

تأثیر سیاست‌های مدیریت آب‌های زیرزمینی در شرایط تعادل بر سطح زیر کشت چغندر قند در استان خراسان رضوی

The effect of groundwater management policies under balance condition on
sugar beet cultivation area in Khorasan Razavi province

شجاعت زارع^۱، حمید محمدی^{۲*}، محمود صبوچی^۳، محمود احمدپور^۲ و سیداحمد محدث حسینی^۱

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۲۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۲۰

نوع مقاله: پژوهشی

ش. زارع؛ ح. محمدی؛ م. صبوچی؛ م. احمدپور؛ س.ا. محدث حسینی. ۱۳۹۸. تأثیر سیاست‌های مدیریت آب‌های زیرزمینی در شرایط تعادل بر سطح زیر کشت چغندر قند در استان خراسان رضوی. چغندر قند، ۳۵(۱): ۱۰۳-۱۱۹. DOI: 10.22092/jsb.2019.121201.1183

چکیده

به منظور بررسی تأثیر سیاست‌های مختلف مدیریت منابع آب زیرزمینی بر روی سطح زیر کشت چغندر قند در استان خراسان رضوی از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت استفاده شد. مناطق مورد مطالعه شامل شهرستان‌های مشهد، نیشابور، سبزوار، تربت جام و تربت حیدریه بود. اطلاعات مورد نیاز از طریق تکمیل پرسشنامه و همچنین بانک‌های اطلاعاتی و انتشارات سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی به دست آمد. سناریوهای مورد بررسی شامل افزایش قیمت آب، کاهش دبی برداشت آب از چاه و افزایش راندمان آبیاری در قالب بهبود مدیریت آبیاری و همچنین گسترش سیستم‌های نوین آبیاری بود که در قالب زیرسناریوهای متعددی بررسی گردید. نتایج مطالعه نشان داد که سیاست افزایش قیمت آب نه تنها منجر به کاهش شدید سطح زیر کشت چغندر قند می‌شود بلکه درآمد کشاورزان را نیز کاهش می‌دهد. در حالی که سیاست برداشت کمتر آب از چاه‌های کشاورزی کاهش کمتری را نشان داد. سیاست افزایش راندمان آبیاری همراه با کنترل سطح زیر کشت علاوه بر حفظ آب‌های زیرزمینی موجب افزایش سطح زیر کشت چغندر قند در الگوی کشت و درآمد کشاورزان شد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، چغندر قند، راندمان آبیاری، خراسان رضوی، مدیریت آب‌های زیرزمینی

۱- استادیار بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل، ایران. * نویسنده مسئول hamidmohammadi1378@gmail.com

۳- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل، ایران.

مقدمه

ایران از لحاظ اقلیمی در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد به طوری که بارش سالانه آن در اکثر نقاط بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر است. کشورهای زیادی طی سال‌های اخیر استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی را مورد توجه قرار داده‌اند (Endo 2015; Mao 2005; Pfeiffer 2009; Singh 2014). در ایران علی‌رغم هشدار متخصصین، به تازگی مورد توجه قرار گرفته است و دلیل آن، ایجاد شرایط بحرانی ناشی از استفاده بی‌رویه از این منابع بوده است (Zare et al. 2017). مطالعه بررسی وضعیت منابع آبی استان خراسان رضوی نشان داده که کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، صرفاً ناشی از خشکسالی نبوده بلکه برداشت بی‌رویه منجر به این وضعیت شده است؛ به طوری که در ترسالی‌ها نیز کاهش سطح آب‌های زیرزمینی رخ داده که پیامدهایی از قبیل مهاجرت به شهرها، بالا رفتن هزینه پمپاژ آب، شور شدن آب‌های زیرزمینی، فرو نشست زمین، ایجاد شکاف در سطح دشت‌ها و مشکلات زیست محیطی را در پی داشته است (Velayati 2006). یک بررسی نشان داده که افزایش جمعیت، افزایش چاه‌های غیرمجاز و افزایش برداشت از چاه‌ها در شرایط خشکسالی و نقش اصلی کشاورزی در تأمین معیشت مردم استان خراسان رضوی از چالش‌های مدیریت آب در این استان می‌باشد. در مقابل اصلاح الگوی کشت، توسعه کشت گلخانه‌ای، افزایش راندمان توزیع و مصرف آب در سطح مزرعه، افزایش ماده آلی خاک، افزایش آگاهی کشاورزان، نظارت دقیق جهت جلوگیری از مازاد برداشت و تعیین آب‌بهای مناسب از راهکارهای برون رفت از بحران آب این استان عنوان شده است (Soleymani and Hajizadeh 2009). اجرای توصیه‌های ذکر شده بایستی با شیوه‌ها و ابزارهایی باشد که در مرحله اجرا حداقل واکنش‌های

اقتصادی و اجتماعی منفی را در پی داشته باشد. علیزاده و همکاران (Alizadeh et al. 2012) با بررسی تأثیر کاهش مصرف آب در حوزه آبریز دشت مشهد در جهت تعادل بخشی، نشان دادند که کاهش مصرف آب منجر به کاهش قابل توجهی در تولید اکثر محصولات شده و تنها تولید پیاز، گوجه‌فرنگی و حبوبات افزایش یافته است. ضمن این که در تمام سناریوها اشتغال و در اکثر آنها درآمد کاهش داشته است. چغندرقد از جمله محصولات مهم کشور است و علاوه بر تأمین شکر، زمینه اشتغال و سرمایه‌گذاری در صنایع وابسته را فراهم می‌آورد (Nikooie et al. 2007). با این وجود یک محصول آب بر تلقی شده و در صورت اجرای سیاست‌های سخت‌گیرانه مصرف آب، ممکن است جایگاه خود را در الگوی کشت از دست بدهد. مطالعه محمدی و همکاران (Mohammadi et al. 2014) بر روی تأثیر ریسک قیمتی و عملکردی چغندرقد در شهرستان فسا در استان فارس بر جایگاه این محصول در الگوی کشت نشان داد که محدودیت آب به‌ویژه در ماه‌های خرداد و تیرماه منجر به حذف چغندرقد از الگوی کشت می‌شود، لذا جهت حفظ چغندرقد در الگوی کشت، کارایی استفاده از آب باید افزایش یابد. بررسی زارع (Zare 2002) در استان خراسان نشان داد که اگر چه چغندرقد دارای مزیت نسبی است اما از این نظر در بین ۱۴ محصول استان، در رتبه ۱۱ قرار دارد. با این وجود از نظر درآمد خالص که ملاک انتخاب زارعین می‌باشد در رتبه هفتم و بعد از محصولاتی مانند گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی واقع شده است. نگاهی به آمار دهه اخیر نیز نشان می‌دهد که سطح زیرکشت این محصول در استان خراسان رضوی از ۵۳ هزار هکتار در سال ۸۶ به ۲۲ هزار در سال ۹۵ رسیده و کمترین سطح زیر کشت مربوط به سال ۱۳۹۳ با ۱۶۵۰۰ هکتار بوده است که بیانگر موقعیت رقابت‌ناپذیری این

دارد باعث کاهش اشتغال به علت حذف محصولاتی مانند پنبه، تنباکو و چغندر قند می‌شود (Manos *et al.* 2006). مطالعه شمس‌الدینی و همکاران (Shamsoddini *et al.* 2010) بر روی مزارع چغندر قند در شهرستان مرودشت استان فارس نشان داد که ارزش اقتصادی آب برای این محصول بیش از هزینه‌های آن بوده و افزایش قیمت آب تأثیری بر کاهش تقاضای آن نداشت. اما پاکروان و مهرابی (Pakravan and Mehrabi 2010) با بررسی تابع تولید چغندر قند در کرمان سهم آب در تولید این محصول را بالا دانسته و سیاست افزایش قیمت آب را بر مصرف بهینه مؤثر دانسته‌اند. تغییر قیمت آب می‌تواند منجر به تغییر مدیریت بکارگیری نهاده‌ها در مزرعه نیز شود. زارع و شهبازی (Zare and Shahbazi 2006) با بررسی تخصیص اقتصادی آب بین تیمارهای مختلف کم‌نهاده، متوسط نهاده و پر نهاده چغندر قند، نتیجه گرفتند که تیمار متوسط نهاده دارای بالاترین نرخ بازده اقتصادی و تیمار کم‌نهاده دارای بالاترین نرخ بهره‌وری آب بوده، اما افزایش قیمت آب منجر به انتخاب تیمار کم‌نهاده و کاهش قیمت آب باعث انتخاب تیمار پر نهاده به عنوان اقتصادی‌ترین تیمار می‌شود. بخشی و همکاران (Bakhshi *et al.* 2012) با مقایسه سیاست قیمتی آب و مالیات بر محصولاتی مانند چغندر قند و گوجه‌فرنگی، سیاست اخذ مالیات از طریق کاهش قیمت محصول را از نظر کاهش مصرف آب و درآمد کشاورزان بهتر از سیاست قیمتی دانسته‌اند. در کنار این سیاست، سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های آب اندوز به عنوان یک روش مؤثر جهت افزایش راندمان آبیاری مطرح است؛ اما این روش در عمل ممکن است انتظارات را برآورده نسازد. در این رابطه احمد و همکاران (Ahmad *et al.* 2007) تأثیر برنامه‌های حفاظت از آب و خاک بر روی میزان کاهش مصرف آب در ایالت

محصول در طی این سال‌ها است از طرفی در طی این سال‌ها عملکرد افزایش یافته است به طوری که از حدود ۳۰ تن در سال ۸۷ به ۵۴ تن در هکتار در سال ۱۳۹۵ رسیده است (Ministry of Agriculture-Jahad 2006-2016). یکی از روش‌های مطرح کنترل مصرف آب، استفاده از ابزار قیمت آب می‌باشد. این ابزار، اگر چه ممکن است از جنبه نظری ساده‌ترین روش به نظر برسد، اما به لحاظ سیاسی ممکن است روش بسیار مشکلی باشد (Rogers *et al.* 2002) و کارایی آن به تنهایی مورد تردید جدی قرار دارد (Balali *et al.* 2010; Ahmadpour and Sabouhi 2009; Sabouhi and Azadegan 2014; Chen *et al.* 2014; Mamitimin *et al.* 2015; Huang *et al.* 2006; Tsur and Dinar 1997; Kahil *et al.* 2016). به طوری که از سال ۲۰۰۳ دولت چین به علت افزایش فشار بر روستائیان اقدام به اعطای یارانه به کشاورزان نمود و در برخی از نواحی چین نیز، اخذ هزینه آب از کشاورزان را لغو کرد (Chen *et al.* 2014). از طرفی افزایش قیمت آب باعث افزایش هزینه تولید می‌شود و بر الگوی کشت کشاورزان مؤثر است. در چین کشاورزانی که هزینه بیشتری متحمل می‌شدند به دو صورت مصرف آب خود را کاهش می‌دادند: یکی از طریق کاهش مصرف در واحد سطح، به طوری که میزان مصرف را تا یک سوم کاهش دادند و دیگری از طریق کشت محصولاتی که نیاز آبی کمتری دارند و یا محصولاتی مانند سبزیجات، میوه‌ها و گل‌ها که هزینه نهاده‌های غیرآبی مانند نیروی کار و سرمایه بیشتری دارند و درآمد در هکتار آنها نیز بالاتر است (Huang *et al.* 2007). بررسی اثرات قیمت‌گذاری منطقه‌ای آب تحت سناریوهای مختلف در یونان نشان داد که اثرات این سیاست در مناطق روستایی وابسته به آب فاجعه‌آمیز خواهد بود. همچنین جانشینی محصولاتی که مصرف آب کمتری

بررسی و بهترین روش انتخاب و زیرساخت‌های لازم جهت نیل به آن فراهم گردد.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام مطالعه پنج شهرستان شامل شهرستان‌های مشهد، سبزوار، نیشابور، تربت جام و تربت حیدریه انتخاب شدند. این شهرستان‌ها علاوه بر اینکه بر حوزه‌هایی با اُفت زیاد آب‌های زیرزمینی منطبق هستند، اغلب دارای چند حوزه مشترک بوده و در بین ۲۹ شهرستان استان، بیش از ۳۵ درصد از کل سطح زیرکشت محصولات زراعی و باغی را به خود اختصاص داده‌اند. اطلاعات موردنیاز شامل کلیه منابع آبی به تفکیک روستا، طول و نوع کانال‌های انتقال آب، سطح زیرکشت محصولات زراعی و باغی، هزینه تولید، میزان برداشت آب و کسری مخازن، راندمان آبیاری، کم‌آبایی، و ضرایب نفوذ آب به منابع زیرزمینی است. اطلاعات از طریق تکمیل پرسشنامه توسط کارشناسان جهاد کشاورزی شهرستان، در کلیه آبادی‌های مناطق مورد مطالعه بدست آمده‌اند. اطلاعات هزینه و درآمد از طریق سیستم هزینه تولید سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی تهیه گردید. اطلاعات مربوط به میزان برداشت از مخازن در حوزه‌های آبریز، از سازمان آب منطقه‌ای گرفته شد. با استفاده از سیستم GIS، تعداد چاه‌های هر شهرستان در حوزه‌های آبی مشخص، و با توجه به دبی آنها، سهم‌شان از برداشت حوزه‌ها تعیین شد. از این نسبت جهت تعیین میزان سهم هر شهرستان از افت آب‌های زیرزمینی حوزه‌های مربوطه و آب برداشت شده توسط چاه‌های کشاورزی مطابق با آمار آب منطقه‌ای استفاده گردید. ضریب کم‌آبایی و میزان نفوذ آب تلف شده به آب‌های زیرزمینی از طریق شبیه‌سازی برآورد شد (Zare et al. 2017). با توجه به فراگیر

پنجاب پاکستان را بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که علیرغم کاهش مصرف آب در واحد سطح، در مجموع در سطح حوزه به دو دلیل کاهش مصرف اتفاق نیفتاده است: اول به خاطر کاهش آب نشتی به سفره‌ها به علت اجرای برنامه‌های حفاظتی، آب نفوذی به سفره‌ها کم اما با تبخیر و تعرق از دسترس خارج شده است. دوم به خاطر افزایش تقاضا برای آب که ناشی از افزایش سودآوری کشاورزی با اجرای برنامه حفاظتی بوده است بنابراین در هر جایی که تکنولوژی جدید آب اندوز و یا برنامه‌هایی شبیه برنامه حفاظت آب و خاک در پاکستان مورد اجرا قرار گیرد هر چند که مصرف آب در واحد سطح کاهش می‌یابد، اما بدون هماهنگی و ورود نهادهای مرتبط، ممکن است نتیجه مورد انتظار حاصل نشود. از طرف دیگر سیستم‌های نوین آبیاری ضمن کاهش مصرف آب، عملکرد را نیز افزایش می‌دهند اما تغییر عملکرد در محصولات مختلف، متفاوت گزارش شده است. باغانی (2008) اثرات تغییر سیستم‌های آبیاری رایج (سطحی) به سیستم‌های آبیاری تحت فشار در ۱۵ مزرعه از مزارع استان خراسان رضوی را بررسی کرد. نتایج نشان داد که با تغییر سیستم آبیاری سطحی به آبیاری قطره‌ای، بیشترین و کمترین درصد افزایش عملکرد محصول را به ترتیب سیب‌زمینی با ۲۱ درصد و چغندر قند با ۹ درصد داشتند. کارآیی مصرف آب آبیاری در ذرت علوفه‌ای ۱۱۶ درصد افزایش یافته و زراعت‌های گوجه‌فرنگی، چغندر قند و سیب‌زمینی به ترتیب با ۹۸، ۹۲ و ۸۳ درصد در مراحل بعدی قرار گرفته بودند. از طرف دیگر این افزایش راندمان اگر با کاهش آب استخراج شده از منابع زیرزمینی همراه نباشد تأثیر منفی بر تعادل آب‌های زیرزمینی دارد (Zare et al. 2017) از این رو لازم است تأثیر سیاست‌های مختلف در شرایط تعادل

سطح زیرکشت و ترکیب الگو با الگوی کشاورزان یکسان باشد، به این ترتیب شرایطی که کشاورزان در آن تصمیم‌گیری می‌کنند شبیه‌سازی گردید. برای این منظور، بعد از تخمین تابع هزینه‌ای که زارعین با آن روبرو بودند، از تابع هزینه به دست آمده در الگوی کشت زارعین استفاده گردید. جهت تخمین ضرایب تابع هزینه مدل، از روش حداکثر بی‌نظمی تعمیم یافته (GME, Generalized Maximum Entropy) استفاده گردید. متغیرها و پارامترهای مدل در جداول ۱ و ۲ ذکر شده است.

بودن بکارگیری مدل‌های ریاضی (Doppler *et al.* 2002; Balali and Viaggi 2015; Zhong *et al.* 2015; Kahil *et al.* 2016 Mamitim *et al.* 2015) در بررسی اثرات سیاست‌گذاری، در اینجا از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP, Positive Mathematical Programming) استفاده شد. در این مدل ابتدا مدل الگوی کشت بهینه منطقه تهیه می‌گردد. اما به منظور بررسی و تحلیل تأثیر سیاست‌ها بر الگوی کشت، مدل باید طوری واسنجی می‌شد که پس از اجرا، مقدار

جدول ۱ متغیرها و نمادهای 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 زیرکشت محصول k در منطقه g
۴	txf_g	کل سطح زیرکشت محصولات زراعی و باغی آبیاری شده به روش کرتی در منطقه g
۵	$txnf_g$	کل سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی آبیاری شده 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 استخراج شده 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 استخراج شده از چاه‌های دارای پروانه برداشت در ماه t در منطقه g
۱۴	$w32_g^t$	مقدار آب استخراج شده 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 استخراج شده از چاه‌های شناسایی نشده فاقد پروانه برداشت و یا اضافه برداشت از چاه‌های دارای پروانه در ماه t در منطقه g
۱۷	$tw31_g$	کل آب استخراج شده از چاه‌های دارای پروانه برداشت در منطقه g
۱۸	$tw32_g$	کل آب استخراج شده از چاه‌های فاقد پروانه برداشت در منطقه g
۱۹	$tw4_g$	کل آب استخراج شده از چاه‌های شناسایی نشده فاقد پروانه برداشت و یا اضافه برداشت از چاه‌های دارای پروانه در منطقه g
۲۰	$wpool_g^t$	مقدار آب ذخیره شده در استخرهای ذخیره آب در ماه t در منطقه g
۲۱	pol_g	تعداد استخر ذخیره آب احداث شد در سناریو مورد بررسی در منطقه g
۲۲	yex_g^{gg}	مقدار محصول y خارج شده از منطقه g به مقصد gg
۲۳	yim_g^{gg}	مقدار محصول y وارد شده 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
۲۶	ex_g^y	کل مقدار محصول y خارج شده از منطقه g به سایر مناطق در محدوده مطالعاتی
۲۷	exf_g^y	کل محصول y خارج شده از منطقه g به خارج از محدوده مطالعاتی

ادامه جدول ۱ متغیرها و نمادهای مورد استفاده در مدل

ردیف	نام متغیر	توضیحات
۲۸	im_g^y	کل محصول Y وارد شده به منطقه g از سایر مناطق محدوده مطالعاتی
۲۹	imf_g^y	کل محصول Y وارد شده به منطقه g از خارج از محدوده مطالعاتی
۳۰	ctotranc	کل هزینه حمل و نقل بین منطقه‌ای
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	$poww_g^{sw}$	انرژی الکتریکی مصرف شده در هکتار برای انتقال آب به روش کرتی به مزرعه محصول پاییزه W در منطقه g
۳۵	$powst_g^{ss}$	انرژی الکتریکی مصرف شده در هکتار برای انتقال آب به روش کرتی به مزرعه محصول بهاره S در منطقه g
۳۶	$powwn_g^{swp}$	انرژی الکتریکی مصرف شده در هکتار برای انتقال آب با سیستم‌های نوین آبیاری به مزرعه محصول پاییزه W در منطقه g
۳۷	$powst_g^{sp}$	انرژی الکتریکی مصرف شده در هکتار برای انتقال آب با سیستم‌های نوین آبیاری به مزرعه محصول بهاره S در منطقه g
۳۸	$powerpool_g$	انرژی الکتریکی مصرف شده جهت انتقال آب از استخرهای ذخیره به مزارع در منطقه g
۳۹	$totalpowerg_g$	کل انرژی الکتریکی مصرف شده جهت انتقال آب به مزارع در منطقه g
۴۰	totalpowert	کل انرژی الکتریکی مصرف شده جهت 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 استفاده شده جهت آبیاری در ماه t در منطقه g
۴۳	xs_g	سطح زیرکشت محصولات بهاره در منطقه g
۴۴	xw_g	سطح زیرکشت محصولات پاییزه در منطقه g
۴۵	xf_g	سطح زیرکشت محصولات آبیاری شده به روش کرتی در منطقه g
۴۶	xp_g	سطح زیرکشت محصولات آبیاری شده به روش آبیاری نوین در منطقه g
۴۷	$coefland_g$	درصد استفاده از زمین‌های آیش جهت افزایش سطح زیرکشت با آب مازاد در منطقه g

جدول ۲ پارامترها و نمادهای 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 به غیر 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	$ctranc_g^{ygg}$	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 جهت صادرات به خارج از محدوده مطالعاتی
۸	l_g	کل زمین موجود در منطقه g جهت 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 برداشت شده از چاه‌های فاقد پروانه شناسایی نشده و یا اضافه برداشت از سایر چاه‌ها در منطقه g و در ماه t
۱۵	$watb_g^t$	آب استفاده شده جهت آبیاری باغ در منطقه g و در ماه t
۱۶	$wats_g^t$	آب استفاده شده جهت آبیاری سایر محصولات زراعی در منطقه g و در ماه t

جدول ۲ پارامترها و نمادهای مورد استفاده در مدل

توضیحات	نام پارامتر	ردیف
ضریب کم آبیاری محصولات کشت پاییزی در منطقه g و در ماه t	kw_g^t	۱۷
ضریب کم آبیاری محصولات کشت بهاری در منطقه g و در ماه t	ks_g^t	۱۸
کسری مخزن در حالت تعادل فعلی در منطقه g	$def0_g$	۱۹
خالص برداشت از آب‌های زیرزمینی توسط چاه‌های کشاورزی در وضعیت فعلی در منطقه g	$ext0_g$	۲۰
راندمان انتقال و توزیع آب آبیاری در منطقه g	rtr_g	۲۱
راندمان مصرف آب آبیاری در زراعت در روش آبیاری کرتی در منطقه g	rf_g	۲۲
راندمان مصرف آب آبیاری در زراعت در روش آبیاری نوین در منطقه g	rnf_g	۲۳
ضریب نفوذ آب به مخازن زیرزمینی در مرحله انتقال و توزیع آب در منطقه g	$k3_g$	۲۴
ضریب نفوذ آب به مخازن زیرزمینی در مرحله مصرف آب در منطقه g	$k4_g$	۲۵
سطح زیرکشت سایر محصولات زراعی به روش آبیاری کرتی در منطقه g	xof_g	۲۶
سطح زیرکشت سایر محصولات زراعی به روش آبیاری بارانی در منطقه g	$xonf_g$	۲۷
سطح زیرکشت سایر محصولات باغی به روش آبیاری کرتی در منطقه g	xbf_g	۲۸
سطح زیرکشت سایر محصولات باغی به روش آبیاری بارانی در منطقه g	$xbnf_g$	۲۹
حجم مخازن ذخیره آب در وضعیت فعلی در منطقه g	$pool0_g$	۳۰
عملکرد در هکتار محصول k در منطقه g	b_g^k	۳۱
کل نیاز مصرفی به محصول y در منطقه g	b_g^y	۳۲
کل تولید محصول y به روش دیم کاری در منطقه g	$tydry_g^y$	۳۳
میزان فعلی سطح زیرکشت محصول k در منطقه g	$bland_g^k$	۳۴
سطح آیش در منطقه g	bf_g	۳۵
ضریب افزایش قیمت انرژی به I برابر قیمت فعلی	d_r	۳۶
میزان اشتغال مستقیم هر هکتار محصول k در منطقه g	lab_g^k	۳۷
پتانسیل تغییر سطح زیرکشت محصولات زراعی از روش آبیاری کرتی به روش آبیاری نوین در منطقه g	$addnf_g$	۳۸
پتانسیل تغییر سطح زیرکشت محصولات باغی از روش آبیاری کرتی به روش آبیاری نوین در منطقه g	$addbnf_g$	۳۹
هزینه سالانه احداث استخر با حجم ۴۰۰ مترمکعب	$costpol$	۴۰
عملکرد در هکتار محصول y در سیستم‌های نوین آبیاری با ضریب e در منطقه g	$b1_g^{ep}$	۴۱
راندمان مصرف آب آبیاری در سیستم‌های نوین آبیاری با ضریب f در منطقه g	b_g^f	۴۲
راندمان انتقال و توزیع آب آبیاری با ضریب h در منطقه g	b_g^h	۴۳
کل سطح زیرکشت آبیاری نوین در منطقه g در وضعیت فعلی	$totalblandp_g$	۴۴
ظرفیت استخر ذخیره آب	ca	۴۵
میزان مصرف انرژی توسط الکتروپمپ چاه برای هر مترمکعب آب	pow	۴۶
میزان مصرف انرژی توسط الکترو پمپ سیستم‌های نوین برای هر مترمکعب آب	$pownf$	۴۷
میزان مصرف انرژی توسط الکترو پمپ استخر ذخیره برای هر مترمکعب آب	$powpool$	۴۸
حداکثر ضریب صورت کسر نسبت سطح زیر کشت محصولات پاییزی به بهاره	n	۴۹
حداقل ضریب صورت کسر نسبت سطح زیر کشت محصولات پاییزی به بهاره	$n2$	۵۰

یونجه است. این محصولات بیش از ۹۰ درصد سطح زیرکشت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. اجزای مدل به شرح زیر است.

محصولات مورد مطالعه در الگوی کشت شامل گندم، جو، پنبه، چغندر قند، پیاز، سیب زمینی، ذرت، گوجه‌فرنگی، هندوانه و

نسبت آب استفاده شده از آب چاه به کل آب استفاده شده در رابطه (۸) تعریف شده است.

$$wellcoef_g^t = \frac{(w31_g^t + w32_g^t + w4_g^t) rtr_g}{needwater_g^t} \quad \forall g, t \quad (8)$$

رابطه (۹) محدودیت زمین را نشان می‌دهد. میزان اراضی مجهز به سیستم‌های آبیاری نوین نیز توسط رابطه (۱۰) معرفی شده است.

$$i_g (\sum_w X_g^w + \sum_{wp} X_g^{wp}) + \sum_s X_g^s + \sum_{sp} X_g^{sp} \quad (9)$$

$$+ (2-coefland_g) bf_g \leq L_g \quad \forall g$$

$$\sum_{yp} X_g^{yp} \leq \sum_{yp} bland_g^{yp} \quad \forall yp \quad (10)$$

رعایت تناوب زراعی به صورت روابط (۱۱ و ۱۲) وارد مدل شده است. در اینجا نسبت محصولاتی زمستانی به تابستانی در دامنه ۷۰/۳۰ تا ۵۵/۴۵ در نظر گرفته شد.

$$(1-n) (\sum_w X_g^w + \sum_{wp} X_g^{wp}) \leq n (\sum_s X_g^s + \sum_{sp} X_g^{sp}) \quad \forall g \quad (11)$$

$$(1-n_2) (\sum_w X_g^w + \sum_{wp} X_g^{wp}) \geq n_2 (\sum_s X_g^s + \sum_{sp} X_g^{sp}) \quad \forall g \quad (12)$$

میزان آب مصرفی چاه‌ها شامل مجاز، غیرمجاز و اضافه برداشت یا شناسایی نشده از روابط (۱۳ تا ۱۹) محاسبه گردید.

$$Tw31_g = \sum_t w31_g^t \quad \forall g \quad (13)$$

$$w31_g^t \leq iw31_g^t \quad \forall g \quad (14)$$

$$tw32_g = \sum_t w32_g^t \quad \forall g \quad (15)$$

$$w32_g^t \leq iw32_g^t \quad \forall g \quad (16)$$

$$tw4_g = \sum_t w4_g^t \quad \forall g \quad (17)$$

$$w4_g^t \leq iw4_g^t \quad \forall g \quad (18)$$

$$w5_g = tw31_g + tw32_g + tw4_g \quad \forall g \quad (19)$$

رابطه (۱) بیانگر تابع سود می‌باشد که به شرط رعایت معادلات مدل حداکثر می‌شود.

$$\text{Max: } \pi = \sum_g \sum_k (PX_g^k YX_g^k) - \sum_g \sum_k (CX_g^k X_g^k) - \sum_g (PW_g \text{ Totalpower}_g) \quad (1)$$

انتخاب محصولات در الگوی کشت و سطح زیرکشت آنها دارای شرایط و محدودیت‌هایی است که در قالب معادلات به مدل معرفی می‌شود. با توجه به تعدد معادلات، برخی از مهم‌ترین آنها در اینجا ذکر می‌گردد. روابط (۲ تا ۵) میزان مصرف انرژی (کیلووات در هکتار) را به تفکیک محصولات بهاره و پاییزه و تحت روش آبیاری سنتی و کرتی نشان می‌دهد.

$$poww_f_g^{wf} = \sum_t (kw_g^t a_g^{t wf}) / (pow rtr_g r_f g wellcoef_g^t) \quad \forall g, w \quad (2)$$

$$pows_f_g^{sf} = \sum_t (ks_g^t a_g^{t sf}) / (pow rtr_g r_f g wellcoef_g^t) \quad \forall g, s \quad (3)$$

$$powwn_f_g^{wp} = \sum_t (kw_g^t a_g^{t wp}) / (pow rtr_g r_f g wellcoef_g^t) + \sum_t (kw_g^t a_g^{t wp}) / (pow f rtr_g rnf_g) \quad \forall g, wp \quad (4)$$

$$powsn_f_g^{sp} = \sum_t (ks_g^t a_g^{t sp}) / (pow rtr_g r_f g wellcoef_g^t) + \sum_t (ks_g^t a_g^{t sp}) / (pownf rtr_g rnf_g) \quad \forall g, sp \quad (5)$$

رابطه (۶) میزان مصرف انرژی آب پمپاژ شده از استخر را نشان می‌دهد.

$$powerpool_g = powpool \sum_t wpool_g^t \quad \forall g \quad (6)$$

رابطه (۷) بیانگر میزان کل انرژی مصرف شده در هر یک از شهرستان‌های مورد مطالعه است.

$$\text{totalpower}_g = \sum_w poww_f_g^w X_g^w + \sum_s pows_f_g^s X_g^s + \sum_w powwn_f_g^w X_g^w + \sum_s powsn_f_g^s X_g^s + powerpool_g \quad \forall g \quad (7)$$

معادله (۳۰) تعادل بین تولید، مصرف و واردات و صادرات بین ناحیه‌ای و بیرون از ناحیه را نشان می‌دهد.

$$yyx_g^y - tm_g^y + im_g^y + imf_g^y - ex_g^y - exf_g^y = 0 \quad \forall g, y \quad (30)$$

سناریوهای زیر مورد بررسی قرار گرفتند:

الف: افزایش غیرمستقیم قیمت آب از طریق افزایش قیمت انرژی تا حد تعادل در آب‌های زیرزمینی.

ب: کاهش برداشت آب از چاه‌ها که شامل زیرسناریوهای: ۱-

حذف چاه‌های غیرمجاز، ۲- کاهش دبی چاه‌های مجاز تا حد

موازنه دشت، ۳- کاهش دبی چاه‌های مجاز و غیرمجاز تا حد

موازنه دشت با یک نسبت (با توجه به احتمال اعطای مجوز به

برخی چاه‌های غیرمجاز)، ۴- کاهش دبی چاه‌های غیرمجاز به

میزان دو برابر چاه‌های مجاز تا حد موازنه دشت، ۵- حذف

چاه‌های غیرمجاز و کاهش دبی چاه‌های مجاز تا حد موازنه دشت.

ج: حذف محصولات غیراستراتژیک از الگوی کاشت که شامل

زیرسناریوهای: ۱- حذف کلیه محصولات غیراستراتژیک، ۲-

حذف خربزه و هندوانه، ۳- کاهش سطح زیرکشت محصولات

غیراستراتژیک تا حد کاهش مصرف آب در سناریوی دوم.

د: افزایش راندمان آبیاری شامل افزایش راندمان انتقال و توزیع از

متوسط فعلی h_0 به h_1 و افزایش راندمان مصرف می‌باشد. تغییر

راندمان مصرف به دو شیوه بررسی شد. ۱- افزایش راندمان

سیستم‌های نوین آبیاری از میانگین فعلی f_0 به f_1 , f_2 . ۲-

جایگزینی سیستم‌های نوین آبیاری به جای کرتی. در سناریوی

جایگزینی سیستم‌های جدید نیز دو زیر سناریو که شامل: ۱-

توسعه سامانه‌های نوین آبیاری تا حد پتانسیل منطقه و بدون

ایجاد محدودیت در کل سطح زیرکشت و ۲- جایگزینی بدون

افزایش کل سطح زیرکشت، بررسی گردید. با توجه به اینکه

سیستم‌های نوین آبیاری با افزایش عملکرد همراه بوده و دامنه آن

رابطه (۲۰) مقدار آب مورد نیاز سر مزرعه در ماه‌های مختلف در شهرستان‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

$$ra_g^{needwater} = \sum_w kw_g^t a_g^{tw} X_g^w + \sum_s ks_g^t a_g^{ts} X_g^s + \sum_{wp} kw_g^t a_g^{tw} X_g^{wp} + \sum_{sp} ks_g^t a_g^{ts} X_g^{sp} + wats_g^t \quad \forall g, t \quad (20)$$

کل آب استحصال شده از چاه‌ها از رابطه (۲۱)، محاسبه می‌شود.

محدودیت آب پمپاژ شده از استخرها در رابطه (۲۲) و محدودیت

آب در دسترس در رابطه (۲۳) بیان شده است. در این رابطه

امکان انتقال آب به دوره بعدی از طریق ذخیره‌سازی فراهم شده

است.

$$tw_g^t = w31_g^t + w32_g^t + w4_g^t \quad \forall g, t \quad (21)$$

$$pool_g^t \leq pool_0 + ca \, pol_g \quad \forall g, t \quad (22)$$

$$needwater_g^t + wpool_g^t - wpool_g^{t-1} \leq tw_g^t \quad \forall g, t \quad (23)$$

روابط (۲۴ و ۲۵) کل سطح زیرکشت آبیاری کرتی و نوین و رابطه

(۲۶) میانگین راندمان کاربرد آبیاری را محاسبه می‌کند.

$$txf_g = \sum_y X_g^y + Xof_g + Xbf_g \quad \forall g \quad (24)$$

$$\sum_{yp} X_g^{yp} + Xonf_g + Xbnf_g \quad \forall g \quad (25)$$

$$ra_g = \frac{txf_g rfg + txnf_g rnf_g}{txf_g + txnf_g} \quad \forall g \quad (26)$$

میزان نفوذ آب به منابع آب زیرزمینی در مرحله انتقال از رابطه

(۲۷) و در مرحله مصرف از رابطه (۲۸) برآورد گردیده است.

$$d1_g = k3_g w5_g (1 - rtr_g) \quad \forall g \quad (27)$$

$$d2_g = k4_g w5_g rtr_g (1 - ra_g) \quad \forall g \quad (28)$$

میزان کسری مخزن پس از اجرای سناریوها از رابطه (۲۹)

به دست می‌آید.

$$def_g = def_0 + (w5_g - d1_g - d2_g) - ext_0_g \quad \forall g \quad (29)$$

متغیر، بین ۱۰ تا ۴۰ درصد ارزیابی گردید (ضرایب e1 تا e4). بنابراین هر یک از این دو زیر سناریو در ترکیب با افزایش عملکرد در هکتار، در قالب ۲۴ زیر سناریوی دیگر بررسی شد (جدول ۳).

بین ۱۰ تا ۴۰ درصد گزارش شده است. در این بررسی افزایش عملکرد در زمین‌های مجهز به این سامانه‌ها به طور میانگین ۲۰ درصد (ضریب e2) در نظر گرفته شد و حساسیت مدل به این

جدول ۳ مشخصات سناریوهای افزایش راندمان آبیاری

شهرستان	افزایش راندمان انتقال و توزیع		افزایش راندمان مصرف		تغییر ضریب عملکرد		پتانسیل افزایش سطح زیرکشت سیستم‌های نوین آبیاری (هکتار)		طول لوله انتقال (کیلومتر)	
	مقدار فعلی (h0)	سناریو (h1)	مقدار فعلی (f0)	سناریو (f1)	سناریو (e1)	سناریو (e3)	سناریو (e4)	زراعی	باغی	انتقال
تربت جام	۰/۷۳	۰/۹۵	۰/۶۶۶	۰/۷۵	۱/۱	۱/۳	۱/۴	۸۳۳۷	۲۲۷۷	۳۰۵۷
تربت حیدریه	۰/۷۸	۰/۹۵	۰/۶۶۶	۰/۷۵	۱/۱	۱/۳	۵۴۶۰	۲۶۶۴	۲۳۷۱	
سبزوار	۰/۵۵	۰/۹۵	۰/۶۶۶	۰/۷۵	۱/۱	۱/۳	۱۳۳۳۲	۲۰۱۰	۳۶۵	
مشهد	۰/۶۸	۰/۹۵	۰/۶۶۶	۰/۷۵	۱/۱	۱/۳	۱۳۴۶۸	۲۰۷۱	۹۳۹	
نیشابور	۰/۷۱	۰/۹۵	۰/۶۶۶	۰/۷۵	۱/۱	۱/۳	۲۱۸۰۲	۶۴۲	۵۸۲	

نتایج و بحث

الف- تأثیر سیاست‌های قیمتی

شهرستان‌های مورد مطالعه در جدول (۴) ذکر گردیده است. همانطور که ملاحظه می‌شود سیاست افزایش قیمت انرژی در شهرستان‌های مورد مطالعه نتایج متفاوتی دارد که ناشی از تفاوت در الگوی کشت، کسری مخازن، و هزینه و درآمد محصولات مناطق مورد مطالعه است. در شهرستان تربت جام با وجود حذف چغندر قند در قیمت ۱۵ برابری، کسری مخزن ۷۵ درصد کاهش یافته است و به تعادل نرسیده‌ایم اما در شهرستان سبزوار با افزایش قیمت از سه برابر به ۴ برابر از مرز تعادل آب‌های زیرزمینی نیز عبور کرده و نه تنها کسری مخزن نداریم بلکه سطح زیرکشت چغندر قند در الگو نیز تغییر نمی‌کند. این وضعیت در نیشابور نیز وجود دارد اما در شهرستان تربت حیدریه در نقطه تعادل تنها سطح زیر کشت چغندر قند در سیستم‌های نوین کاهش می‌یابد و در شهرستان مشهد رسیدن در نقطه تعادل مساوی است با حذف چغندر قند از الگوی کشت. در تمام شهرستان‌ها با افزایش

افزایش غیرمستقیم قیمت آب با افزایش قیمت برق موجب تغییر الگوی کشت می‌شود و سطح زیرکشت محصولاتی که ارزش تولید نهایی آب مصرفی آن‌ها (ارزش یک واحد افزایش محصول تولیدی به ازای اختصاص یک واحد آب اضافه) کمتر از هزینه آب باشد، کاهش و به محصولات دیگر اختصاص می‌یابد. از آنجا که در مدل، نیاز آبی ماهانه برآورد شده، زمان نیز در این تخصیص کاملاً مؤثر بوده و در زمان‌هایی که محصولات برای آب با یکدیگر رقابت می‌کنند شاخص ارزش نهایی تولید تعیین کننده خواهد بود. از آنجا که در شرایط فعلی هزینه برداشت آب شامل هزینه جاری الکتروموتور و هزینه‌های تعمیرات می‌باشد، لذا اعمال سیاست افزایش قیمت آب از طریق افزایش قیمت انرژی میسر است (Shah et al. 2008). تأثیر سیاست افزایش غیرمستقیم قیمت آب بر سطح زیرکشت چغندر قند در

واردات چغندر قند ۵/۲۶ درصد و کاهش اشتغال ناشی از کاهش سطح زیرکشت کلیه محصولات ۲۷ درصد بوده و درآمد کشاورزان ۶۳ درصد کاهش خواهد یافت. در ضریب قیمتی ۲۴، که تراز برداشت پنج شهرستان مثبت می‌شود کاهش سطح زیر کشت چغندر قند ۷۴ درصد بوده و میزان واردات آن ۲۹ درصد افزایش و اشتغال ۶۰ درصد کاهش می‌یابد. اگر چه قیمت تمام شده چغندر قند در روش کرتی ۱۲۴، و در روش آبیاری نوین بیش از ۲۳۰ درصد افزایش خواهد یافت، اما در این مطالعه فرض شده که تبعات افزایش قیمت تمام شده از طریق افزایش واردات جبران می‌شود و قیمت‌های داخلی برای کلیه محصولات ثابت است. لذا هزینه‌های این سیاست، در کاهش درآمد کشاورزان، افزایش واردات و کاهش اشتغال خود را نشان می‌دهد.

قیمت برق، ابتدا سطح زیرکشت در روش‌های نوین آبیاری کم می‌شود که این وضعیت به خاطر مصرف بیشتر انرژی، علیرغم افزایش راندمان مصرف آب در این سیستم‌ها و در نظر گرفتن افزایش عملکرد ۲۰ درصدی است. همچنین قیمتی که در آن کاهش مصرف آب باعث ایجاد تعادل در آب‌های زیرزمینی شود نیز متفاوت است. از این رو اجرای این سیاست در عمل به عنوان سیاستی مستقل جهت ایجاد تعادل در برداشت آب قابل انجام نیست. اعمال سیاست قیمتی یکسان باعث افزایش ایجاد تراز مثبت در برخی شهرستان‌ها و کاهش شدید تولیدات می‌گردد. در ضریب قیمتی ۱۳، اگر چه برخی شهرستان‌ها کسری تراز برداشت دارند اما به علت مازاد آب در برخی شهرستان‌ها، میانگین برداشت آب تراز مثبت را نشان می‌دهد در این قیمت میزان افزایش

جدول ۴ تأثیر افزایش قیمت برق بر سطح زیرکشت چغندر قند و کسری مخزن

کاهش کسری مخزن (درصد)	تغییر سطح زیرکشت (درصد)			ضریب قیمت (چند برابر)	شهرستان
	جمع دو روش	نوین	کرتی		
۱۷	۰	۰	۰	۱-۱۱	تریت جام
۵۷	-۲۷	-۱۰۰	۰	۱۲-۱۳	
۶۶	-۶۶	-۱۰۰	-۵۴	۱۴	
۷۵	-۱۰۰	-۱۰۰	-۱۰۰	۱۵	
۹۳	۰	۰	۰	۱-۱۷	تریت حیدریه
۱۱۵	-۴۰	-۱۰۰	۰	۱۸	
۲۴	۰	-	۰	۱-۳	سبزوار
۱۲۸	۰	-	۰	۴	
۷۵	۰	۰	۰	۱-۱۸	مشهد
۹۳	-۱۷	-۱۰۰	۰	۱۹-۲۳	
۱۳۵	-۱۰۰	-۱۰۰	-۱۰۰	۲۴	
۹۵	۰	۰	۰	۱-۸	نیشابور
۱۰۰	۰	۰	۰	۹	
۲۶	۰	۰	۰	۵	جمع
۸۱	-۴	۰	-۶	۱۰	
۱۲۴	۱۳	۳۱	۶	۱۳	

ب- کاهش برداشت از چاه

به گزینه افزایش قیمت، سناریو بسیار بهتری است زیرا علاوه بر ایجاد تعادل، مانع از کاهش درآمد قابل توجهی در درآمد کشاورزان می‌گردد. در این سیاست میزان کاهش سطح زیرکشت کمتر بوده و تعادل برداشت نیز در کلیه شهرستان‌ها برقرار است.

ج- حذف محصولات غیراستراتژیک

اجرای سیاست حذف محصولات غیراستراتژیک تأثیری بر سطح زیرکشت چغندرقد به روش کرتی نداشته و تنها یک درصد به سطح زیرکشت به روش آبیاری نوین افزوده است. اجرای این سیاست به ترتیب برای سه زیر سناریو ۵۲، ۲۴ و ۳۲ درصد از درآمد کشاورزان کم کرده و کسری مخزن را به ترتیب ۱۳۲، ۴۶ و ۹۲ درصد کاهش داده است.

به غیر از زیرسناریو حذف چاه‌های غیرمجاز (زیر سناریو اول) در بقیه زیرسناریوها، کاهش برداشت آب از چاه تا مرز مثبت شدن تراز برداشت خواهد بود که نتایج آن در جدول (۵) ذکر شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود حذف چاه‌های غیرمجاز اگر چه در مجموع ۴۶ درصد از کسری مخازن می‌کاهد اما سطح زیرکشت چغندرقد را تنها ۶ درصد کاهش می‌دهد. سناریوهای کاهش برداشت تا حد موازنه، بین ۲۳ تا ۳۹ درصد سطح زیرکشت چغندرقد را کاهش می‌دهد. دلیل اصلی که زیرسناریو ۵ علی‌رغم ایجاد تعادل بیش از زیرسناریو ۳ و ۴ سطح زیرکشت را کاهش می‌دهد، کاهش برداشت آب در این زیرسناریو در زمان‌های تداخل و اوج مصرف آب می‌باشد که کل ترکیب الگو را هم تحت تأثیر قرار می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود این سناریو نسبت

جدول ۵ تأثیر زیرسناریوهای کاهش برداشت آب بر درصد تغییر سطح زیرکشت، تولید و واردات چغندرقد، اشتغال و درآمد کشاورزان

درآمد کشاورزان	اشتغال						واردات	تولید	سطح زیرکشت			کسری مخزن	
	کل	نیشابور	مشهد	سبزوار	تربت حیدریه	تربت جام			کل	نوین	کرتی	کل شهرستان‌ها	زیر سناریو
-۸	-۸	-۱۶	-۱۲	-۴	-۵	-۲	۲	-۶	-۶	-۹	-۵	-۴۶	۱
-۱۱۶	-۱۷	-۱۳	-۱۳	-۱۴	-۱۸	-۲۲	۱۹	-۵۰	-۴۹	-۲۱	-۶۱	-۱۰۰	۲
-۱۱/۹	-۱۶	-۱۳	-۱۲	-۱۴	-۱۸	-۲۲	۱۰	-۲۶	-۲۳	-۲۲	-۲۴	-۱۰۰	۳
-۱۱/۹	-۱۶	-۱۳	-۱۲	-۱۴	-۱۸	-۲۲	۱۰	-۲۶	-۲۳	-۲۲	-۲۴	-۱۰۰	۴
-۱۴/۷	-۱۶	-۱۳	-۱۲	-۱۲	-۱۸	-۲۲	۱۵	-۴۰	-۳۹	-۳۱	-۴۲	-۱۰۰	۵

د: افزایش راندمان آبیاری

راندمان آبیاری بر الگوی کشت و سطح زیرکشت چغندرقد به شرط عدم کنترل کل سطح زیرکشت محصولات، بررسی گردید. جدول (۶) نتایج اولین زیر سناریو را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود افزایش راندمان انتقال و توزیع آب، بین ۶ تا ۸ درصد سطح زیرکشت چغندرقد در روش آبیاری سنتی را افزایش داده، اما تأثیری بر سطح زیرکشت آبیاری نوین چغندرقد نداشته است. در صورتی که کل سطح زیرکشت تا ۳۲ درصد نیز افزایش

با فرض کنترل سطح زیرکشت و عدم تغییر الگوی کشت، افزایش راندمان انتقال، توزیع و مصرف آب به شدت کسری مخازن را کاهش می‌دهد به طوری که جبران کسری مخزن در شهرستان‌های مختلف بین ۷۰ تا بیش از صد درصد خواهد بود (Zare et al. 2017)؛ اما از آنجا که افزایش راندمان آبیاری با تغییر الگوی کشت همراه است، از این رو در اینجا تأثیر افزایش

حفظ و یا افزایش سطح زیرکشت چغندرقد در الگوی کشت، یا باید عملکرد این محصول نسبت به سایر محصولات افزایش یابد و یا درصد افزایش قیمت بالاتری نسبت به سایر محصولات داشته باشد. در اینجا به دلیل اینکه کل سطح زیرکشت افزایش یافته، میزان کسری آب زیرزمینی کم شده و البته در مواردی افزایش یافته است اما با توجه به افزایش تولید و کاهش مصرف انرژی، در مواردی که کاهش کسری مخزن اتفاق افتاده (به استثنای *elfoho*) هر واحد صرفه‌جویی نه تنها برای کشور و کشاورزان هزینه نداشته بلکه سود نیز داشته است.

داشته است. افزایش عملکرد ۱۰ درصدی در روش آبیاری نوین (زیرسناریوهای *e1*) نسبت به وضعیت فعلی (۲۰ درصد افزایش عملکرد) منجر به کاهش سطح زیرکشت چغندرقد به روش نوین می‌گردد. افزایش راندمان کاربرد آبیاری در سیستم‌های نوین منجر به کاهش سطح زیرکشت چغندرقد به روش آبیاری سنتی شده اما تأثیری بر افزایش سطح آن به روش نوین نداشته است. حتی اگر کلیه محصولات الگوی کشت در روش آبیاری نوین ۴۰ درصد افزایش عملکرد داشته باشند (*e4*) با افزایش راندمان کاربرد آبیاری سطح زیرکشت چغندرقد در روش کرتی کاهش می‌یابد. بنابراین در شرایط افزایش راندمان آبیاری هم، جهت

جدول ۶ تأثیر افزایش راندمان آبیاری و توسعه سیستم‌های نوین آبیاری در شرایط عدم کنترل کل سطح زیرکشت بر درصد تغییر کسری مخزن و سطح زیرکشت چغندرقد در الگوی کشت

تغییر کسری مخزن	روش آبیاری نوین	روش آبیاری کرتی	زیرسناریو			تغییر کسری مخزن	روش آبیاری نوین	روش آبیاری کرتی	زیرسناریو		
-۳	۰/۰۰	۵/۹۷	h0	f0	e3	-۸	-۴۹/۵۷	۵/۹۷	h0	f0	e1
-۶	۰/۰۰	۵/۹۷	h1	f0	e3	-۱۰	۰/۰۰	۵/۹۷	h1	f0	e1
-۶	۰/۰۰	-۱۹/۷۸	h0	f1	e3	-۱	-۲۴/۹۴	۵/۹۷	h0	f1	e1
-۲۹	۰/۰۰	۵/۹۷	h1	f1	e3	-۳۲	۰/۰۰	۵/۹۷	h1	f1	e1
-۹	۰/۰۰	-۵/۱۹	h0	f2	e3	۲	۰/۰۰	۵/۹۷	h0	f2	e1
-۵۳	۰/۰۰	۵/۹۷	h1	f2	e3	-۵۵	۰/۰۰	۵/۹۷	h1	f2	e1
-۲	۰/۰۰	-۱۳/۰۱	h0	f0	e4	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	h0	f0	e2
-۶	۰/۰۰	۵/۹۷	h1	f0	e4	۸	۰/۰۰	۵/۹۷	h1	f0	e2
-۶	۰/۰۰	-۱۹/۰۶	h0	f1	e4	۵	۰/۰۰	-۵/۱۵	h0	f1	e2
-۲۹	۰/۰۰	۵/۹۷	h1	f1	e4	-۱۴	۰/۰۰	۵/۹۷	h1	f1	e2
-۹	۰/۰۰	-۵/۱۹	h0	f2	e4	۳	۰/۰۰	۵/۹۷	h0	f2	e2
-۵۳	۰/۰۰	۵/۹۷	h1	f2	e4	-۵۳	۰/۰۰	۵/۹۷	h1	f2	e2

می‌یابد (سناریوهای مشترک با *h1fo*). افزایش راندمان مصرف در سیستم‌های نوین به ۷۵ درصد (سناریوهای مشترک با *h0f1*) با عملکردهای *e0* و *e1*) منجر به افزایش سطح زیرکشت چغندرقد در سیستم‌های سنتی و کاهش سطح زیرکشت در سیستم‌های نوین می‌شود. در واقع افزایش عملکرد و کاهش مصرف آب در

در صورتی که با افزایش راندمان آبیاری کل سطح زیرکشت کنترل شود (فقط امکان جایگزینی روش‌های آبیاری سنتی بوسیله روش‌های نوین وجود داشته باشد) نتایج متفاوت خواهد بود (جدول ۷). در این حالت با افزایش راندمان انتقال و توزیع، ۲۲ درصد سطح زیرکشت چغندرقد افزایش

افزایش راندمان انتقال و توزیع آب، سطح زیرکشت چغندرقد به روش کرتی را افزایش می‌دهد اما افزایش راندمان مصرف با توجه به میزان افزایش آن و همچنین مقدار تغییر در عملکرد نتایج متفاوتی را برای تغییر سطح زیرکشت این محصول به هر دو روش آبیاری رقم می‌زند. در اینجا تغییر کسری مخزن آب بیش از حالت قبل است و اگر چه در برخی شهرستانها (ترتت جام، ترتت حیدریه و سبزوار) این تغییر مثبت نمی‌شود اما در مجموع حوزه‌ها کاهش کسری مخزن تا ۱۱۱ درصد و مثبت شدن تراز به میزان ۱۱ درصد نیز قابل حصول است ($h1f2e4$). همچنین کشاورزان در کلیه سناریوها (به استثنای $h0f0e1$ و $h0f1e1$) برای آب صرفه‌جویی شده نه تنها هزینه‌ای پرداخت نمی‌کنند بلکه درآمدشان نیز افزایش می‌یابد دولت نیز اگر چه هزینه‌هایش افزایش می‌یابد اما خالص منافع اجتماعی ناشی از افزایش تولید و کاهش واردات مثبت می‌گردد.

سیستم‌های نوین به حدی نیست که به‌تواند جبران هزینه‌های افزایش یافته در این سیستم‌ها برای چغندرقد را بنماید. اما اگر این افزایش راندمان مصرف به ۸۵ درصد برسد (سناریوهای مشترک با $h0f2$ با عملکردهای $e0$ و $e1$) در آن صورت سطح زیر کشت چغندرقد به روش کرتی ثابت و یا افزایش یافته و سطح زیرکشت در سیستم‌های نوین کاهش کمتری خواهد داشت. اما در عملکردهای $e3$ و $e4$ سطح زیرکشت سیستم‌های نوین در کلیه راندمان‌های آبیاری بدون تغییر خواهد بود. اگر عملکرد در هکتار سیستم‌های نوین برای کلیه محصولات به یک نسبت افزایش یابد اما راندمان مصرف آب در سطح فعلی باشد (سناریوهای مشترک با $h0f0$) سطح زیرکشت چغندرقد در سیستم‌های کرتی کاهش خواهد داشت. از این رو در شرایط فعلی افزایش درصد عملکرد برای چغندرقد باید بیش از سایر محصولات باشد تا این محصول بتواند پیروز رقابت در الگوی کشت باشد. در مجموع مقایسه تیمارها می‌توان نتیجه گرفت که

جدول ۷ تأثیر افزایش راندمان آبیاری و توسعه سیستم‌های نوین آبیاری در شرایط کنترل کل سطح زیرکشت بر درصد تغییر کسری مخزن و سطح زیرکشت چغندرقد در الگوی کشت

تغییر کسری مخزن (درصد)	روش آبیاری نوین (درصد)	روش آبیاری کرتی (درصد)	زیرسناریو			تغییر کسری مخزن (درصد)	روش آبیاری نوین (درصد)	روش آبیاری کرتی (درصد)	زیرسناریو		
-۲۲	.	-۱۱	h0	f0	e3	-۶	.	.	h0	f0	e0
-۶۵	.	۲۲	h1	f0	e3	-۶۳	.	۲۲	h1	f0	e0
-۳۴	.	-۱۱	h0	f1	e3	-۲۷	-۲۳	۱۵	h0	f1	e0
-۸۲	.	۲۲	h1	f1	e3	-۷۸	.	۲۲	h1	f1	e0
-۴۹	.	۲۲	h0	f2	e3	-۴۰	-۴	۲۲	h0	f2	e0
-۱۰۷	.	۲۲	h1	f2	e3	-۹۴	.	۲۲	h1	f2	e0
-۲۵	.	-۲۳	h0	f0	e4	-۲	-۵۰	۲۲	h0	f0	e1
-۷۳	.	۲۲	h1	f0	e4	-۶۲	.	۲۲	h1	f0	e1
-۳۶	.	-۱۱	h0	f1	e4	-۱۲	-۳۷	۲۲	h0	f1	e1
-۹۲	.	۲۲	h1	f1	e4	-۷۴	.	۲۲	h1	f1	e1
-۵۰	.	۲۲	h0	f2	e4	-۲۲	-۹	۲۲	h0	f2	e1
-۱۱۱	.	۲۲	h1	f2	e4	-۸۷	.	۲۲	h1	f2	e1

نتیجه گیری

سهمی در سیستم‌های نوین داشته باشد باید به گونه‌ای مدیریت شود که عملکرد آن بیش از سایر محصولات افزایش یابد. در غیراین صورت، توسعه سطح زیرکشت این محصول با سیستم‌های نوین توجیه نداشته و در الگوی کشت سایر محصولات به روش سیستم‌های نوین، انتخاب و آبیاری خواهند شد. البته سطح زیرکشت چغندرقد به روش کرتی به واسطه افزایش سطح زیرکشت سایر محصولات به روش آبیاری نوین، افزایش خواهد داشت.

این مطالعه نشان داد که سیاست‌های افزایش قیمت آب از طریق افزایش قیمت انرژی و کاهش برداشت آب از چاه‌ها، منجر به کاهش سطح زیرکشت چغندرقد خواهد شد هر چند سیاست کاهش برداشت تأثیر کمتری دارد اما افزایش راندمان آبیاری و توسعه این سیستم‌ها به همراه کنترل سطح زیرکشت گزینه‌های مناسب‌تری بوده و سطح زیرکشت این محصول را در الگوی کشت افزایش می‌دهد. در صورتی که این محصول بخواهد

منابع مورد استفاده:

References:

- Ahmad M, Turrall H, Masih I, Giordano M, Masood M. Water saving technologies: Myths and realities revealed in pakistan's rice-wheat systems: IWMI-International Water Management Institute; 2007. 48 p.
- Ahmadpour M, Sabouhi M. Water pricing in agricultural sector using interval mathematical programming: The case study of Dashtestan. *Agricultural Economics*. 2009;3(3):121-41. (in Persian, abstract in English)
- Alizadeh A, Majidi N, Ghorbani M, Mohammadian F. Cropping pattern optimization with target balancing of ground water resources : Case study of mashhad-chenaran plain, iran. *Iranian Journal of Irrigation and drainage*. 2012; 6(1):55-68. (in Persian, abstract in English)
- Baghani J. Comparative effects of drip and furrow irrigation on the amount and water use efficiency and yield in row crop. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 2008; 2(2):11-8. (in Persian, abstract in English)
- Bakhshi A, Moghaddsi R, Daneshvar Kakhki M. An application of positive mathematical programming model to analyze the effects of alternative policies to water pricing in mashhad plain. *Agricultural Economics and Development*. 2012; 25(3):284-94. (in Persian, abstract in English)
- Balali H, Viaggi D. Applying a system dynamics approach for modeling groundwater dynamics to depletion under different economical and climate change scenarios. *Water*. 2015; 7(10):5258-71.
- Balali H, Khalilian S, Ahmadian M. Analysis of impacts of irrigation water pricing on groundwater balance. *Journal of Agricultural Economics and Developments*. 2010; 24(2):185-94. (in Persian, abstract in English)
- Chen S, Wang Y, Zhu T. Exploring china's farmer-level water-saving mechanisms: Analysis of an experiment conducted in taocheng district, hebei province. *Water*. 2014; 6(3):547-63.
- Doppler W, Salman AZ, Al-Karablieh EK, Wolff H-P. The impact of water price strategies on the allocation of irrigation water: The case of the Jordan Valley. *Agricultural Water Management*. 2002; 55(3):171-82.

- Endo T. Groundwater management: A search for better policy combinations. *Water Policy*. 2015; 17(2):332-48.
- Huang Q, Rozelle S, Howitt R, Wang J, Huang J. Irrigation water pricing policy in China. *American Agricultural Economics Association Annual Meeting*; 2006 July 23-26; Long beach, California 2007; p. 1-50
- Kahil MT, Albiac J, Dinar A, Calvo E, Esteban E, Avella L, Garciamolla M. Improving the performance of water policies: Evidence from drought in Spain. *Water*. 2016; 8(2):34.
- Mamitimin Y, Feike T, Doluschitz R. Bayesian network modeling to improve water pricing practices in northwest China. *Water*. 2015; (10):5617-37.
- Manos B, Bournaris T, Kamruzzaman M, Begum M, Anjuman A, Papathanasiou J. Regional impact of irrigation water pricing in Greece under alternative scenarios of European policy: A multicriteria analysis. *Regional Studies*. 2006; 40(9):1055-68.
- Mao X, Jia J, Liu C, Hou Z. A simulation and prediction of agricultural irrigation on groundwater in well irrigation area of the piedmont of Mt. Taihang, North China. *Hydrological Processes*. 2005; 19(10):2071-84.
- Ministry of Agriculture-Jahad. 2006-2016. *Agricultural statistics, Volume one: crops*. Planning and Economic Adjutancy, Information and Communication Technology Center. Available from: <http://www.maj.ir/>.
- Mohammadi H, Ahmadpour Borazjani M, Ziaee S, Fakhri B.A, Ramrodi, M. Optimal cropping pattern of sugar beet growers with emphasis on price and yield risk: the case of Fasa district. *Journal of Sugar Beet*. 2014; 29(2):229-240.
- Nikooie AR, Bagheri A, Solaimanipour A, Shirvanian A, Zare Sh, Nemati A, Ebrahimian HR. Investigation of sugar beet employment value in Iran. *Journal of Sugar Beet*. 2007; 23(1):93-108. (in Persian, abstract in English)
- Pakravan MR, Mehrabi Boshroabadi H. Determining economic value and demand function of water in producing sugar beet in Kerman. *Iranian Water Research Journal*. 2010; 4(6):90-83. (in Persian, abstract in English)
- Pfeiffer L. Three essays on the economics of groundwater extraction for agriculture: Property rights, externalities, and policy [Phd]. Davis: University of California; 2009.
- Rogers P, De Silva R, Bhatia R. Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. *Water Policy*. 2002; 4(1):1-17.
- Sabouhi M, Azadegan E. Irrigation water pricing: The case study of Mashhad-Chenaran Plain. *Journal of Agricultural Economics and Development*. 2014; 28(2):185-96. (in Persian, abstract in English)
- Shah T, Bhatt S, Shah R, Talati J. Groundwater governance through electricity supply management: Assessing an innovative intervention in Gujarat, western India. *Agricultural Water Management*. 2008; 95(11):1233-42.
- Shamsoddini E, Mohammadi H, Rezaei MR. Determining economic value of water in sugar beet growing in Marvdasht district. *Journal of Sugar Beet*. 2010; 26(1):93-103. (in Persian, abstract in English)

- Singh A. Groundwater resources management through the applications of simulation modeling: A review. *Science of the Total Environment*. 2014; 499:414-23.
- Soleymani E, Hajizadeh F. Challenges and problems of agricultural water supply in khorasan razavi province. *Infrastructure Studies Office*; 2009 nov. 10 p. Report No.: 9943 (in Persian)
- Tsur Y, Dinar A. The relative efficiency and implementation costs of alternative methods for pricing irrigation water. *The World Bank Economic Review*. 1997; 11(2):243-62.
- Velayati SA. An investigation on the water crisis in Khorasan province. *Modarres Human Sciences, Special Issue Geography*. 2006; 10(tome 48):213-234. (in Persian, abstract in English)
- Zare Sh, Mohammadi H, Sabouhi M. Simulation of developing modern irrigation systems on groundwater resources balance of Khorasan Razavi. *Journal of Agricultural Economics and developments*. 2017; 31(2):179-195. (in Persian, abstract in English)
- Zare Sh, Shahbazi HA. Economic analysis of water allocation in Khorasan sugar beet crop systems. *Journal of Sugar Beet*. 2006; 22(2):91-107. (in Persian, abstract in English)
- Zare Sh. Study of comparative advantage of agricultural products in khorasan province. *Khorasan Agricultural and Natural Resources Research Center*; 2002 aug. 68 p. Report No.: 81.235 (in Persian)
- Zhong S, Shen L, Sha J, Okiyama M, Tokunaga S, Liu L, Yan J. Assessing the water parallel pricing system against drought in China: A study based on a cge model with multi-provincial irrigation water. *Water*. 2015; 7(7):3431-65.