهد به طوری که عدد ۲ به معنی افزایش قیمت به دو برابر قیمت اولیه است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش قیمت در میزان‌های متعارف (به طور مثال دو یا سه برابر قیمت کنونی) کاهش مصرف آب بسیار جزیی خواهد بود و تنها با افزایش قیمت انرژی به چهار برابر قیمت کنونی امکان مثبت شدن تراز برداشت آب از آب‌های زیرزمینی (در شهرستان سبزوار) میسر می‌شود. البته این شهرستان از نظر عددی کمترین کسری مخزن را دارد(۴۱ میلیون متر مکعب). در شهرستان تربت حیدریه با افزایش قیمت به ۱۰ برابر تنها ۱۳ درصد از کسری مخزن کاهش یافته و افزایش قیمت آب به ۱۸ برابر قیمت اولیه، تراز برداشت آب را مثبت می‌کند. در شهرستان تربت جام که با ۱۱۹ میلیون متر مکعب بیشترین کسری مخزن را دارد، اولین کاهش کسری مخزن در افزایش قیمت به دو برابر قیمت اولیه رخ می‌دهد و کسری مخزن را ۰/۲۵ درصد کاهش می‌دهد. با افزایش قیمت از ۲۱ به ۲۲ برابر قیمت اولیه امکان مثبت شدن تراز برداشت آب از آب‌های زیرزمینی این شهرستان فراهم می‌شود. این میزان برای شهرستان نیشابور و مشهد به ترتیب ۹ و ۲۴ برابر و به طور میانگین ۱۳ برابر است. از اینجا نخستین مشکل سامانه قیمت گذاری مشخص می‌شود و آن هم لزوم اعمال سیاست تبعیض قیمت به جای قیمت‌های یکسان برای همه منطقه‌ها است که اجرای آن در عمل غیر ممکن است.

جدول (۴) میزان برداشت آب و کسری مخزن در حوزه‌های مورد بررسی هزار مترمکعب

Table 4- the amount of water extraction and aquifer deficit in the studied basins Thousand cubic meters

شهرستان City	حوزه ها Basins	کل Total	صنعت Industry	آشامیدنی Drinking	کشاورزی Agriculture	میزان کسری مخزن Amount of aquifer deficit	سهم بخش کشاورزی از کسری مخزن حوزه Share of agricultural sector in the aquifer deficit of basin: میزان quantity	سهم بخش کشاورزی از کسری مخزن حوزه Share of agricultural sector in the aquifer deficit of basin: درصد percent	درصد کسری مخزن از کل برداشت Percentage of aquifer deficit from total extraction	سهم شهرستان از آب کشاورزی حوزه آبی-درصد Share of city from agricultural water of basin-percent	کل برداشت چاه‌های کشاورزی شهرستان Total extraction of city agricultural wells	سهمیه چاه‌های کشاورزی از کسری مخزن Share of agricultural wells from aquifer deficit
سبزوار Sabzevar	داورزن davarzan	60271	1033	2665	56573	6260	5876	93.9	10	11	249657	41347
	سبزوار Sabzevar	208802	5396	26391	177015	40140	34029	84.8	19	87.7		
	عطائیه Ataeiyeh	107468	3066	1482	102921	13080	12527	95.8	12	74.3		
	سنگرد-قلعه میدان* Sangard-ghale_meydan	27461	47	2055	25358	3342	3086	92.3	12	43.3		
	جوین jovein	512781	5309	11518	495954	151670	146693	96.7	30	0.1		

ادامه جدول (۴) میزان برداشت آب و کسری مخزن در حوزه‌های مورد بررسی هزار مترمکعب

Table 4- the amount of water extraction and aquifer deficit in the studied basins Thousand cubic meters

نیشابور Neyshabour	عطائیه Ataeiyeh	107468	3066	1482	102921	13080	12527	95.8	12	24.3	517113	107852
	نیشابور Neyshabour	674005	9266	34776	629964	144700	135245	93.5	21	70.5		
	رخ Rokh	175737	688	5186	169864	45290	43776	96.7	26	18.9		
	مشهد – چناران Mashhad–Chenaran	847371	54835	268737	523800	95350	58940	61.8	11	0.1		
	ینگجه Yengejeh	17817	52	1128	16636	1340	1251	93.4	8	94.6		
مشهد Mashhad	نیشابور Neyshabour	674005	9266	34776	629964	144700	135245	93.5	21	9.6	489931	63057
	آق دربند* Agh darband	1331	59	8	1264	159	151	95.0	12	18.5		
	نریمانی Narimani	136864	2632	3314	130918	16530	15812	95.7	12	99.6		
	مشهد Mashhad	847371	54835	268737	523800	95350	58940	61.8	11	55.6		
	کلات نادری Kalat naderi	7554	886	1236	5432	0	0	۰	0	3.9		
	سنگ بست* Sang bast	38013	1434	2165	34415	7875	7130	90.5	21	22.0		

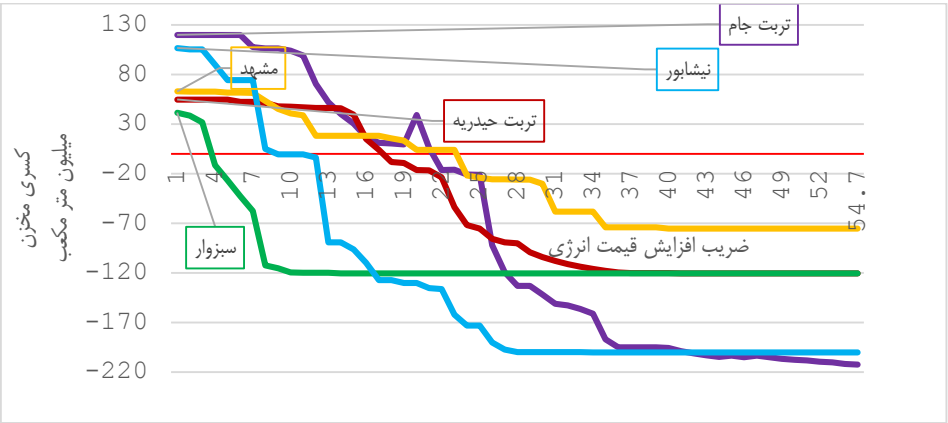
ادامه جدول (۴) میزان برداشت آب و کسری مخزن در حوزه‌های مورد بررسی هزار مترمکعب

Table 4- the amount of water extraction and aquifer deficit in the studied basins Thousand cubic meters

تربت جام Torbat-e-jam	آق دربند* Agh darband	1331	59	8	1264	159	151	95.0	12	68.6		
	صالح آباد-جنت آباد Saleh abad-Jannat abad	15813	73	1459	14281	1880	1698	90.3	12	99.8	372478	119771
	فریمان-تربت جام Fariman- Torbat-e-jam	515865	6078	25606	484181	170300	159840	93.9	33	73.8		
تربت حیدریه Torbat-e-heidarieh	ازغند Azghand	37614	978	6782	29853	8130	6453	79.4	22	8.1		
	رشتخوار Roshtkhar	153487	1950	5885	145652	28580	27121	94.9	19	25.3		
	زاوه-تربت حیدریه Zaveh - Torbat-e-heidarieh	178785	4923	19646	154216	40490	34926	86.3	23	18.6	235727	55624
	رخ Rokh	175737	688	5186	169864	45290	43776	96.7	26	78.4		
	نیشابور Neyshabour	674005	9266	34776	629964	144700	135245	93.5	21	5.5		
	استان Province	5475000	-	-	4861909	1117600	992451.0499	۸.۸۸	20	-	-	

منبع: شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی-مدیریت مطالعات پایه منابع آب-گروه تلفیق و بیلان- * میزان‌های کسری مخزن برآوردی است

Source: Khorasan Razavi regional water company-Management of water resources basic studies - Integration and balance sheet group – The Amount of aquifer deficit is estimate.



شکل(۲) تاثیر افزایش قیمت آب بر کاهش کسری مخازن زیرزمینی در شهرستان‌های مورد بررسی

Figure2- The effect of water price increase on reducing the deficit of underground reservoirs in the studied cities

افزایش قیمت آب منجر به ایجاد درآمد برای دولت شده، اما هزینه‌های تولید کشاورزان را افزایش می‌دهد. بنابراین با توجه به کاهش تولید برخی محصول‌های کشاورزی، در صورتی که بخواهیم ضمن حفظ تاثیر این سیاست، از مصرف کنندگان نیز حمایت شود، ناچار به واردات خواهیم بود. به طوری که میزان واردات، خلا کاهش تولید را پر کرده و مانع افزایش قیمت شود. لذا هزینه‌ها و سودمندی‌های این سیاست شامل افزایش درآمد دولت، کاهش درآمد کشاورزان ناشی از افزایش هزینه‌های تولید و کاهش سطح زیر کشت، هزینه تغییر خالص تجارت خارجی و تغییر هزینه‌های حمل و نقل می‌باشد. که برآیند آنها در جدول(۵) آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تاثیر این افزایش قیمت در آغاز بر کاهش سودمندی‌های اجتماعی کم بوده ضمن اینکه بر کسری مخزن نیز تاثیر کمی دارد، اما با افزایش قیمت آب، این تاثیر نیز زیاد شده به طوری که در ضریب قیمت ۲۴، بیش از صد درصد است. افزایش قیمت با ضریب ۱۳ اگر چه کسری مخزن در برخی شهرستان ها را صفر نمی‌کند اما جمع جبری کسری مخزن شهرستان‌ها صفر می‌شود. در این نقطه، ۶۳ درصد از درآمد کشاورزان و در مجموع ۵۰ درصد از سودمندی‌های اجتماعی کاهش می‌یابد.

جدول (۵) تاثیر افزایش قیمت آب بر تغییر خالص سودمندی‌های اجتماعی درصد

Table 5- The effect of increasing water prices on the net change in social benefits Percent

مولفه‌های اقتصادی Economic component	ضریب افزایش قیمت آب Coefficient of water price increase									
	4	5	9	10	13	15	18	20	22	24
تغییر درآمد کشاورزان Farmers Income change	-19	-25	-45	-50	-63	-71	-81	-87	-93	-98
تغییرهزینه تجارت خارجی(درصد) Changing the cost of foreign trade (percentages)	2	4	14	16	23	25	34	39	51	60
تغییر هزینه حمل ونقل Changing the cost of transportation	0.5	0.1	0.2	-2	-6	16	-3	-13	-8	-12
تغییرخالص سودمندی‌های اجتماعی Changing the net social benefits	-4.7	-8.4	-29.2	-32	-50	-55	-75	-86	-110	-132

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research finding

در مجموع، شهرستان‌ها در حدود ۳۸۵ میلیون متر مکعب در سال کسری مخزن دارند. با افزایش ۱۳ برابری قیمت آب، هزینه حفاظت از منابع آب زیرزمینی برای هر متر مکعب ۵۷۵۰ ریال بوده که ۵۰۲۰ ریال آن را کشاورزان متحمل می‌شوند. لذا این سیاست در تضاد آشکار با سیاست حمایت از کشاورزان است(جدول۶). نتیجه بررسی اوهب یزدی و احمدی(۲۰۱۶) نیز نشان داد، با افزایش هم‌زمان قیمت آب و دادن یارانه برای سامانه‌های نوین آبیاری، می‌توان ضمن افزایش ارزش اقتصادی آب، باعث افزایش درآمد کشاورزان شده و تاثیر معنی‌دار بر کاهش مصرف آب داشت.

جدول (۶) هزینه محافظت از هر متر مکعب از آب‌های زیرزمینی ده ریال

Table 6- The cost of protecting each cubic meter of groundwater Ten Rials

مولفه های اقتصادی Economic component	ضریب افزایش قیمت آب Coefficient of water price increase									
	4	5	9	10	13	15	18	20	22	24
هزینه اجتماعی Social cost	-373	-459	-537	-567	-575	-598	-680	-780	-897	-923
هزینه کشاورزان Farmers cost	-1018	-918	-573	-608	-502	-523	-500	-543	-521	-469

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research finding

ب: افزایش بازده آبیاری

افزایش بازده آبیاری از جمله روش‌هایی است که اگرچه توسط صاحب نظران توصیه می‌شود اما منتقدانی نیز دارد. لذا توصیه آن با شرط‌هایی همراه است. جدول (۷) تاثیر این سیاست را در شرایط بدون تغییر سطح زیرکشت و تنها در شرایط افزایش سرمایه‌گذاری در تاسیسات انتقال و توزیع (افزایش بازده) و همچنین بهبود مدیریت در تاسیسات کنونی سامانه‌های نوین آبیاری نشان می‌دهد(زیر سناریوی اول). همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش بازده انتقال و توزیع در مجموع ۸۳ درصد از کسری مخزن جبران می‌شود و با افزایش بازده مصرف به ۸۵ درصد (ردیف ۵)، ۲۷ درصد کاهش کسری مخزن رخ می‌دهد. در اینجا افزایش عملکرد در هکتار (E2 و E3) تنها بر ارزش اقتصادی این سیاست موثر می‌باشد.

جدول (۷) تاثیر اجرای سناریوهای افزایش بازده آبیاری بر تغییر کسری مخزن درصد

Table 7- The effect of implementation of irrigation efficiency increase scenarios on Aquifer deficit change percent

ردیف Row	سناریوها scenarios			تربت جام Torbat-e-jam	تربت حیدریه Torbat-e-heidarieh	سبزوار Sabzevar	مشهد Mashhad	نیشابور Neyshabour	کل Total
1	H0	F0	E0	0	0	0	0	0	0
2	H1	F0	E0	-54	-44	-95	-159	-86	-83
3	H0	F1	E0	-12	-14	-7	-17	-13	-13
4	H1	F1	E0	-64	-58	-101	-172	-97	-94
5	H0	F2	E0	-25	-30	-15	-36	-27	-27
6	H1	F2	E0	-76	-72	-108	-188	-109	-106

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research finding

نتیجه ارزیابی اقتصادی این سناریو از دید کشاورزان(هزینه و سودمندی‌هایی که برای کشاورزان ملموس است) در جدول (۸) آورده شده است. در این جدول سناریوها به صورت متقاطع آورده شده و سهم کشاورزان ۲۵ درصد کل هزینه لوله کشی خطوط انتقال در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در جدول (۸) ملاحظه می‌شود. در حالت پایه (افزایش عملکرد در سامانه‌های نوین ۲۰ درصد، E_0)، و با افزایش بازده انتقال و توزیع (تبدیل آبراهه‌های خاکی به لوله، H_1) و بدون افزایش سطح زیرکشت، (ردیف اول) هزینه کشاورزان ۳۰۰ ریال و هزینه‌های اجتماعی ۷۰۰ ریال برای هر مترمکعب آب صرفه جویی شده خواهد بود. در مقایسه با سناریوی افزایش قیمت آب، هزینه‌های اجتماعی

سناریو افزایش بازده آبیاری بسیار کمتر است. به طور مثال در حالی که در سناریو (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 داشته‌اند 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 صرفه جویی آب ۱۰۰ ریال است؛ اما در سناریو افزایش قیمت به ۱۳ برابر که با کاهش سطح زیر کشت هم همراه بوده، هزینه اجتماعی حذف کسری مخزن، ۵۷۵۰ ریال به دست آمده است. بازده مصرف در سامانه‌های کرتی پایین‌تر از آبیاری تحت فشار بوده و به طور میانگین ۵۳/۶ می‌باشد. تغییر سامانه آبیاری کشتزارهای کرتی به سامانه‌های نوین به طور میانگین بازده آبیاری در مرحله مصرف را به ۶/۶۶ درصد رسانده و با بهبود مدیریت تا ۸۵ درصد قابل ارتقا است.

جدول (۸) تاثیر اقتصادی افزایش بازده آبیاری در شرایط بدون تغییر سطح زیر کشت

Table 8- Economic effect of increasing irrigation efficiency in condition of no change in cultivated area

سناریوها scenarios		جمع هزینه(درآمد) سیاست برای کشاورزان (۱۰میلیون ریال) Total cost (income) of policy for farmers (10 million Rials)		میزان کاهش تراز (میلیون متر مکعب) The amount of groundwater Level reduction (million cubic meters)		هزینه(درآمد) کشاورزان برای هر متر مکعب صرفه جویی آب(۱۰ریال) Farmers' cost (income) per cubic meter of water saving (10 rials)		هزینه(درآمد) خالص اجتماعی هر متر مکعب صرفه جویی آب(۱۰ ریال) Net social cost (income) per cubic meter of water saving (10 Rials)	
		H0	H1	H0	H1	H0	H1	H0	H1
E0	F0	0	-9519	0	-317	-	-30	-	-70
E0	F1	710	7797	-49	-359	14	22	14	-13
E0	F2	1391	8324	-104	-406	13	21	13	-10
E1	F0	-17514	-10296	-3	-319	-6431	-32	-16834	-160
E1	F1	-16814	-9758	-51	-361	-329	-27	-883	-140
E1	F2	-16143	-9238	-105	-407	-153	-23	-423	-123
E3	F0	17692	24945	0	-317	-	79	-	115
E3	F1	18403	25490	-49	-359	375	71	865	103
E3	F2	19084	26016	-104	-406	184	64	415	92
E4	F0	35385	42638	0	-317	-	135	-	243
E4	F1	36095	43182	-49	-359	735	120	1688	216
E4	F2	36776	43708	-104	-406	354	108	804	192

منبع: یافته‌های تحقیق

Source: Research finding

نتایج زیر سناریو دوم در جدول (۹) آمده است. در شرایط بدون افزایش بازده انتقال و توزیع و با افزایش بازده مصرف و افزایش سطح زیر کشت سامانه‌های آبیاری نوین و سنتی، میزان کسری مخازن کاهش می‌یابد (به استثنای تیمارهای عملکردی E0 و E1) که البته ناچیز بوده و در مجموع تا ۹ درصد (۳۳ میلیون متر مکعب) کاهش می‌یابد. در واقع در مواردی که افزایش کسری مخزن رخ داده و یا کاهش ناچیز بوده است، آب‌های صرفه جویی شده به افزایش سطح زیر کشت اختصاص یافته است. به طوری که با افزایش بازده آبیاری، تا ۳۲درصد افزایش سطح زیرکشت رخ خواهد داد. در بهترین حالت و افزایش بازده انتقال، توزیع و مصرف، بیشترین کاهش کسری مخزن ۵۳ درصد خواهد بود(E3F2H1 و E4F2H1)؛ درحالی که در سناریو افزایش بازده بدون تغییر در سطح زیر کشت و نوع سامانه‌ها، کسری مخزن به صفر رسیده و حتی مازاد نیز ایجاد می‌شد(جداول ۸ و ۹). نتایج بررسی واسطه و همکاران(۲۰۱۸) نیز بر استفاده کشاورزان از آب صرفه جویی شده برای افزایش سطح زیر کشت نیز تاکید دارد. بررسی‌های علیزاده و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان داده، با جایگزینی ۱۰ درصدی سامانه‌های آبیاری بارانی به جای سنتی و افزایش ۲۰ درصدی سطح زیر کشت، تاثیر کمی بر کاهش افت آب‌های زیرزمینی مشاهده شد.

جدول (۹) اثرگذاری‌های اقتصادی افزایش بازده آبیاری و سرمایه گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری

Table 9- The economic effects of improving irrigation efficiency and investing in new irrigation systems

سناریوها scenarios		جمع هزینه(درآمد) سیاست برای کشاورزان (۱۰میلیون ریال) Total cost (income) of policy for farmers (10 million Rials)		میزان کاهش تراز (میلیون متر مکعب) The amount of groundwater Level reduction (million cubic meters)		هزینه(درآمد) کشاورزان برای هر متر مکعب صرفه جویی آب(۱۰ریال) Farmers' cost (income) per cubic meter of water saving (10 rials)		هزینه(درآمد) خالص اجتماعی هر متر مکعب صرفه جویی آب(۱۰ ریال) Net social cost (income) per cubic meter of water saving (10 Rials)	
		H۰	H۱	H۰	H۱	H۰	H۱	H۰	H۱
E0	F0	5205	57302	0	32	-	*	-	*
E0	F1	29054	59770	18	-54	*	1106	*	6569
E0	F2	55158	58174	11	-202	*	289	*	1671
E1	F0	-10344	16755	-30	-36	-348	460	20265	24788
E1	F1	2631	18038	-5	-120	575	150	201107	7541

ادامه جدول (۹) اثرگذاری‌های اقتصادی افزایش بازده آبیاری و سرمایه گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری

Table 9- The economic effects of improving irrigation efficiency and investing in new irrigation systems

سناریوها scenarios		جمع هزینه(درآمد) سیاست برای کشاورزان (۱۰میلیون ریال) Total cost (income) of policy for farmers (10 million Rials)		میزان کاهش تراز (میلیون متر مکعب) The amount of groundwater Level reduction (million cubic meters)		هزینه(درآمد) کشاورزان برای هر متر مکعب صرفه جویی آب(۱۰ریال) Farmers' cost (income) per cubic meter of water saving (10 rials)		هزینه(درآمد) خالص اجتماعی هر متر مکعب صرفه جویی آب(۱۰ ریال) Net social cost (income) per cubic meter of water saving (10 Rials)	
		H۰	H۱	H۰	H۱	H۰	H۱	H۰	H۱
E۱	F2	20989	19259	6	-210	*	92	*	4320
E3	F0	35008	95748	-10	-24	3482	3909	92793	39964
E3	F1	64118	97061	-21	-110	3037	882	45416	8908
E3	F2	95649	98311	-33	-202	2911	488	30140	4867
E4	F0	74685	135884	-6	-24	11500	5548	149513	41668
E4	F1	104898	137198	-21	-110	4974	1247	47473	9287
E4	F2	136428	138447	-33	-202	4152	687	31429	5074

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research finding

*افزایش کسری مخزن رخ داده است *Increasing aquifer deficit has occurred

نتایج زیر سناریو (۳) که در آن امکان افزایش سطح زیر کشت سامانه‌های نوین به شرط کاهش سطح زیر کشت سامانه‌های سنتی میسر می‌شود، در جدول (۱۰) آمده است. در تیمار (E0F0H0) میزان کاهش کسری مخزن ۶ درصد است. در حالی که در وضعیت بدون کنترل سطح زیر کشت صفر درصد بود. با اجرای سناریو(E0F0H1)، این کاهش به ۶۳ درصد می‌رسد(۲۴۳ میلیون متر مکعب) در حالی که در وضعیت بدون کنترل سطح زیر کشت ۸ درصد بود. اجرای سناریو (E0F2H1)، کسری مخزن را ۹۴ درصد کاهش داده اما در وضعیت بدون کنترل سطح زیر کشت ۵۳ درصد بر کاهش کسری مخزن موثر بود. همچنین در نیشابور مازاد آب خواهد بود اما در وضعیت بدون کنترل سطح زیر کشت تنها ۱۸ درصد از کسری مخزن این شهرستان کم می‌شد.

جدول (۱۰) اثرگذاری‌های فنی و اقتصادی سرمایه‌گذاری در سامانه های نوین آبیاری در سومین زیرسناریو
Table 10- Technical and economic impacts of investment in new irrigation systems in the third sub scenario

سناریوها scenarios		جمع هزینه(درآمد) سیاست برای کشاورزان (۱۰میلیون ریال) Total cost (income) of policy for farmers (10 million Rials)		میزان کاهش تراز (میلیون متر مکعب) The amount of groundwater Level reduction (million cubic meters)		هزینه(درآمد) کشاورزان برای هر متر مکعب صرفه جویی آب(۱۰ریال) Farmers' cost (income) per cubic meter of water saving (10 rials)		هزینه(درآمد) خالص اجتماعی هر متر مکعب صرفه جویی آب(۱۰ ریال) Net social cost (income) per cubic meter of water saving (10 Rials)	
		H0	H1	H0	H1	H0	H1	H0	H1
E0	F0	3330	39851	-21	-243	155	164	2462	787
E0	F1	14508	42193	-103	-304	141	139	1289	688
E0	F2	33101	43067	-155	-366	213	118	1231	574
E1	F0	-11641	12400	-9	-240	-1363	52	-9561	514
E1	F1	-1968	13119	-46	-286	-43	46	-539	434
E1	F2	7672	13808	-84	-337	91	41	484	371
E3	F0	26223	71315	-85	-251	307	284	1796	1100
E3	F1	49471	72339	-130	-317	380	228	1832	873
E3	F2	69785	72028	-190	-413	367	174	1504	670
E4	F0	65571	103499	-96	-282	684	367	2709	1278
E4	F1	89924	104655	-139	-357	645	293	2410	1012
E4	F2	108081	105461	-196	-431	553	245	1925	839

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research finding

نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج این بررسی نشان داد، تاثیر سیاست‌های افزایش قیمت آب بر الگوی کشت و سطح آب‌های زیرزمینی در دامنه افزایش قیمت ۴ تا بیش از ۵۵ برابر قرار دارند. که نتایج آن در شهرستان‌ها متفاوت بود، لذا اجرای این سیاست باید همراه با اعمال تبعیض قیمت به جای قیمت‌های یکسان برای همه منطقه‌ها باشد که اجرای آن در عمل غیر ممکن است. اجرای این سیاست باعث کاهش سطح زیر کشت بسیاری از محصولات تا صد درصد شده و درآمد کشاورزان بین ۱۹ تا ۹۸ و به طور میانگین

۶۳ درصد کاهش و هزینه‌های اجتماعی را بین ۴/۷ تا ۱۳۲ و به طور میانگین ۵۰ درصد افزایش می‌دهد. کشاورزان بیشترین هزینه را پرداخت خواهند کرد. لذا این سیاست تنها در حد ایجاد انگیزه در سرمایه‌گذاری در فناوری‌های آب اندوز قابل توصیه است. با افزایش بازده انتقال و توزیع آب و بدون افزایش سطح زیر کشت، (تبدیل آبراهه‌های خاکی به لوله) کسری مخزن ۸۳ درصد کاهش می‌یابد، اما هزینه‌های اجتماعی آن ۷۰۰ ریال برای هر مترمکعب خواهد بود. اگر افزایش بازده آبیاری بدون کنترل سطح زیرکشت باشد در حالت پایه($E0$)، سطح زیر کشت ۲۷ درصد افزایش می‌یابد در اینجا اگر چه تولید افزایش می‌یابد اما کسری مخزن به طور میانگین ۵۳ درصد کاهش می‌یابد. لذا هدف سرمایه گذاری که ایجاد تراز مثبت است رخ نخواهد داد. جایگزینی سامانه‌های جدید به جای قدیمی و افزایش بازده آبیاری بدون افزایش سطح زیر کشت در حد پتانسیل، کسری مخزن را ۹۴ درصد کاهش می‌دهد. رسیدن به ۹۴ درصد کسری مخزن، نه تنها هزینه‌ای ندارد بلکه برای کشاورزان و جامعه سودمندی نیز دارد. زیرا بخش اعظم هزینه‌های سامانه‌های نوین آبیاری توسط دولت پرداخت می‌شود و کاهش برداشت آب از چاه همراه با کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های برق برای کشاورزان است و این سامانه‌ها نیز عملکرد را افزایش می دهند. اگر در این حالت کشاورزان نتوانند بازده مصرف را اصلاح کنند، تنها با اصلاح بازده انتقال و توزیع و جایگزینی سامانه‌های جدید نه تنها هزینه‌ای پرداخت نمی‌کنند، بلکه ۱۶۴۰ ریال به ازای هر متر مکعب صرفه‌جویی در آب، سود دریافت کرده و ۶۳ درصد کسری مخزن اصلاح می‌شود. بنابراین زیر سناریو سوم بهترین روش بوده و توصیه می‌شود. برای این منظور لازم است دولت ضمن نصب کنتورهای هوشمند، در منطقه‌هایی که نسبت به افزایش بازده انتقال و توزیع اقدام می‌کند، میزان برداشت آب از چاه را به میزان افزایش بازده آبیاری کاهش دهد در این حالت هیچ تغییری در آبی که به سرکشتزار می‌رسد صورت نمی‌گیرد اما ضمن کاهش برداشت آب از چاه، هزینه انرژی کشاورزان و یارانه دولت در بخش انرژی به میزان شایان توجهی کاهش خواهد یافت. همچنین دادن تسهیلات برای سامانه‌های نوین آبیاری مشروط به کاهش برداشت آب صورت گیرد در این حالت کشاورزان از دیگر سودمندی‌های سامانه‌های نوین آبیاری مانند افزایش عملکرد در هکتار بهره‌مند می‌شوند.

منبع‌ها

Abbasi, F., Naseri, A., Sohrab, F., Baghani, J. and Akbari, M. (2015) Improving water use Productivity. Research, Education and Extension Organization, Agricultural Engineering Research Institute Tehran. (In Farsi)

Afifi, M.E. (2016) Assess the potential of land subsidence and its related factors(Case study: Plain Saidan Farouk Marvdasht, *quantitative geomorphological researches*, 5(3)**:**121-132. (In Farsi)

Ahmad M-U-D., Turral, H., Masih, I., Giordano, M. and Masood, M. (2007) Water saving technologies: Myths and realities revealed in pakistan's rice-wheat systems: IWMI-International Water Management Institute.

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. (In Farsi)

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. (In Farsi)

Al- Rubaye, S. (2018). Agricultural irrigation pricing: Review of theories and practices. *Irrigation and Drainage*, DOI: 10.1002/ird.2296 .

Balali, H. and Viaggi, D. (2015) Applying a system dynamics approach for modeling groundwater dynamics to depletion under different economical and climate change scenarios. *Water*, 7(10):5258-71.

Balali, H., Khalilian, S. and Ahmadian, M. (2010) Analysis of impacts of irrigation water pricing on grounwater balance, *Journal of Agricultural Economics and developments*, 24(2)**:**185-194. (In Farsi)

Chen, S., Wang, Y. and Zhu, T. (2014) Exploring china's farmer-level water-saving mechanisms: Analysis of an experiment conducted in taocheng district, hebei province. *Water*, 6(3):547-63.

Chimeh, T., Ebrahimi, K., Hoorfar, A. and Araghinejad, S. (2014) Assessment of the economic value of agricultural water by pricing approach based on type of product in the Qazvin plain, *Journal of Water Research in Agriculture*, 28(1)**:**171-181. (In Farsi)

Dinar, A., Rosegrant, M. W. and Meinzen-Dick, R. S **.** (1997) Water allocation mechanisms: principles and examples. World Bank Publications.

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):171-82.

Gharadaghi, H., Mohammadi, H. and Haghjoo, P. (2013) Using price factor in agricultural water consumption management with emphasis on environmental problems: Case study Fars province, *Journal of environmental science and technology*, 56(1)**:**66-73. (In Farsi)

Howe, C. W. (2005) The functions, impacts and effectiveness of water pricing: evidence from the United States and Canada. *International Journal of Water Resources Development*, 21(1):43-53.

Huang, Q., Rozelle, S., Howitt, R., Wang, J. and Huang, J. (2007) Irrigation water pricing policy in china. American Agricultural Economics Association Annual Meeting, 2006 july 23-26, Long beach, California.

Huffaker, R. and Whittlesey, N. (2003) A theoretical analysis of economic incentive policies encouraging agricultural water conservation. *International Journal of Water Resources Development*, 19(1):37-53

Jalilpiran, H. (2012) The role of water pricing in agriculture on the balance of water resources, *Monthly Quarterly Journal of Economic Research and Policies*, 12(2)**:**119-128. (In Farsi)

Jihad Agriculture Organization of Khorasan Razavi. (2014) Khorasan Razavi statistical Yearbook of agriculture 2013. Economic and Planning Adjutancy, Information and Statistic office, Mashhad. (In Farsi)

Johansson, R. (2000) Pricing irrigation water: A literature survey. World Bank Policy Research Working Paper, No: 2449**.**

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):133-153.

Kahil, M. T., Connor, J. D. and Albiac, J. (2015) Efficient water management policies for irrigation adaptation to climate change in Southern Europe. *Ecological Economics*, 120:226-233**.**

Kalaei, A. (2014) A brief overview of agriculture management and pricing in Iran and some selected countries. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Institute for Planning Research, Agricultural Economics and Rural Development, Tehran. (In Farsi)

Lashkaripour, G.R., Ghafoori, M. and Rostami Barani, H.R. (2008) An investigation on the mechanism of earth-fissures and land subsidence in the western part of Kashmar Plain, *Geological Studies*, 1(1)**:**95-111. (In Farsi)

Latinopoulos, D. (2008). Estimating the potential impacts of irrigation water pricing using multicriteria decision making modelling. An application to Northern Greece. *Water Resources Management*, 22(12):1761-1782.

Lichtenberg, E. (1989) Land quality, irrigation development, and cropping patterns in the northern high plains. *American Journal of Agricultural Economics*, 71(1):187-194.

Mamitimin, Y., Feike, T. and Doluschitz, R. (2015) Bayesian Network Modeling to Improve Water Pricing Practices in Northwest China. *Water*, 7(10):5617-5637.

Manos, B., Bournaris, T., Kamruzzaman, M., Begum, M., Anjuman, A. and Papathanasiou, J. (2006) Regional impact of irrigation water pricing in Greece under alternative scenarios of European policy: A multicriteria analysis. *Regional Studies*, 40(9):1055-1068.

McKinney, D.C. and Savitsky, A.G. (2006) Basic Optimization Models for Water and Energy Management. The University of Texas at Austin, Thechnical Repor. <http://www.ce.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/lectures/McKinneySavitsky_ver8_e.pdf>.

Ministry of Energy. (2014). Province Water Feature. Regional Water Company of Khorasan Razavi, Planning and Management Improvement Adjutancy, Mashhad, No 20) . (In Farsi)

Ministry of Energy. (2015a) Iran water statistical yearbook 2011- 2012. Office of Planning for Water and Wastewater, Ministry of energy, Tehran. (In Farsi)

Ministry of Energy. (2015b) Report on the operation and conservation of water resources and equilibrium in 2014. Iran water resources management company, Regional water company of Khorasan Razavi, Mashhad. (In Farsi)

Ministry of Jihad Agriculture (2017) Agricultural Statistics of 2016. Economic and planning adjutancy, Information and communication technology center, Ministry of Jihad_ agriculture, Tehran. (In Farsi)

Ministry of Roads and Urban Development. (2013) Statistical Yearbook of Road Maintenance and Transportation organization in 2013. Planning adjutancy, office of information technology and communications, Ministry of roads and urban development, Tehran. (In Farsi)

Nikbakht, J., Najib, Z. and Hasan Pour Aghdam, M.A. (2012). The effect of the conversion of traditional irrigation to systems under pressure on increased stock and groundwater level Case study: Ajab Shir plain, East Azarbaijan. Proceeding of *The 1st national conference on solutions to access sustainable development in agriculture, natural resources and the environment*. Tehran, Ministry of interior. (In Farsi)

Ohab-Yazdi, S.A. and Ahmadi, A. (2016). Design and evaluation of irrigation water pricing policies for enhanced water use efficiency. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(3):05015011-10.

Pfeiffer, L. (2009) Three essays on the economics of groundwater extraction for agriculture: Property rights, externalities, and policy. Ph.D. thesis. Davis: University of California.

Rogers, P., De Silva, R. and Bhatia, R. (2002) Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. *Water Policy,* 4(1):1-17.

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. (In Farsi)

Sabouhi, M. and Azadegan, E. (2014) Estimating the dynamic supply functions of major agricultural products and analyzing the impact of irrigation water pricing policy: The case study of Mashhad-Chenaran plain, *journal of Agricultural Economics and Development,* 28(2)**:**185-196. (In Farsi)

Sabouhi, M. and Soltani, G.R. (2008) Optimizing cultivation patterns on the surface of the catchment area with an emphasis on social benefits and net virtual water import: a case study of Khorasan district, *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources,* 43**:**297-313. (In Farsi)

Sabouhi, M. and Zare, SH. (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. (In Farsi)

Sahibzada, S. A. (2003) Efficient irrigation water development in Pakistan: Pricing issues and options. Ph.D. thesis. Binghamton University, State University of New York.

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 Farsi)

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.

Soleymani, E. and Hajizadeh, F. (2009). Challenges and problems of agricultural water supply in Khorasan Razavi province. Infrastructure Studies Office, No 9943. (In Farsi)

Statistical Center of Iran. (2014) Iran Statistical Yearbook 2013 [March 2013-March 2014]. Statistical centre of Iran, Office of the president, Public relations and international cooperation, Tehran. (In Farsi)

Tahamipour, M., Kalashami, M. K. and Chizari, A. (2015) Irrigation Water Pricing in Iran: The Gap between Theory and Practice. *International Journal of Agricultural Management and Development,* 5(2):109-116.

Vafabakhsh, J., Haghayeghi Moghaddam, S.A., Khoshbazm, R., Fatemi, S.M. and Shalfouroushan, S.M. (2016) Final report on scrutinize of consumption and water

productivity in underground water resources in order to use its results in formulating a crop pattern. Agricultural and natural resource Research Center of Khorasan Razavi, Mashhad. (In Farsi)

Vaseteh, V., Namazi, R. and Zarrinfar, S. (2018). Effect of under pressure irrigation systems on groundwater resources: A case study of Shirvan aquifer. Proceeding of *First symposium with water science and environment experts*. 1 March, 2018, Research centre for energy Ministry of energy ,Tehran. (In Farsi)

Venot, J.-P. and Molle, F. (2008) Groundwater depletion in the Jordan highlands: can pricing policies regulate irrigation water use? *Water Resources Management*, 22(12):1925-1941.

Young, R.A. and Loomis, J.B. (2014) *Determining the Economic Value of Water: Concepts and Methods*. Oxfordshire, England: RFF Pres, 359 P.

Zare, SH. (2018) Evaluation and comparison of water pricing policy with alternative options and their impact on the production, trade and crop pattern in Khorasan Razavi province. Ph.D. thesis of agricultural economic, Faculty of agriculture, University of Zabol. (In Farsi)

Zare, SH., Mohammadi, H. and Sabouhi, M. (2017) Simulation of developing modern irrigation systems on groundwater resources balance of Khorasan Razavi, *Journal of Agricultural Economics and developments*, 31(2)**:**179-195. (In Farsi)

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.

DOI: 10.22034/IAES.2018.88115.1601

Agricultural Economics/Volume 12/Issue 3/1397

Investigating the Impact of Price Policy and Investment in Water Saving Technologies, on the Deficits of Groundwater Reserves and Social Costs in Khorasan Razavi Province

Sh. Zare- H. Mohammadi-M. Sabouhi-M. Ahmadpour-S. A. Mohaddes Hoseini[1]

Received: 17 June.2018 **Accepted:27 Nov .2018**

Abstract

In order to compare the effect of water pricing policy with increasing irrigation efficiency and investment in water and sewage technology, on reducing the deficit of groundwater reservoirs "DGR", production, net imports, net social benefits and income of farmers in Khorasan Razavi province, Five cities including Mashhad, Sabzevar, Neyshabour, Torbat Jam and Torbat Heydarieh were selected and the impact of these policies was studied using a positive mathematical programming model (PMP_GME). The analysis of the effect of rising water prices showed that although this policy has different results in different regions, making it impossible to implement, farmers' income is reduced from 19 to 98 and an average of 63 percent and increases social costs by 50 percent. So that the cost per cubic meter of saved water will be 5750 Rials. By increasing the efficiency of water transmission and distribution and without increasing the area under cultivation, the DGR is reduced by an average of 83%. The farmer's cost will be 300 Rials and the social costs will be 700 Rials per cubic meter. If the total irrigation efficiency is corrected to its potential, the DGR is reduced by 106%. If the increase in efficiency is accompanied by lack of control over the level of crops, although the production increases, but in conditions, the DGR are rising, but on average they fall by 53%. Replacing new systems instead of old and increasing the irrigation efficiency until to potential level without increasing the level of cultivation, reduces the DGR by 94%. But without increasing water application efficiency, only 63% of the DGE is corrected. It is therefore suggested, in place that the efficiency of transmission and distribution of water has increased, government reduce the extraction of ground water, proportional of increase in irrigation efficiency. Also, in critical areas, providing facilities for new irrigation systems be conditional on reducing water harvesting.

JEL Classification: C61, D61, D78, Q28

Keywords: The Management of Water Resources, Irrigation Efficiency, Cropping Pattern, Positive Mathematical Programming, Generalized Maximum Entropy

[1] Respectively:Faculty Member of Economic, social and extension Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Zabol University, Professor, Department of Agricultural Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Zabol University and Faculty Member of Economic, social and extension Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center
Email: hamidmohammadi1378@gmail.com