

## ارزیابی اثر برنامه‌های سیاستی جهت دستیابی به هدف پایداری منابع

### آب در دشت قزوین

مصطفی مردانی نجف آبادی<sup>۱</sup>\* و عباس میرزایی<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۹

#### چکیده

محدودیت‌های توسعه منابع آب به دلیل خشکسالی و تغییرات اقلیم، مدیریت ضعیف و تلفات زیاد آب در کشاورزی، کاربرد سیاست‌های مدیریت منابع آب را ضروری می‌سازد. بنابراین، در این مطالعه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی به تحلیل سیاست‌های گوناگون مدیریت منابع آب در سطح مزارع دشت قزوین پرداخته و سپس برای مقایسه سیاست‌های گوناگون، نتایج بدست آمده از مدل هنجاری نیز استخراج و با نتایج مدل اثباتی مقایسه شود. داده‌ها از راه مراجعه به ادارات مربوطه استان قزوین و هم‌چنین، از راه پرسش‌نامه از ۱۱۸ کشاورز که به صورت نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب شده‌اند، در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ استخراج شد. نتایج مطالعه نشان دادند که اعمال سیاست کاهش ۱۰ درصد آب آبیاری در دسترس کشاورزان برای مزارع کوچک‌تر از ۲۵ هکتار در دشت قزوین، کشاورزان را به مدیریت صحیح منابع آب تشویق می‌کند. به گونه‌ای که به ترتیب منجر به کاهش مصرف آب حدود ۱۰ و ۱۶ درصد برای مزارع کوچک و متوسط می‌شود، اما برای تشویق کشاورزان به مدیریت صحیح منابع آب در مزارع بزرگ دشت قزوین (مزارع بزرگ‌تر از ۲۵ هکتار)، اعمال سیاست افزایش ۵۰ درصدی قیمت آب توصیه می‌شود. هم‌چنین، نتایج نشان دادند که با اعمال سناریوهای مدیریتی بویژه برای مزارع بزرگ، کشت محصولات با استراتژی کاهش آبیاری افزایش می‌یابد. در پایان پیشنهاد می‌شود که برای مزارع بزرگ دشت قزوین حق آبه کافی آب در نظر گرفته شود، اما برای تعدیل مصرف آب این مزارع قیمت بالاتری برای آن تعیین شود، اما برای مزارع کوچک‌تر این دشت، حق آبه کم‌تر و با قیمت پایین‌تر به ازای هر هکتار سطح زیر کشت به نسبت مزارع بزرگ‌تر پیشنهاد می‌شود.

طبقه‌بندی JEL: c61, e64

**واژه‌های کلیدی:** سیاست‌های مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی، برنامه‌ریزی ریاضی هنجاری، دشت قزوین.

<sup>۱</sup> - استادیار اقتصاد کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه اقتصاد کشاورزی.

\*- نویسنده مسئول مقاله: m.mardani@asnrukh.ac.ir

### پیشگفتار

از مهم‌ترین وظایف بخش کشاورزی، دستیابی به خودکفایی، تأمین امنیت غذایی و نیز افزایش تولید محصولات راهبردی با توجه به محدودیت‌های موجود می‌باشد. این در حالی است که محدودیت‌های اقلیمی گوناگونی مانند خشکسالی، در بسیاری از سال‌ها به‌عنوان چالشی بزرگ در برابر توسعه کشاورزی کشور مطرح بوده است. بویژه خشکسالی‌های شدید و تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر، چالش‌های زیادی را در مقابل برنامه ریزان کشورها برای استفاده پایدار از منابع آب، حفظ محیط زیست و تولید مواد غذایی کافی قرار داده و این امر منجر به یک بحران جهانی شده است (ویل هیت<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵؛ اُ ای سی دی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶). محدودیت‌های توسعه منابع آب به دلیل خشکسالی و تغییرات اقلیم، مدیریت ضعیف و تلفات زیاد آب در کشاورزی، کاربرد سیاست‌های مدیریت منابع آب همچون تخصیص دوباره منابع آب، قیمت‌گذاری آب و سیاست‌های دیگر را ضروری می‌سازد (کی، ۲۰۰۸).

از جمله دلایل مهم انتخاب دشت قزوین به‌عنوان محدوده مطالعاتی این پژوهش، واقع شدن آن در استانی (استان قزوین) است که دارای ظرفیت‌ها و پتانسیل‌ها فراوان در بخش کشاورزی و شرایط خاص جغرافیایی مربوط به خود می‌باشد. استانی که هم اکنون با ۴۸۹ هزار هکتار اراضی کشاورزی و دارا بودن کم‌تر از یک درصد خاک کشور، بیش از ۳/۵ درصد از تولید بخش کشاورزی کشور را به خود اختصاص داده است و سالانه قادر به تولید ۴ میلیون تن محصولات زراعی، باغی و دامی می‌باشد که این مهم بیانگر اهمیت این استان بخصوص دشت قزوین در ایجاد اشتغال (بر اساس آمار ارایه شده از سوی مرکز آمار ایران جمعیت شاغل استان در سال ۱۳۸۵ به مقدار ۳۴۰۷۴۲ نفر بوده که ۲۵ درصد آن بهره‌برداران بخش کشاورزی می‌باشند) و امنیت غذایی کشور است.

استان قزوین با داشتن سومین دشت کشاورزی در کشور جایگاه خاصی در تأمین مواد غذایی کشور دارد. برداشت بیش از حد و وجود بیش از ۲۵۰۰ حلقه چاه غیرمجاز در استان قزوین با حجم برداشت ۳۵۰ میلیون مترمکعب افت مستمر سطح آب زیرزمینی را در پی داشته که این کاهش آثار نامطلوبی در منطقه به دنبال داشته است. هم اکنون بیش از ۳۵۰ میلیون مترمکعب کسری مخازن در استان وجود دارد که اگر بخواهیم دشت با بی‌آبی مواجه نشود باید این مقدار به‌سرعت کنترل و جبران شود (موسسه تحقیقات آب، ۱۳۸۷).

<sup>۱</sup>- Wilhite

<sup>۲</sup>- OECD

برخی مطالعات انجام گرفته در زمینه مدیریت منابع آب در ایران، به تأثیر ابزار قیمت بر افزایش کارایی مصرف منابع آب در بخش کشاورزی پرداختند که نتایج آن‌ها مبین این است که گروه‌های گوناگون کشاورزان در مقابل افزایش بهای آب، واکنش‌هایی متفاوت نسبت به کاهش مصرف آب در هکتار نشان می‌دهند (زیبایی و همکاران، ۱۳۸۴؛ شجری و ترکمانی، ۱۳۸۶). به این معنی که کشاورزان تا قبل از یک قیمت آستانه‌ای نسبت به افزایش تعرفه‌های آب حساس نیستند. در خارج از کشور نیز برخی مطالعات به نقش افزایش قیمت در کاهش مقدار تقاضای و مدیریت منابع آب پرداخته‌اند (گریفین<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱؛ یانگ و ژانگ<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳).

از راهکارهای دیگر برای مدیریت منابع آب تغییر الگوی کشت بشمار می‌آید. تخصیص بهینه آب به محصولات زراعی گوناگون از راه تغییر الگوی کشت، از اهداف بسیاری از مطالعات از جمله مطالعه بندر و سیمونویک<sup>۳</sup> (۲۰۰۰)، بارتولینی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۷)، در راستای ارتقاء کارایی اقتصادی استفاده از آب بوده است. مطالعات داخلی سلطانی و صبوحی (۱۳۸۷) و اسد فلسفی زاده و صبوحی (۱۳۸۹) نیز نشان دادند که تغییر الگوی کشت در مناطق کشاورزی ایران، از جمله راهکارهای افزایش کارایی اقتصادی استفاده از آب است. هم‌چنین، پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای به بررسی تغییر سطح زیر کشت چغندر قند در دشت قزوین پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان دادند که افزایش سطح زیر کشت چغندر در مزارع بزرگ منجر به کاهش مصرف تمامی نهاده‌ها شد، اما برای مزارع کوچک و متوسط این تغییر الگوی کشت منجر به افزایش مصرف تمامی نهاده‌ها شده است.

توسعه سامانه‌های آبیاری آب اندوز به عنوان یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده در مدیریت منابع آب جهت بهبود کارایی اقتصادی مصرف آب مطرح شده است (زیبایی، ۱۳۸۶؛ نیکویی و زیبایی، ۱۳۹۱؛ برینگار و وارد، ۲۰۰۹؛ وارد، ۲۰۱۴). اما نتایج مطالعه زیبایی و همکاران (۱۳۸۴) موفقیت چنین سامانه‌هایی را بسته به نسبت زمین قابل کشت و موجودی منابع آب می‌دانند. کاهش آب آبیاری دسترس از دیگر راهکارهاست که در زمینه مدیریت منابع آب می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. سیاست کاهش آب در دسترس در مطالعات مظفری (۱۳۹۴)، پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۴) و رحمتی و خلیلیان (۱۳۹۶) برای دشت قزوین مورد بررسی قرار گرفت و نتایج متفاوت بدست آمد. در مطالعه مظفری (۱۳۹۴) سیاست کاهش آب در دسترس در مقایسه با سیاست افزایش قیمت به دلیل کاهش کم‌تر بازده برنامه‌ای کشاورزان، بهتر ارزیابی شده است.

<sup>۱</sup>- Griffin

<sup>۲</sup>- Yang and Zhang

<sup>۳</sup>- Bender and Simonovic

<sup>۴</sup>- Bartolini and et al.

حال آنکه در مطالعه پرهیزکاری و همکاری (۱۳۹۴) سیاست افزایش قیمت در مقایسه با سیاست کاهش آب در دسترس، سیاستی مناسب‌تر تعیین شد. در مطالعه‌ی رحمتی و خلیلیان (۱۳۹۶) نیز مشخص شد که سناریوی کاهش عرضه آب به همراه قیمت‌گذاری ثابت اثرات بهتری دارد و میزان مصرف آب را بیشتر کاهش داده و از سود زارع نماینده مقدار کمتری کاسته شده است. امروزه سیاست‌هایی از جمله انتقال آب بین حوضه‌ای و همچنین، ایجاد بازار آب به عنوان یک راهکار مدیریتی منابع آب مورد توجه سیاست‌گذاران قرار گرفته است (کیانی، ۱۳۸۸؛ کرامت زاده و همکاران، ۱۳۹۰؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۴؛ پوجول و همکاران، ۲۰۰۵).

در تمامی مطالعات مروری بررسی شده از مدل‌های گوناگون برنامه‌ریزی ریاضی برای تحلیل سیاست‌ها استفاده شده است. مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی نیز خود به سه دسته مدل‌های برنامه‌ریزی هنجاری<sup>۱</sup> (NMP) یا مدل‌های بهینه‌سازی، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی<sup>۲</sup> (PMP) و مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی اقتصادسنجی<sup>۳</sup> (EMP) تقسیم می‌شوند (بایس، ۲۰۰۶). اکثر مطالعات از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی برای این منظور بهره‌برده‌اند (صبحی و همکاران، ۱۳۸۵؛ زمانی، ۱۳۹۰؛ نیکویی و زیبایی، ۱۳۹۱؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۴؛ وزیری و همکاران، ۱۳۹۵؛ آتانه و باریرو، ۲۰۰۶؛ میاتا و فوجی، ۲۰۰۷؛ کورتیگنانی و سورینی، ۲۰۱۱؛ هویت و همکاران، ۲۰۱۲؛ علی و کین، ۲۰۱۴؛ گوهر و کاشمن، ۲۰۱۶). برخی مطالعات نیز وجود دارند که از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی گوناگون تجویزی بهره‌برده‌اند. مدل‌های NMP (تجویزی) فقط یک جواب بهینه را از بین جواب‌های ممکن انتخاب می‌کند، اما تحلیل سیاست بر اساس مدل‌های تجویزی که تفاوت فاحشی بین نتایج مدل و سطح موجود فعالیت‌ها نشان می‌دهند، در حالت کلی قابل قبول نیست. با این حال، سنجش یا اضافه کردن محدودیت‌های غیرخطی نیز رضایت‌بخش نیست. مدل‌هایی که به شدت دارای محدودیت‌های اضافی می‌شوند، فقط زیر مجموعه‌ای از نتایج هنجاری که محدودیت‌های سنجش دیکته می‌کند را بدست می‌دهند. به این دلیل نتایج سیاست‌سازی به مجموعه‌ای از محدودیت‌ها که صرفاً برای سال و نه برای بررسی تغییر سیاست‌ها مناسب‌اند، محدود می‌شود. این مسئله زمانی که مدل منطقه‌ای با تعداد کمی محدودیت تجربی، اما با دامنه‌ای گسترده از تنوع محصولات زراعی طراحی می‌شود، تشدید می‌شود (هکلی و بریتز، ۲۰۰۰). افزون بر آن، نتیجه اعمال یک سیاست و اثرگذاری آن تا حد زیادی وابسته به چگونگی واکنش بهره‌برداران نسبت به سیاست اعمال شده است. واکنش بهره‌برداران نیز وابسته به شرایط مزرعه، نگرش و ویژگی‌های فردی آن‌ها هست. استفاده از مدل برنامه‌ریزی اثباتی به فرد سیاست‌گذار در بخش

<sup>۱</sup>- Normative Mathematical Programming (NMP)

<sup>۲</sup>- Positive Mathematical Programming (PMP)

<sup>۳</sup>- Econometric Mathematical Programming (EMP)

کشاورزی کمک می‌کند تا بتواند با اطمینان بالایی از نتایج اجرای سیاست‌های مورد نظر و واکنش بهره‌برداران نسبت به آن‌ها آگاه شود؛ به عبارت دیگر پیش از آن که تصمیم به سیاست‌گذاری گرفته شود، اما نتایج مدل برنامه‌ریزی تجویزی می‌تواند به‌عنوان بهترین حالت مورد نظر و یک آرمان و هدف تلقی شود که رسیدن و نزدیکی به آن از راه اجرای سیاست‌های گوناگون امکانپذیر است. از اینرو در این مطالعه، ابتدا با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی به تحلیل سیاست‌های گوناگون مدیریت منابع آب در سطح مزارع دشت قزوین پرداخته که نتایج این قسمت مطالعه برگرفته از مطالعه‌ی رحمتی و خلیلیان (۱۳۹۶) می‌باشد. اما در این مطالعه در ادامه برای مقایسه سیاست‌های گوناگون، نتایج بدست آمده از مدل هنجاری نیز استخراج و با نتایج مدل اثباتی مقایسه گردید که چنین تحلیلی تاکنون برای دشت مورد نظر صورت نگرفته است.

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه داده‌ها به‌صورت مقطعی با مصاحبه حضوری و با استفاده از پرسش‌نامه در دشت قزوین و برگرفته از مطالعه‌ی رحمتی و خلیلیان (۱۳۹۶) گردآوری شد. در ابتدا، با استفاده از یک روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دومرحله‌ای از میان ده کانال آبیاری پایین‌دست سد به ترتیب کانال‌های شماره ۲، ۴، ۷ و ۸ انتخاب شدند و در گام بعد با استفاده از جدول مورگان و از بین کانال‌های انتخاب شده به‌صورت تصادفی تعداد ۱۱۸ زارع انتخاب و با مراجعه به آنان اقدام به تکمیل پرسش‌نامه شد. سپس، همگن‌سازی کشاورزان بر اساس سطح زیر کشت انجام شد. بدین‌صورت که کشاورزان بر اساس اندازه مزرعه و تحلیل خوشه‌ای به سه گروه مطابق جدول زیر تقسیم شدند.

در پایان، با استفاده از روش میانه مزارع، برای هر گروه از بهره‌برداران یک مزرعه نماینده ساخته و تحلیل سیاست‌ها بر روی این مزارع صورت گرفت. برای بررسی اثرات افزایش قیمت آب آبیاری و کاهش منابع آبی در سطح مزارع دشت قزوین، اقدام به سناریوسازی شد. برنامه ششم توسعه این اجازه را داده است که در طول برنامه، قیمت آب به هزینه تمام شده آن نزدیک شود. از این‌رو، دولت در راستای این برنامه از نیمه دوم سال ۱۳۹۶ اقدام به افزایش قیمت آب خواهد کرد (وزارت نیرو، ۱۳۹۶) که سناریوهای گوناگونی برای افزایش قیمت در دست بررسی است. براساس سناریوهای افزایش قیمت آب کشاورزی در سال ۱۳۹۰ که به وسیله دولت اجرایی شد، مجلس افزایش ۲۰ درصدی را پیشنهاد داده بود، حال آنکه دولت افزایش ۵۰ درصدی را مد نظر داشت. حال در این مطالعه، افزایش دوبرابری قیمت آب (افزایش ۱۰۰ درصدی) برای پوشش کامل هزینه‌های تأمین آب در دشت مورد نظر و سیاست معتدلتر افزایش ۵۰ درصدی مطابق با نظر دولت در سال ۱۳۹۰ را تحت مطالعه قرار داده‌ایم. کاهش آب در دسترس نیز یکی از سیاست‌های مورد نظر

می‌باشد. با توجه به داده‌های ایستگاههای هیدرومتری آب‌های سطحی در دشت قزوین، در هر سال میانگین حجم آبدهی در ایستگاههای مورد نظر، تقریباً به مقدار ۱۰ درصد کاهش یافته است. بنابراین، کاهش ۱۰ درصدی آب در دسترس کشاورزان به‌عنوان سناریوی مورد نظر، بررسی شد. این داده‌ها برای تخمین پیامدهای سیاست‌های منابع آبی در سطح مزارع و تأثیر آن بر ابعاد پایداری آنالیز می‌گردند. بدین منظور، ابتدا متغیرها و محدودیت‌ها به‌گونه کامل تعریف می‌شوند. هدف این مطالعه، پیشینه کردن بازده برنامه‌ای (سود ناخالص) کشاورز در نظر گرفته شده است.

$$Max Z_i = \sum_{i=1}^n (P_i Y_i - TVC_i) X_i \quad (1)$$

در این رابطه  $P_i$ : قیمت محصول  $i$ ،  $TVC_i$ : هزینه خرید نهاده‌های متغیر تولید کود شیمیایی و حیوانی، سم و بذر و نیروی کار و ماشین‌آلات و هزینه‌های مربوط به هر مترمکعب آب از درآمد حاصل از کشت یک هکتار محصول  $i$  در طول فصل زراعی،  $X_i$ : متغیر تصمیم و سطح زیر کشت محصول  $i$  است. زمانی که آب محدود است و هدف تخصیص بهینه منابع آبی نیز وجود دارد چنین مدل‌هایی به دلیل عدم تخصیص بهینه آب از کارایی لازم برخوردار نیست؛ بنابراین، ضروری است که استراتژی‌های آبیاری متفاوتی برای هر محصول در نظر گرفته شود. برای این منظور چهار سطح آبیاری برای هر یک از محصولات شامل آبیاری کامل، آبیاری با ۹۰ درصد نیاز آبی محصول، آبیاری با ۸۰ درصد نیاز آبی محصول و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه در نظر گرفته شد (محسنی و زیبایی، ۱۳۸۷). محدودیت‌های مدل بالا نیز شامل محدودیت‌های مربوط به زمین زراعی، نیروی کار، منابع آبی، کود شیمیایی، سموم شیمیایی و سرمایه نیز در مدل یاد شده لحاظ شده‌اند که به ترتیب در روابط زیر بیان شده‌اند.

$$\sum_{i=1}^n X_i^{land} \leq X_s^{land} \quad (2)$$

در رابطه اخیر متغیر  $X_i^{land}$  بیانگر سطح زیر کشت محصول  $i$  و متغیر  $X_s^{land}$  کل زمین موجود برای مزرعه نماینده در فصل  $s$  است.

$$\sum_{i=1}^n L_i X_i \leq Labor_s \quad (3)$$

در رابطه بالا متغیر  $L_i X_i$  بیانگر تعداد نیروی کار مورد نیاز فعالیت  $i$  و در رابطه بالا  $Labor_s$  کل نیروی کار موجود برای مزرعه نماینده در فصل  $s$  است.

$$\sum_{i=1}^n W_i X_i \leq Water_m \quad (4)$$

در این رابطه  $W_i X_i$  نشانگر مقدار مصرف آب برای هر فعالیت و  $Water_m$  کل آب موجود در مزرعه نماینده در ماه  $m$  می‌باشد.

$$\sum_{i=1}^n F_i X_i \leq \text{Fertilizer}_T \quad (۵)$$

که در آن  $n$  تعداد محصولات،  $F_i$  مقدار کود مورد نیاز در هر هکتار برای محصول  $i$  در سال زراعی، fertilizer نیز بیانگر مقدار موجود و در دسترس کود در سال زراعی است.

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i \leq \text{pesticides}_T \quad (۶)$$

که در آن  $n$  تعداد محصولات،  $P_i$  مقدار هر یک از سموم علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش مورد نیاز در سال به ازای هکتار برای محصول  $i$  و pesticides نیز مقدار موجود و در دسترس هر یک از افت‌کش‌ها است.

$$\sum_{i=1}^n K_i X_i \leq \text{Capital}_T \quad (۷)$$

که در آن  $K$  مقدار سرمایه مورد نظر به ازای هر هکتار برای محصول  $i$  در سال زراعی و Capital مقدار موجود و در دسترس سرمایه در سال زراعی مورد نظر است. روش PMP که نخستین بار به وسیله هویت در سال ۱۹۹۵ مطرح شد، به‌عنوان رایج‌ترین روش کاربردی برای کالیبراسیون یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی طی سه مرحله انجام می‌شود که به شرح زیر می‌باشند.

**مرحله اول: تصریح مدل برنامه‌ریزی خطی با در نظر گرفتن محدودیت‌های کالیبراسیون**  
در مرحله اول محدودیت‌های کالیبراسیون، به مجموعه محدودیت‌های منابع یک مدل برنامه‌ریزی خطی اضافه می‌شوند و این محدودیت‌ها سطح فعالیت‌ها را به سطوح مشاهده شده دوره پایه مقید می‌کنند (پاریس و هویت، ۱۹۹۸).

$$\text{Max } Z = R'X - C'X \quad (۸)$$

$$\text{s. t } \quad Ax \leq b[\pi]$$

$$x \leq (x_{\text{obs}} + \varepsilon)[\lambda] \quad x \geq 0$$

در معادلات بالا  $Z$ : تابع هدف،  $R$ : بردار درآمد محصولات،  $X$ : فعالیت‌های تولید،  $C$ : هزینه‌های متغیر هر واحد نهاده،  $A$ : ماتریس ضرایب فنی،  $b$ : سطح موجودی منابع،  $\lambda$ : قیمت‌های سایه‌ای منابع،  $X_{\text{obs}}$ : سطوح فعالیت مشاهده شده در سال پایه،  $\varepsilon$ : برداری از اعداد کوچک مثبت و  $p$ : قیمت سایه‌ای مربوط به قید کالیبره شده هست. با حل مدل بالا مقادیر دوگان مربوط به محدودیت‌های یاد شده که بیان‌گر قیمت سایه‌ای محصولات تولید شده می‌باشند، محاسبه می‌شوند.

**مرحله دوم: کاربرد مقادیر قیمت‌های سایه‌ای جهت محاسبه تابع هزینه غیرخطی**

در مرحله دوم، مقادیر دوگان به دست آمده از مرحله اول برای تخمین پارامترهای تابع هزینه غیرخطی مورد استفاده قرار می‌گیرند (بخشی و پیکانی، ۱۳۹۰). معمولاً برای آسانی محاسبه و فقدان دلایل قوی برای انتخاب توابع دیگر، از تابع هزینه متغیر درجه دوم زیر استفاده می‌شود.

$$C'' = d'x + \frac{1}{2}x'Qx \quad (9)$$

در معادله بالا  $C''$  پارامتر هزینه،  $d$ : بردار  $(n*1)$  از پارامترهای مربوط به جزء خطی تابع هزینه،  $Q$ : ماتریس متقارن مثبت معین  $(n*n)$  از پارامترهای مربوط به جزء درجه دوم تابع هزینه است. این تابع هزینه غیرخطی با این شرط که هزینه متغیر نهایی فعالیت‌ها با مجموع هزینه حسابداری فعالیت‌ها ( $C$ ) و متغیر دوگان محدودیت کالیبراسیون ( $p$ ) برابر باشد، بدست می‌آید؛ بنابراین پارامترهای تابع هزینه بایستی با شرط زیر محاسبه شوند.

$$MC'' = \frac{\partial c^v(x^0)}{\partial x} = d + Qx^0 = c + \lambda \quad (10)$$

در این رابطه بایستی  $n$  پارامتر برای بردار  $d$  و به علت متغیر بودن  $Q$ ،  $n(n+1)$  پارامتر برای  $Q$  محاسبه شوند و در کل بایستی مقدار عددی  $n+n(n+1)/2$  پارامتر بدست آورده شود. منتها فقط  $n$  معادله (برای هر محصول یک معادله) در این رابطه وجود دارد. به چنین مسائلی که تعداد پارامترهایی که بایستی محاسبه شوند بیش‌تر از تعداد معادلات است، مسائل ill-posed گفته می‌شود. پاریس و هویت استفاده از ماکزیمم آنتروپی را بمنظور یافتن همه  $n+n(n+1)$  پارامتر بردار  $d$  و ماتریس  $Q$  پیشنهاد کردند. این روش نخستین‌بار به وسیله شانون ۱۹۴۸ مطرح شد. روابط فرمولی ماکزیمم آنتروپی برای تخمین پارامترهای  $d$  و  $Q$  به صورت زیر است. در این روابط  $H$  بیانگر آنتروپی مدل است که بایستی بیشینه شود. محدودیت نخست رابطه کلیدی موجود در PMP است که دارای درجه‌ی آزادی منفی است و در قسمت پیش توضیح داده شد، دو محدودیت بعدی ماتریس‌های  $d$  و  $Q$  را تعریف می‌کنند دو تساوی آخر برای متقارن بودن ماتریس  $Q$  اضافه شده است و دو معادله ما قبل آخر نیز این مطلب را بیان می‌کنند که مجموع احتمالات باید برابر یک باشد. متغیرهای دیگر نیز پیش‌تر تعریف شده‌اند.

$$\max H(p) = - \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^n p d_{k,j} \ln p d_{k,j} - \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p q_{k,i,j} \ln p q_{k,i,j} \quad (11)$$

Subject to:

$$d_i + \sum_{j=1}^n q_{i,j} x_j^{obs} = c_i + \lambda_i, \forall i$$

$$d_i = \sum_{k=1}^k p d_{k,j} z d_{k,j}, \forall i$$



$$q_{i,j} = \sum_{k=1}^k p q_{k,i,j} z q_{k,i,j}, \forall i, j$$

$$\sum_{k=1}^k p d_{k,i} = 1, \forall i$$

$$\sum_{k=1}^k p q_{k,i,j} = 1, \forall i, j$$

$$q_{i,j} = q_{j,i}$$

با استفاده از روابط بالا می‌توان تمامی عناصر بردار  $d$  و  $Q$  را بدست آورد؛ اما این روابط تضمین نمی‌کنند که شرایط مرتبه‌ی دوم برای تابع هزینه بدست آمده صادق باشد که برای بررسی شرایط مرتبه دوم از تجزیه چالسکی استفاده شد. بدین منظور که ماتریس  $Q$  به حاصل ضرب یک ماتریس پائین مثلثی ( $L$ ) و ترانهاده آن که یک ماتریس بالا مثلثی ( $L'$ ) است، تبدیل می‌شود که آن را می‌توان به صورت زیر نشان داد (پاریس و هویت، ۱۹۹۸).

$$Q = LL' \quad (12)$$

با اضافه کردن این معادلات به عنوان محدودیت در روابط (۱۳) و اعمال این شرط که اجزای قطری ماتریس  $Q$  بزرگ‌تر از صفر باشند، می‌توان تضمین کرد که شرایط مرتبه دوم برای تابع هزینه بدست آمده صدق کند.

### مرحله‌ی سوم: ساخت مدل برنامه‌ریزی غیرخطی نهایی برای تحلیل سیاست‌ها

در مرحله سوم تابع هزینه‌ی غیرخطی برآورد شده در مرحله دوم در تابع هدف مسئله اولیه مورد بررسی قرار داده شده و در یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی شبیه به مسئله اولیه به استثناء محدودیت‌های کالیبراسیون ولی همراه با سایر محدودیت‌های سیستمی مورد استفاده قرار می‌گیرد و رابطه (۱۳) را بدست می‌دهد.

$$\text{Max } z = p'x - d'x - \frac{1}{2}x'Qx \quad (13)$$

$$\text{s. t } \quad Ax \leq b$$

$$x \geq 0$$

## نتایج و بحث

### اثرات اعمال سیاست‌های منابع آبی بر مزرعه نماینده گروه اول

بر اساس مطالعه محسنی و زیبایی (۱۳۸۷)، چهار سطح آبیاری برای هر یک از محصولات شامل آبیاری کامل، آبیاری با ۹۰ درصد نیاز آبی محصول، آبیاری با ۸۰ درصد نیاز آبی محصول و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه در نظر گرفته شد. که از شماره ۱ تا ۴ محصول بیانگر این استراتژی‌های آبیاری است. زارع نماینده این گروه به کشت محصولات گندم و جو می‌پردازد. مجموع سطح زیر کشت گندم و جو مورد استراتژی‌های آبیاری گوناگون به ترتیب ۵/۱ و ۲/۶۸ هکتار است. کل مصرف آب سالانه این مزرعه نماینده ۶۷۱۳۰ مترمکعب و سود ناخالص آن در این سال برابر ۱۸,۹۲۳,۰۰۰ تومان است. از این‌رو، نتایج مدل برنامه‌ریزی اثباتی برای تحلیل سه سناریوی افزایش ۵۰ (سناریوی اول) و ۱۰۰ درصدی قیمت آب (سناریوی دوم) و کاهش ۱۰ درصدی آب در دسترس (سناریوی سوم) در جدول ۲ ارائه شده است.

همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود، اگر قیمت آب افزایش یابد در مزرعه نماینده گروه نخست مجموع سطح زیر کشت گندم تحت استراتژی‌های آبیاری گوناگون، به ترتیب سناریوهای افزایش قیمت، معادل ۹ و ۱۳ درصد کاهش یافته و به مقدار ۴/۶۳ و ۴/۴۶ هکتار رسیده است. در صورتی که اگر مقدار منابع آبی در دسترس کاهش یابد (سناریوی ۳)، مجموع سطح زیر کشت گندم مورد استراتژی‌های آبیاری گوناگون، معادل ۲۲ درصد نسبت به سال پایه کاهش یافته و به رقم ۳/۹۶ هکتار رسیده است که این مقدار در مقایسه با سناریوهای قیمتی بیش‌تر است. همان‌گونه که مشخص است از میان محصولات گندم گوناگون، تنها سطح کشت محصول گندم در شرایط آبیاری کامل (گندم ۱) با اعمال سناریوهای مدیریتی، نسبت به سال پایه کاهش داشته است و سایر محصولات گندم با اعمال سناریوهای مدیریتی، افزایش سطح زیر کشت نسبت به سال پایه را نشان می‌دهند. از میان محصولات متفاوت گندم مورد استراتژی‌های آبیاری گوناگون، گندم تولیدی با استراتژی ۱۰ درصد کم آبیاری (گندم ۲) بیش‌ترین افزایش سطح زیر کشت را با اعمال سناریوهای مدیریتی آب داراست. به گونه‌ای که از سطح زیر کشت ۰/۵ در سال پایه به کشت ۱/۸۱ هکتار مورد سناریوی کاهش ۱۰ درصدی آب در دسترس (سناریوی ۳) رسیده است. بر خلاف محصول گندم مورد استراتژی آبیاری کامل (گندم ۱)، کشت محصول جو مورد تمامی استراتژی‌های آبیاری با اعمال سناریوهای مدیریتی افزایش می‌یابد، اما بین استراتژی‌های آبیاری متفاوت جو، استراتژی شماره یک (استراتژی آبیاری کامل) افزایش قابل ملاحظه‌تری یافته است. به گونه‌ای که از کشت ۲ هکتار در سال پایه به کشت ۲/۶۶ هکتار مورد اعمال سناریوی ۳ مدیریتی رسیده است.

جدول ۲ هم‌چنین، نشان می‌دهد که با اعمال تمامی سناریوهای مدیریتی، مصرف آب و بازده برنامه‌ای نسبت به سال پایه کاهش یافته است. به گونه‌ای که مقادیر کاهش مصرف آب در سناریوهای قیمتی به ترتیب معادل ۴ و ۵ درصد نسبت به سال پایه است، اما مقدار کاهش مصرف آب در سناریوی کاهش منابع آبی در دسترس (سناریوی ۳)، معادل ۹ درصد نسبت به سال پایه می‌باشد که به مراتب بیش‌تر از اثر سناریوهای قیمتی است. مقدار کاهش سود بهره‌بردار در سناریوی افزایش قیمت بیش‌تر از سناریوهای کاهش مقدار آب در دسترس است به گونه‌ای که در سناریوی اول و دوم به ترتیب معادل ۱۳ و ۲۳ درصد کاهش سود نسبت به سال پایه بوده اما در سناریوی سوم مقدار کاهش سود بهره‌بردار معادل ۱۲ درصد به نسبت سال پایه است که در مقایسه با دو سناریوی دیگر وضعیت بهتری دارد.

### اثرات اعمال سیاست‌های منابع آبی بر مزرعه نماینده گروه دوم

زارع نماینده این گروه به کشت محصولات گندم، چغندر و لوبیا می‌پردازد. مجموع سطح زیر کشت گندم، چغندر و لوبیا مورد استراتژی‌های آبیاری گوناگون به ترتیب ۶/۱۵، ۴/۹ و ۳/۸ هکتار است. کل مصرف آب سالانه این مزرعه نماینده، ۱۸۵۶۵۷ مترمکعب و سود ناخالص آن در این سال برابر ۴۸،۸۹۶،۰۰۰ تومان است. از اینرو، نتایج مدل برنامه‌ریزی اثباتی برای تحلیل سه سناریوی افزایش ۵۰ (سناریوی اول) و ۱۰۰ درصدی قیمت آب (سناریوی دوم) و کاهش ۱۰ درصدی آب در دسترس (سناریوی سوم) در جدول ۳ آمده است.

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، سطح زیر کشت مجموع گندم مورد استراتژی‌های آبیاری گوناگون در تمامی سناریوهای مدیریت منابع آب نسبت به حالت پایه بدون تغییر مانده است. در بین فعالیت‌های گندم، سطح زیر کشت گندم شماره ۴ برخلاف سایر محصولات گندم، با اعمال سناریوهای مدیریتی نسبت به حالت پایه افزایش یافته است. به گونه‌ای که سطح زیر کشت آن از ۰/۵ هکتار در شرایط پایه به ۳/۸۳ هکتار با اعمال سناریوی ۳ رسیده است، اما در بین محصولات بهاره، مجموع سطح زیر کشت چغندرقند به ترتیب سناریوهای افزایش قیمت آب (سناریو ۱ و ۲)، ۷ و ۹ درصد کاهش یافته و به مجموع سطح زیر کشت لوبیا اضافه می‌شود.

هم‌چنین، داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که سطح زیر کشت چغندرقند شماره ۲ به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. دلایل این امر این است که نخست، محصول چغندرقند نیاز آبی بالاتری نسبت به لوبیا دارد و دوم این که چغندرقند شماره ۲ عملکرد به‌صرفه‌تری داشته اگرچه نیاز آبی بالاتری نسبت به دو چغندرقند دیگر (شماره‌های ۳ و ۴) دارد و به همین جهت به سطح زیرکشت این محصول بیش‌تر افزوده می‌شود.

با اعمال سناریوهای مدیریتی، مقدار مصرف آب در صورت افزایش ۵۰ و ۱۰۰ درصدی قیمت آب به ترتیب معادل ۶ و ۸ درصد نسبت به حالت پایه کاهش می‌یابد. مقدار سود بهره‌بردار نماینده نیز نسبت به سال پایه معادل ۱۷ و ۲۸ درصد کاهش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی سناریوی سوم (۱۰ درصد کاهش منابع آبی در دسترس به همراه ثابت بودن آب‌بها) نشان می‌دهد که سطح زیر کشت لوبیا به‌ویژه لوبیا شماره ۴ بیش‌تر از دو سناریوی قبلی افزایش می‌یابد و برای چغندر قند نتیجه عکس اتفاق می‌افتد، اما اگر ۱۰ درصد مقدار آب در دسترس کم شود مقدار سود بهره‌بردار معادل ۲۰ درصد به نسبت شرایط پایه کم می‌شود که در مقایسه با سناریوهای قیمتی قابل قبول‌تر است. همچنین، در صورت وجود سناریوی سوم، مقدار نهاده‌های سم و کود بیش‌تر کاهش می‌یابند.

#### اثرات اعمال سیاست‌های منابع آبی بر مزرعه نماینده گروه سوم

زارع نماینده این گروه به کشت محصولات گندم، کلزا، گوجه فرنگی و ذرت می‌پردازد. مجموع سطح زیر کشت گندم، کلزا، گوجه فرنگی و ذرت مورد استراتژی‌های آبیاری گوناگون به ترتیب ۸، ۵ و ۶ هکتار است. کل مصرف آب سالانه این مزرعه نماینده، ۲۶۷۸۸۰ مترمکعب و سود ناخالص آن در این سال برابر ۷۳,۴۹۰,۰۰۰ تومان است. از اینرو، نتایج مدل برنامه‌ریزی اثباتی برای تحلیل سه سناریوی افزایش ۵۰ (سناریوی اول) و ۱۰۰ درصدی قیمت آب (سناریوی دوم) و کاهش ۱۰ درصدی آب در دسترس (سناریوی سوم) در جدول (۴) آمده است.

بر اساس سناریوهای قیمتی مجموع سطح زیر کشت محصول گندم و کلزا به نسبت سال پایه، بدون تغییر مانده است، اما از مجموع سطح زیر کشت گوجه فرنگی کاسته و به محصول ذرت افزوده می‌شود. به دلیل نیاز بالای آبی گوجه‌فرنگی، با اعمال سناریوهای افزایش قیمت ۵۰ و ۱۰۰ درصدی آب، کاهش سطح زیر کشت را برای فعالیت‌های متفاوت آن و برای محصول ذرت، افزایش سطح زیر کشت را در پی دارد. در اثر اعمال سناریوی سوم تغییرات الگوی کشت در راستای همان تغییرات سناریوهای قیمت نیست بلکه متفاوت‌تر از آن است به گونه‌ای که به مجموع سطح زیر کشت گندم معادل ۲۰ درصد سال پایه افزوده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی مدل برای مجموع سطح زیر کشت کلزا نیز ۲۰ درصد کاهش را نشان می‌دهد.

بر اساس سناریوی کاهش ۱۰ درصدی منابع آب در دسترس، مجموع سطح زیر کشت گندم در مقایسه با شرایط پایه افزایش یافته و از ۸ هکتار به ۹/۵۷ هکتار رسیده است. در حالی که مجموع سطح زیر کشت محصول کلزا با اعمال این سناریو به نسبت شرایط پایه کاهش یافته و از ۸ هکتار به ۶/۴۴ هکتار رسیده است، اما دلیل امر این است که نیاز آبی کلزا کمی بیش‌تر از گندم است؛ اما تغییرات کم‌تر آن در سناریوها به دلیل بازده برنامه‌ای بهتر آن نسبت به گندم است. مورد اعمال هر

دو سناریوی افزایش قیمت آب (سناریوهای ۱ و ۲)، مصرف آب معادل ۲ درصد کاهش و مقدار سود بهره‌بردار نیز به ترتیب معادل ۱۱ و ۲۰ درصد به نسبت شرایط پایه کاهش می‌یابد. همچنین، بر اساس جدول بالا مشاهده می‌شود که با اعمال سناریوی کاهش ۱۰ درصدی منابع آب در دسترس مقدار مصرف آب به نسبت شرایط پایه، معادل ۱۱ درصد و سود بهره‌بردار نماینده معادل ۱۸ درصد به نسبت شرایط پایه کم می‌شود. همچنین، مقدار مصرف سموم و کودهای شیمیایی در این سناریو نسبت به سال پایه کاهش یافته است. تاکنون نتایج حاصله از حل مدل اثباتی برگرفته از مطالعه‌ی رحمتی و خلیلیان (۱۳۹۶) می‌باشد که پس از این تحلیل، شرایط بهینه تحت هر کدام از سناریوهای مختلف نیز با استفاده از مدل برنامه‌ریزی هنجاری استخراج گردید که نتایج کلی آن در جداول زیر و در مقایسه با مدل اثباتی آمده است.

نتایج جداول نشان می‌دهد به دلیل این‌که در مدل هنجاری، هدف بیشینه‌سازی سود با توجه به محدودیت‌ها انجام می‌گیرد، تنها دو محصول گندم و جو با استراتژی آبیاری کامل در الگوی کشت جای دارند. چرا که سود بیش‌تری را نصیب زارع کرده و محدودیت آب نیز مانع از کشت آن‌ها نمی‌شود. مقایسه نتایج نشان می‌دهند که برای مزرعه نماینده گروه اول (مزارع کمتر از ۱۲ هکتار) و گروه دوم (مزارع بین ۱۲ هکتار تا ۲۵ هکتار)، در سناریو ۳ آنچه اتفاق می‌افتد براساس شبیه‌سازی واکنش کشاورزان با حالت بهینه در این شرایط فاصله زیادی ندارد. به گونه‌ای بازده برنامه‌ای که هدف زارع است به شرایط بهینه بسیار نزدیک می‌باشد. به بیان دیگر، رفتار کشاورزان نزدیک به شرایط بهینه است، اما برای سناریوی افزایش ۱۰۰ درصدی قیمت آب، شرایط بهینه فاصله به نسبت بیش‌تری از شبیه‌سازی رفتار کشاورزان دارد. بنابراین، در مورد مزارع کوچک و متوسط دشت قزوین می‌توان نتیجه گرفت که سناریوی کاهش ۱۰ درصدی آب در دسترس به مراتب بهتر از سناریوهای افزایش قیمت آب است. چرا که بازده برنامه‌ای کشاورزان به کاهش ۱۰ درصدی آب در دسترس از بازده برنامه‌ای آن‌ها به افزایش قیمت آب، به شرایط بهینه نزدیک‌تر است. این بدین مفهوم است که مزارع زیر ۲۵ هکتار (مزارع کوچک و متوسط) در دشت قزوین با اعمال سیاست افزایش قیمت آب، الگوی کشت خود را به گونه‌ای تنظیم می‌کنند که از شرایط بهینه فاصله می‌گیرند، اما نتایج برای مزارع بزرگ در دشت قزوین (مزارع بزرگ‌تر از ۲۵ هکتار) متفاوت است و سناریو افزایش ۵۰ درصدی قیمت آب به مراتب بهتر از سایر سناریوها است. چرا که با اعمال این سناریوها، واکنش کشاورزان به شرایط بهینه نزدیک‌تر است. حال آنکه سناریوی ۱۰۰ درصدی افزایش قیمت اصلاً مناسب نیست چرا که کشاورزان را از شرایط بهینه دورتر می‌سازد. بنابراین، برای مزارع بزرگ دشت قزوین اعمال سیاست افزایش ۵۰ درصدی قیمت آب توصیه می‌شود.

### نتیجه گیری و پیشنهادها

روی هم رفته، با توجه به نتایج بدست آمده در این مطالعه، اعمال سیاست کاهش ۱۰ درصدی آب آبیاری در دسترس کشاورزان برای مزارع کوچک‌تر از ۲۵ هکتار در دشت قزوین، کشاورزان را به مدیریت صحیح منابع آب تشویق می‌کند. لذا، پیشنهاد می‌شود که این سیاست برای صرفه‌جویی و ذخیره منابع آب در دشت مورد نظر برای مزارع کوچک و متوسط اعمال شود. چرا که با اعمال این سناریو برای مزارع کم‌تر از ۱۲ هکتار (مزارع کوچک)، حدود ۱۰ درصد و برای مزارع بین ۱۲ تا ۲۵ هکتار (مزارع متوسط)، حدود ۱۶ درصد مصرف کنونی آب صرفه جویی می‌شود و کشاورزان بازده برنامه‌ای نزدیک به شرایط بهینه با هدف بیشینه سازی بازده برنامه‌ای بدست می‌آورند، اما برای تشویق کشاورزان به مدیریت صحیح منابع آب در مزارع بزرگ دشت قزوین (مزارع بزرگ‌تر از ۲۵ هکتار)، اعمال سیاست افزایش ۵۰ درصدی قیمت آب توصیه می‌شود. چرا که اعمال این سیاست منجر به ۲ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب نسبت به شرایط کنونی شده و کشاورزان بازده برنامه‌ای نزدیک به شرایط بهینه با هدف بیشینه‌سازی بازده برنامه‌ای بدست می‌آورند. نتایج این مطالعه برای مزارع کوچک‌تر از ۲۵ هکتار دشت قزوین مطابق با نتایج مطالعه‌ی مظفری (۱۳۹۴) و برای مزارع بزرگ‌تر از ۲۵ هکتار مطابق با نتایج مطالعه پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۴) است.

هم‌چنین، نتایج به طور کلی نشان دادند که محصولات با نیاز آبی بیش‌تر با اعمال سناریوهای مدیریتی گوناگون بایستی کم‌تر کشت شوند. به گونه‌ای که در مزارع کوچک، کشت گندم با استراتژی آبیاری کامل به شدت کاهش می‌یابد و کشت گندم با استراتژی کاهش ۱۰ درصدی آبیاری و محصول جو با استراتژی کامل آبیاری افزایش می‌یابد. در مزارع متوسط کشت گندم و چغندر تحت استراتژی کامل آبیاری به شدت کاهش یافته‌اند و در مزارع بزرگ کشت محصولات تحت استراتژی ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش آبیاری، افزایش و کشت محصولات مورد استراتژی کامل آبیاری به شدت کاهش می‌یابد. از این رو براساس الگوی کشت بدست آمده پیشنهاد می‌شود که بویژه مزارع بزرگ به سمت کشت محصولات با استراتژی کاهش آبیاری پیش روند. در پایان پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده برای بررسی اثر اعمال سیاست‌ها به سمت مقایسه آن‌ها با مدل‌های هنجاری با اهداف چندگانه روی آورند. برای مزارع بزرگ دشت قزوین سیاست قیمتی آثار بهتری را در مدیریت منابع آب از خود بر جای گذاشته که این مهم می‌تواند ناشی از قدرت مالی مناسب کشاورزان این دسته از مزارع باشد. پیشنهاد می‌شود که آب لازم برای این‌گونه مزارع در اختیار قرار داده شود، اما این آب به نسبت گران‌تر از مزارع کوچک‌تر باشد. بنابراین، تعیین حق آبه کافی برای این مزارع با قیمت بالاتر از این شرایط رویکردی مناسب به نظر می‌رسد. البته، به این مهم باید اشاره کرد که این افزایش قیمت آب برای مزارع بزرگ بسیار دقیق تعیین شود تا بار مالی

سنگینی را بر دوش کشاورزان وارد نیاورد. نتایج مزارع کوچک‌تر نشان دادند که سیاست قیمتی چندان مناسب نیست، اما سیاست کاهش آب در دسترس نتایج به نسبت مناسب‌تری در مدیریت منابع آب از خود به‌جای می‌گذارد. از این‌رو، کاهش آب در دسترس از راه تعیین حق‌آبه کم‌تر برای کشاورزان این گروه ضروری می‌باشد، اما به دلیل توان مالی پایین کشاورزان مزارع کوچک‌تر سیاست قیمتی نمی‌تواند چندان اثراتی مثبت را در بر داشته باشد.

## منابع

- اسد فلسفی زاده، ن. و صبحی، م. (۱۳۸۹). تعیین برداشت بهینه آب از رواناب محیطی حوضه آبریز رودخانه کر، سد درودزن. اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۴ (۴): ۴۱۵-۴۲۴.
- بخشی، م؛ و پیکانی، غ (۱۳۹۰). شبیه‌سازی سیاست حمایتی پرداخت مستقیم در زیر بخش زراعت کاربرد رهیافت برنامه‌ریزی اثباتی و حداکثر آنتروپی. مجله پژوهشات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران دوره ۲-۴۲، شماره ۴، ۱۳۹۰ (۵۱۱-۵۰۱).
- پرهیزکاری، ا، خدادادی حسینی، م، تقی زاده رنجبری، ح. و محمودی، ابوالفضل. (۱۳۹۴). تعیین راهبرد اقتصادی مناسب برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی دشت قزوین. راهبردهای توسعه روستایی. ۲ (۴): ۴۷۷-۴۹۸.
- پرهیزکاری، ا، مظفری، م. م، خدادادی حسینی، م. و پریزکاری، ر. (۱۳۹۴). بررسی تغییرات اقتصادی الگوی کشت ناشی از تغییرات سطح زیر کشت چغندر قند (مطالعه موردی: دشت قزوین). نشریه علمی-پژوهشی چغندر قند. ۳۱ (۱): ۹۲-۷۷.
- زمانی، ا. (۱۳۹۰). بررسی تأثیر سیاست قیمت گذاری آب بر بهره‌وری مصرف آن در بخش کشاورزی مطالعه‌ی موردی: دشت بهار همدان. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
- زیبایی، م. (۱۳۸۶). عوامل موثر بر عدم تداوم در استفاده از سیستم‌های آبیاری بارانی در استان فارس: مقایسه تحلیل لاجیت و تحلیل ممیزی. اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی). ۱ (۲): ۰-۰.
- زیبایی، م، سلطانی، غ. و بخشوده، م. (۱۳۸۴). مدیریت تقاضای آب کشاورزی در سطح مزرعه، مطالعه موردی: دشت فیروزآباد. پنجمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.

- سلطانی، غ. و صبوچی، م. (۱۳۸۷). بهینه‌سازی الگوهای کشت در سطح حوضه آبریز با تأکید بر منافع اجتماعی و واردات خالص آب مجازی: مطالعه موردی منطقه خراسان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲ (۴۳ الف): ۲۹۷-۳۱۳.
- شجری، ش. و ترکمانی، ج. (۱۳۸۶). تناسب شبیه‌سازی‌های تصمیم‌گیری چند معیاری به منظور بررسی تقاضای آب آبیاری، مطالعه موردی حوضه آبریز درودزن در استان فارس. اقتصاد کشاورزی (اقتصاد و کشاورزی). ۱ (۳): ۳۳۱-۳۴۵.
- صبوچی، م.، سلطانی، غ.، زیبایی، م. و ترکمانی، ج. (۱۳۸۵). تعیین راهبردهای مناسب کم آبیاری با هدف حداکثر سازی منافع اجتماعی. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۱۴ (۵۶): ۱۶۷-۲۰۲.
- کرامت‌زاده، ع.، چیدری، ا. ح. و شرزه‌ای، غ. (۱۳۹۰). نقش بازار آب در تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی با رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (مطالعه موردی: اراضی پایین دست سد شیرین دره بجنورد). مجله پژوهش‌های اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. ۴۲ (۱): ۲۹-۴۴.
- کیانی، غ. ح. (۱۳۸۸). نقش بازار در تخصیص منابع آب (مطالعه موردی: بازار آب موجن). پایان نامه دکتری، دانشگاه تهران، ایران.
- محسنی، الف؛ و زیبایی، م. (۱۳۸۷). تحلیل پیامدهای سطح زیر کشت کلزا در دشت نمدان استان فارس: کاربرد مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی. مجله‌ی علوم آب و خاک دانشگاه صنعتی اصفهان.
- مظفری، م. م. (۱۳۹۴). تعیین برنامه سیاستی مناسب برای حفاظت منابع آب در دشت قزوین. حفاظت منابع آب و خاک. ۵ (۲): ۲۹-۴۵.
- موسسه پژوهش‌های آب، (۱۳۸۷)، اهمیت دشت قزوین، تهران.
- نیکویی، ع. و زیبایی، م. (۱۳۹۱). مدل‌سازی یکپارچه اقتصادی-هیدرولوژیکی تخصیص و استفاده از آب در حوضه رودخانه زاینده رود با تأکید بر ارزیابی سیاست‌های زیست محیطی و خشکسالی. پایان نامه دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
- ورزیری، الف.، وکیل پور، م. ح. و مرتضوی، الف. (۱۳۹۵). بررسی اثر قیمت گذاری اقتصادی آب آبیاری بر الگوی کشت در دشت دهگلان. فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش‌های اقتصاد کشاورزی. ۸ (۳۱): ۸۱-۱۰۰.

### References

- Ali, M. K. & Klein, K. K. (2014). Implications of current and alternative water allocation policies in the Bow River Sub Basin of Southern Alberta. Agricultural water management, 133, 1-11.
- Bartolini, F., Bazzani, G. M., Gallerani, V., Raggi, M. & Viaggi, D. (2007). The impact of water and agriculture policy scenarios on irrigated farming



- systems in Italy: An analysis based on farm level multi-attribute linear programming models. *Agricultural System*. 93: 90-114.
- Bender, M. J. & Simonovic, S. P. (2000). A fuzzy compromise approach to water resource systems planning under uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*. 115: 35-44.
  - Brinegar, H. R. & Ward, F. A. (2009). Basin impacts of irrigation water conservation policy. *Ecological Economics*. 69 (2): 414-426.
  - Buysse, J. (2006). Farm-level mathematical programming tools for agricultural policy support (Doctoral dissertation, Ghent University).
  - Cai, X. (2008). Implementation of holistic water resources-economic optimization models for river basin management—reflective experiences. *Environmental Modelling & Software*, 23(1), 2-18.
  - Cortignani, R. & Severini, S. (2011). An extended PMP model to analyze farmers' adoption of deficit irrigation under environmental payments. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(4), 1035-1046.
  - Gohar, A. A. & Cashman, A. (2016). A methodology to assess the impact of climate variability and change on water resources, food security and economic welfare. *Agricultural Systems*, 147, 51-64.
  - Griffin, R. C. (2001). Effective water pricing. *Journal of the American Water Resources Association*. 37 (5): 1335-1347.
  - Heckeley, T. & Britz, W. (2000). Positive mathematical programming with multiple data points: a cross-sectional estimation procedure. *Cahiers d'economie et sociologie rurales*, 57(4), 28-50.
  - Miyata, S. & Fujii, T. (2007). Examining the socioeconomic impacts of irrigation in the Southeast Anatolia Region of Turkey. *Agricultural Water Management*, 88(1), 247-252.
  - OECD (Editor). (2006). *Water and Agriculture Sustainability, Markets and Policies*. OECD Publishing.
  - Paris, Q. & Howitt, R. E. (1998). An analysis of ill-posed production problems using maximum entropy. *American journal of agricultural economics*, 80(1), 124-138.
  - Pujol, J., Raggi, M. & Viaggi, D. (2005). *Agricultural water markets: Exploring and opportunities in Italy and Spain*. Working paper No. DEIAgraWP-05-001.
  - Ward, F. A. (2014). Economic impacts on irrigated agriculture of water conservation programs in drought. *Journal of Hydrology*. 508: 114-127.
  - Wilhite, D. A. (2005). *Drought and Water Crises Science, Technology and Management Issues*. CRC Press, Taylor & Francis Group, USA.

- Yang, H. & Zhang, X. (2003). Water scarcity, pricing mechanism and institutional reform in northern China irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*. 61 (2): 143-161.

## پیوست‌ها

### جدول ۱- مشخصه‌های همگن سازی مزارع.

گروه اول	با اندازه مزرعه کم‌تر از ۱۲ هکتار
گروه دوم	با اندازه مزرعه ۱۲ تا ۲۵ هکتار
گروه سوم	با اندازه مزرعه بیش‌تر از ۲۵ هکتار

مأخذ: یافته‌های پژوهش

### جدول ۲- اثرات افزایش قیمت آب و کاهش عرضه آب بر الگوی کشت، مصرف نهاده‌ها و سود بهره‌بردار نماینده گروه نخست.

سطح زیر کشت محصولات (هکتار)	سال پایه	کالیبراسیون	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳
گندم ۱	۴	۴	۲/۸۵	۲/۴۵	۱/۲
گندم ۲	۰/۵	۰/۵	۱/۰۴	۱/۲۲	۱/۸۱
گندم ۳	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۴۲
گندم ۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۵۳
جو ۱	۲/۲	۲/۲	۲/۲۷	۲/۳۶	۲/۶۶
جو ۲	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۲۲
جو ۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۸
جو ۴	۰/۳	۰/۳	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۵۶
مجموع کشت گندم	۵/۱	۵/۱	۴/۶۳	۴/۴۶	۳/۹۶
مجموع کشت جو	۲/۶۸	۲/۶۸	۳/۱۵	۳/۳	۳/۸۲
آب (مترمکعب)	۶۷۱۳۰	۶۷۱۳۰	۶۳۸۲۰	۶۲۹۱۸	۵۹۹۳۳
کود (کیلوگرم)	۳۳۶۷	۳۳۶۷	۳۳۴۴	۳۳۳۵	۳۳۱۰
سم (لیتر)	۳۸/۹	۳۸/۹	۳۶/۹	۳۶/۹	۳۶/۹
سود ناخالص (هزار تومان)	۱۸۹۲۳	۱۸۹۲۳	۱۸۹۲۳	۱۴۵۵۳	۱۶۶۸۷

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

جدول ۳- اثرات افزایش قیمت آب و کاهش عرضه آب بر الگوی کشت، مصرف نهاده‌ها و سود بهره‌بردار نماینده گروه دوم.

سطح زیر کشت محصولات (هکتار)	سال پایه	کالیبراسیون	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳
گندم ۱	۵	۵	۳/۲۸	۲/۷۱	۱/۸۸
گندم ۲	۰/۳	۰/۳	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۲۱
گندم ۳	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۳
گندم ۴	۰/۵	۰/۵	۲/۳۳	۲/۹۴	۳/۸۳
چغندر ۱	۴	۴	۲/۷۷	۲/۳۵	۰/۸۳
چغندر ۲	۰/۳	۰/۳	۱/۲۲	۱/۵۲	۲/۰۴
چغندر ۳	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۵
چغندر ۴	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۴۵
لوبیای ۱	۳	۳	۳	۳	۲/۸۰۳
لوبیای ۲	۰/۳	۰/۳	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۶۱
لوبیای ۳	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۶۲
لوبیای ۴	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۴۱	۰/۴۷	۱/۱
مجموع کشت گندم	۶/۱۵	۶/۱۵	۶/۱۵	۶/۱۵	۶/۱۵
مجموع کشت چغندر	۴/۹	۴/۹	۴/۵۷	۴/۴۴	۳/۵۷
مجموع کشت لوبیا	۳/۸	۳/۸	۴/۱۲	۴/۲۳	۵/۱۳۳
آب (مترمکعب)	۱۸۵۶۵۷	۱۸۵۶۵۷	۱۷۴۰۷۲	۱۷۰۲۳۱	۱۵۶۶۹۹
کود (کیلوگرم)	۸۰۴۲/۵	۸۰۴۲/۵	۸۰۰۸	۷۹۹۷	۷۹۰۸
سم (لیتر)	۱۸۰/۲	۱۸۰/۲	۱۸۲	۱۸۲/۵	۱۸۶/۸
سود ناخالص (هزار تومان)	۴۸۸۹۶	۴۸۸۹۶	۴۰۵۰۶	۳۵۰۰۹	۳۹۳۸۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

جدول ۴- اثرات افزایش قیمت آب و کاهش عرضه آب بر الگوی کشت، مصرف نهاده‌ها و سود بهره‌بردار نماینده گروه سوم.

سطح زیر کشت محصولات (هکتار)	سال پایه	کالیبراسیون	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳
گندم ۱	۵	۵	۴/۷۱	۴/۵۹	۴/۱۵
گندم ۲	۱	۱	۱/۰۴	۱/۰۶	۱/۲۰
گندم ۳	۱	۱	۱/۰۸	۱/۱	۱/۶۱
گندم ۴	۱	۱	۱/۱۷	۱/۲۳	۲/۶۱
کلزا ۱	۵	۵	۴/۸۶	۴/۸۰	۲/۳۳
کلزا ۲	۱	۱	۱	۱	۰/۸۲
کلزا ۳	۱	۱	۱/۰۴	۱/۰۶	۱/۲۹
کلزا ۴	۱	۱	۱/۱	۱/۱۵	۲
گوجه فرنگی ۱	۲	۲	۱/۷۹	۱/۷۱	۰/۸۶۲
گوجه فرنگی ۲	۱	۱	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۷۲۷
گوجه فرنگی ۳	۱	۱	۰/۹۲	۰/۹۰	۱/۲۱
گوجه فرنگی ۴	۱	۱	۰/۹۶	۰/۹۵	۲/۱۱
ذرت ۱	۳	۳	۲/۹۶	۲/۹۵	۱/۱۸
ذرت ۲	۱	۱	۱/۱۶	۱/۲۲	۰/۷۷
ذرت ۳	۱	۱	۱/۰۷	۱/۰۹	۱/۳۰
ذرت ۴	۱	۱	۱/۲	۱/۲۳	۲/۸۲
مجموع کشت گندم	۸	۸	۸	۷/۹۸	۹/۵۷
مجموع کشت کلزا	۸	۸	۸	۸/۰۱	۶/۴۴
مجموع کشت گوجه فرنگی	۵	۵	۴/۵۷	۴/۴۳	۴/۹۰۹
مجموع کشت ذرت	۶	۶	۶/۳۹	۶/۴۹	۶/۰۷
آب (مترمکعب)	۲۶۷۸۸۰	۲۶۷۸۸۰	۲۶۷۸۸۰	۲۶۱۹۴۷	۲۳۹۸۶۹
کود (کیلوگرم)	۱۴۱۰۰	۱۴۱۰۰	۱۴۱۰۰	۱۳۹۵۸	۱۴۱۵۵
سم (لیتر)	۲۷۱	۲۷۱	۲۷۱	۲۶۸/۳	۲۵۹
سود ناخالص (هزار تومان)	۷۳۴۹۰	۷۳۴۹۰	۷۳۴۹۰	۵۸۶۴۸	۶۰۱۴۰

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

جدول ۵- مقایسه نتایج مدل هنجاری و اثباتی جهت تحلیل سیاست‌ها مزرعه نماینده گروه نخست.

مزرعه نماینده گروه اول		مدل هنجاری (شرایط بهینه)				مدل اثباتی	
سطح زیر کشت محصولات (هکتار)	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	
گندم ۱	۳/۶۱۴	۳/۶۱۴	۳/۳۰	۲/۸۵	۲/۴۵	۱/۲	
گندم ۲	۰	۰	۰	۱/۰۴	۱/۲۲	۱/۸۱	
گندم ۳	۰	۰	۰	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۴۲	
گندم ۴	۰	۰	۰	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۵۳	
جو ۱	۳/۵۵۹	۳/۵۵۹	۳/۲۵	۲/۲۷	۲/۳۶	۲/۶۶	
جو ۲	۰	۰	۰	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۲۲	
جو ۳	۰	۰	۰	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۸	
جو ۴	۰	۰	۰	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۵۶	
آب (متر مکعب)	۶۰۵۴۰	۶۰۵۴۰	۵۵۳۰۲	۶۳۸۲۰	۶۲۹۱۸	۵۹۹۳۳	
سود ناخالص (هزار تومان)	۱۶۴۵۳	۱۴۹۴۰	۱۶۶۸۹	۱۶۴۱۰	۱۴۵۵۳	۱۶۶۸۷	

جدول ۶- مقایسه نتایج مدل هنجاری و اثباتی جهت تحلیل سیاست‌ها مزرعه نماینده گروه دوم.

مزرعه نماینده گروه دوم		مدل هنجاری (شرایط بهینه)				مدل اثباتی	
سطح زیر کشت محصولات (هکتار)	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	
گندم ۱	۵/۳	۵/۳	۴/۴۲	۳/۲۸	۲/۷۱	۱/۸۸	
گندم ۲	۰	۰	۰	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۲۱	
گندم ۳	۰	۰	۰	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۳	
گندم ۴	۰	۰	۰	۲/۳۲	۲/۹۴	۳/۸۲	
چغندر ۱	۳/۹۷	۳/۹۷	۳/۳۱	۲/۷۷	۲/۳۵	۰/۸۳	
چغندر ۲	۰	۰	۰	۱/۲۲	۱/۵۲	۲/۰۴	
چغندر ۳	۰	۰	۰	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۵	
چغندر ۴	۰	۰	۰	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۴۵	
لوبیای ۱	۳/۱۸	۳/۱۸	۳/۱۸	۳	۳	۲/۸۰۳	
لوبیای ۲	۰	۰	۰	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۶۱	
لوبیای ۳	۰	۰	۰	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۶۲	
لوبیای ۴	۰	۰	۰	۰/۴۱	۰/۴۷	۱/۱	
آب (متر مکعب)	۱۷۰۸۰۴	۱۷۰۸۰۴	۱۴۲۵۸۴	۱۷۴۰۷۲	۱۷۰۲۳۱	۱۵۶۶۹۹	
سود ناخالص (هزار تومان)	۴۲۶۷۰	۳۸۴۵۸	۳۹۸۳۹	۴۰۵۰۶	۳۵۰۰۹	۳۹۳۸۲	

## جدول ۷- مقایسه نتایج مدل هنجاری و اثباتی جهت تحلیل سیاست‌ها مزرعه نماینده گروه سوم.

مزرعه نماینده گروه دوم		مدل هنجاری (شرایط بهینه)				مدل اثباتی	
سطح زیر کشت محصولات (هکتار)	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	
گندم ۱	۰	۰	۰	۴/۷۱	۴/۵۹	۴/۱۵	
گندم ۲	۰	۰	۰	۱/۰۴	۱/۰۶	۱/۲۰	
گندم ۳	۶/۶۷	۶/۸۲	۵/۶۹	۱/۰۸	۱/۱	۱/۶۱	
گندم ۴	۰	۰	۰	۱/۱۷	۱/۲۳	۲/۶۱	
کلزا ۱	۷/۶	۷/۸	۶/۵	۴/۸۶	۴/۸۰	۲/۳۳	
کلزا ۲	۰	۰	۰	۱	۱	۰/۸۲	
کلزا ۳	۰	۰	۰	۱/۰۴	۱/۰۶	۱/۲۹	
کلزا ۴	۰	۰	۰	۱/۱	۱/۱۵	۲	
گوجه فرنگی ۱	۳/۷	۳/۷۸	۳/۱۵	۱/۷۹	۱/۷۱	۰/۸۶۲	
گوجه فرنگی ۲	۰	۰	۰	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۷۲۷	
گوجه فرنگی ۳	۰	۰	۰	۰/۹۲	۰/۹۰	۱/۲۱	
گوجه فرنگی ۴	۰	۰	۰	۰/۹۶	۰/۹۵	۲/۱۱	
ذرت ۱	۴/۹۱	۵/۰۲	۴/۱۸	۲/۹۶	۲/۹۵	۱/۱۸	
ذرت ۲	۰	۰	۰	۱/۱۶	۱/۲۲	۰/۷۷	
ذرت ۳	۰	۰	۰	۱/۰۷	۱/۰۹	۱/۳۰	
ذرت ۴	۰	۰	۰	۱/۲	۱/۲۳	۲/۸۲	
آب (متر مکعب)	۲۳۵۷۳۴	۲۴۱۰۹۲	۲۰۰۹۱۰	۲۶۳۴۱۰	۲۶۱۹۴۷	۲۳۹۸۶۹	
سود ناخالص (هزار تومان)	۶۵۸۱۷۵	۶۱۳۶۴	۶۱۱۵۱	۶۵۵۹۷	۵۸۶۴۸	۶۰۱۴۰	