

## تعیین راهبرد اقتصادی مناسب برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی دشت قزوین

ابوذر پرهیزکاری<sup>۱\*</sup>، مهدی خدادادی حسینی<sup>۲</sup>، حسین تقی‌زاده رنجبری<sup>۳</sup>، ابوالفضل محمودی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۶ اردیبهشت ۹۴ تاریخ پذیرش: ۲۸ شهریور ۹۴

### چکیده

دشت قزوین یکی از دشتهای مستعد کشور برای تولید محصولات کشاورزی است که حفر چاه‌های بیش از حد و استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی طی دو دهه اخیر سبب افت سطح آبخوان‌ها و منفی شدن بیلان آب زیرزمینی در آن شده است. برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی این دشت نیاز است که راه‌کارها و برنامه‌های سیاستی مناسبی در این زمینه به کار گرفته شوند. لازمه این امر شناخت بیشتر رفتار کشاورزان می‌باشد. به همین منظور، در مطالعه حاضر برای بررسی رفتار کشاورزان در استفاده از آب‌های زیرزمینی و تعیین راه‌کار مناسب برای حفاظت از منابع آب دشت قزوین، از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) و رهیافت تابع تولید با کشش جانشینی ثابت (CES) استفاده شد. راه‌کارهای مورد بررسی شامل افزایش قیمت آب آبیاری، کاهش منابع آب در دسترس و استراتژی کم‌آبیاری بودند که هر یک تحت سناریوهای مختلف بررسی و ارزیابی شدند. داده‌های مورد نیاز این مطالعه از نوع اسنادی و مربوط به سال ۱۳۹۰-۱۳۹۱ بودند که از طریق مراجعه به ادارات ذی‌ربط در استان قزوین جمع‌آوری شدند. حل مدل در نرم‌افزار GAMS 23/5 صورت گرفت. نتایج نشان داد که هر سه راه‌کار مورد بررسی منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری شده، اما میانگین تغییرات بازده برنامه‌ای با افزایش قیمت آب آبیاری، کاهش منابع آب در دسترس و اعمال کم‌آبیاری به ترتیب ۳/۱۳، ۸/۶۱ و ۵/۵۴ درصد کاهش می‌یابد. در پایان، سیاست قیمت‌گذاری آب آبیاری با توجه به کاهش کمتر بازده برنامه‌ای، برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی دشت قزوین پیشنهاد شد و تکنیک کم‌آبیاری پس از آن در اولویت قرار گرفت.

**واژه‌های کلیدی:** الگوی کشت، راه‌کار مدیریتی، مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی، منابع آب زیرزمینی.

۱- دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی دانشگاه پیام نور (محقق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین و عضو بنیاد ملی نخبگان)  
۲- دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل  
۳- دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه پیام نور  
۴- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه پیام نور  
\* - نویسنده مسئول: (Abozar.parihizkari@yahoo.com)

## مقدمه

رشد جمعیت و گسترش سطح زیرکشت محصولات آبی طی دهه‌های اخیر بهره‌برداری از منابع آب در سراسر جهان را افزایش داده و باعث افزایش مقدار تقاضای آب از مقدار عرضه آن و در نتیجه کمیابی منابع آب شده است. یکی از بحران‌های مهمی که در آینده نزدیک بشر را تهدید خواهد نمود و به موضوع تنش‌زا در بین ملت‌ها تبدیل خواهد شد، مسئله کمبود آب است. لذا، حفاظت از منابع آب موجود و استفاده بهینه و کارا از این منابع امری مهم تلقی می‌گردد (هلگرس<sup>۱</sup>)، (۲۰۰۲). در زمینه مدیریت منابع آب بزرگ‌ترین چالشی که در کشور وجود دارد، سهم بسیار بالای بخش کشاورزی در مصرف آب (بیش از ۹۰ درصد) و عملکرد پایین محصول به ازای سطح و میزان آب مصرفی است (شاهرودی و چیدری، ۱۳۸۵). پایداری منابع آب در کشور بیش از هر چیز تحت تأثیر بهره‌برداری از منابع آب در بخش کشاورزی قرار دارد. منابع تأمین‌کننده نیاز آبی در این بخش به دو دسته منابع آب سطحی و زیرزمینی تقسیم می‌شوند. با توجه به نوسانات موجود در منابع آب سطحی، این منابع علی‌رغم حجم بالا نمی‌توانند منبع مطمئنی برای تأمین آب مورد نیاز محصولات در بخش کشاورزی به شمار روند. به همین دلیل، ذخایر آب زیرزمینی در تأمین منابع آب کشاورزی از دو جنبه‌ی افزایش عرضه منابع آب و تثبیت عرضه آب حائز اهمیت می‌باشند (تسور<sup>۲</sup>، ۱۹۹۰). باید توجه داشت که برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی موجب برهم خوردن توازن سیستم، عدم پایداری و کاهش ذخیره سفره‌های آب زیرزمینی شده و در نهایت توسعه پایدار کشاورزی را ناممکن می‌سازد. بنابراین، برای دستیابی به توسعه پایدار بخش کشاورزی برقراری توازن میان تغذیه و برداشت منابع آب زیرزمینی از اهمیت بسیاری برخوردار است (بالالی، ۱۳۸۹).

دشت قزوین نیز یکی از دشت‌های مستعد کشور در تولید محصولات کشاورزی است که همانند بسیاری از دشت‌های کشور بیلان آب زیرزمینی در آن منفی است. سالانه بیش از ۲۰۰ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی این دشت صورت می‌پذیرد. مجموع تغذیه آبخوان دشت قزوین ۱۲۶۰/۵ میلیون مترمکعب در سال است، درحالی‌که مجموع تخلیه این آبخوان به ۱۴۵۸/۶۶ میلیون مترمکعب نیز می‌رسد (پرهیزکاری و صبوچی، ۱۳۹۱؛ پرهیزکاری و صبوچی، ۱۳۹۲). طی سال‌های اخیر، به وجود آمدن شکاف بین قیمت واقعی آب و قیمتی که کشاورزان قزوینی به‌عنوان آب‌بها پرداخت می‌کنند، سبب مصرف بی‌رویه آب آبیاری در سطح مزارع و بحرانی شدن وضعیت منابع آب زیرزمینی این دشت شده است. نظر به این که در این دشت آب‌های سطحی از طریق بارندگی و تشکیل رودخانه‌های فصلی حاصل می‌شوند، در فصول گرم سال کاهش بارندگی و کم‌آب شدن رودخانه‌های فصلی سبب شده تا آب موردنیاز برای کشاورزان از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین شود که این عامل باعث کاهش سالیانه ۱/۶ متر سفره‌های آب زیرزمینی در این دشت شده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۰؛ پرهیزکاری و صبوچی، ۱۳۹۲). شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه و جریان‌ات آب سطحی (رودخانه‌های شاهرود، خررود، حاجی عرب و ابهر رود) در آن را نشان می‌دهد:

گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین حاکی از آن است که طی سال‌های اخیر بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین روندی صعودی داشته، به‌طوری‌که بخش جنوبی این دشت که منتهی به شهرستان‌های تاکستان و بوئین‌زهره است، در شرایط بحرانی به سر می‌برد. در واقع، تمایل کشاورزان قزوینی به توسعه کشت محصولات آبی‌بری مانند ذرت دانه‌ای و کلزا و استحصال شدیدتر منابع آب از چاه‌های موجود، تقاضا برای حفر چاه‌های جدید را در این دشت افزایش داده و این امر علاوه بر تهدید منابع آب سطحی و زیرزمینی، آثار مخرب زیست‌محیطی و فرسایش خاک را نیز به

1- Hellegers  
2- Tsur

همراه داشته است (شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین، ۱۳۹۰؛ پرهیزکاری و صبوحی، ۱۳۹۲). افزایش دمای هوا و کاهش بارندگی طی سال‌های اخیر در دشت قزوین از یک سو و افزایش سطح زیرکشت محصولات آبی برای تأمین غذای جمعیت در حال رشد، حفر چاه‌های غیرمجاز و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در این دشت از سوی دیگر، ایجاب می‌کند تا مدیریت تقاضای آب بیش از گذشته مورد توجه قرار گیرد (پرهیزکاری، ۱۳۹۲). به‌طور کلی، از آنجایی که دشت قزوین در تولید محصولات کشاورزی و درآمدزایی استان قزوین و استان‌های هم‌جوار آن (تهران، البرز، زنجان، مازندران و گیلان) اهمیت ویژه‌ای دارد، توجه به مسئله حفاظت و پایداری منابع آب (به‌ویژه آب‌های زیرزمینی) در آن امری ضروری و مهم به نظر می‌رسد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و جریان‌ات آب سطحی در آن

طی سال‌های اخیر مطالعات داخلی و خارجی متعددی با استفاده از تکنیک‌های اقتصادسنجی و برنامه‌ریزی ریاضی پیرامون مسائل پایداری و حفاظت از منابع آب و سیاست‌گذاری‌های مؤثر بر آن صورت گرفته است. Bartolini et al<sup>۱</sup> (۲۰۰۷) برای ارزیابی تأثیر سناریوهای مختلف سیاست‌های پایداری سیستم‌های آب و کشاورزی ایتالیا و شبیه‌سازی واکنش کشاورزان به مجموعه‌ای از شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، از برنامه‌ریزی خطی چندجانبه<sup>۲</sup> (MALP) استفاده کردند. نتایج نشان داد که تنوع سیستم‌های آبیاری و اثرات مختلفی که ممکن است سیاست‌های قیمت‌گذاری آب داشته باشند، به سناریوهای هر سیاست، بازار و تکنولوژی کشاورزی بستگی دارد. کتاب و اسکاب<sup>۳</sup> (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای مدیریت مصرف آب و نیتروژن را در مزارع فاریاب آمریکا مورد بررسی قرار دادند و برای ارزیابی اثر سیاست‌های اقتصادی بر میزان مصرف آب و نیتروژن از تخمین تابع تولید و روش برنامه‌ریزی پویا استفاده کردند. نتایج نشان داد که سیاست‌های مرتبط با مدیریت منابع آب بر کاهش انتشار نیتروژن دلالت دارند و روش آبیاری سنتی، بهترین راه کار برای حفاظت از منابع آب و کنترل آلودگی ناشی از انتشار کودهای ازته است. فریجا و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۱) برای بررسی اثرات سیاست‌های قیمتی آب آبیاری بر تقاضای سایر نهاده‌های کشاورزی از روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده

1- Bartolini et al

۲ - Multi Attribute Linear Programming

۳ - Knapp and Schwabe

۴ - Frija et al

کردند. نتایج نشان داد که سطح کارایی فنی کشاورزان عامل مهمی در اثرگذاری برکشش تقاضای آب است و با افزایش قیمت آب آبیاری، الگوی کشت کشاورزان در جهت استفاده کمتر از نهاده آب و استفاده بیشتر از نهاده زمین تغییر می‌کند. مشتاق و مقدسی<sup>۱</sup> (۲۰۱۲) با انجام تحقیقی در حوضه آبریز ماری دارلینگ استرالیا، به بررسی اثرات کم‌آبیاری در پاسخ به تقاضای آب محیط‌زیست پرداختند. نتایج نشان داد که کم‌آبیاری در به حداکثر رساندن بازده ناخالص کشاورزان و افزایش کارایی مصرف آب مؤثر است و راه کار مناسبی برای حفاظت و پایداری منابع آب موجود در منطقه مورد مطالعه است. در ایران نیز مظاهری و ترکمانی (۱۳۸۸) به بررسی عوامل مؤثر بر استفاده بهینه از منابع آب در سطح مزارع چغندرقد شهرستان مرودشت پرداختند. نتایج نشان داد که بهره‌وری متوسط مصرف آب با به‌کارگیری روش‌های مناسب آبیاری بهبودیافته و میزان اتلاف آب در سطح مزارع چغندرقد با رعایت اصول حفاظت از آب، روش آبیاری مناسب و افزایش آگاهی کشاورزان کاهش می‌یابد. صبوحی و مجرد (۱۳۸۹) با استفاده از نظریه بازی مدیریت منابع آب زیرزمینی حوزه آبریز اترک را ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد زمانی که به اهداف اقتصادی و محیطی وزن‌های یکسانی داده شود، بهترین سناریوی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در حوزه اترک بین ۶۴ تا ۱۱۷ میلیون مترمکعب در سال است. بلالی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا تأثیر سیاست قیمت‌گذاری آب را بر حفظ منابع آب زیرزمینی از طریق ارتباط بین تعادل آب زیرزمینی و بخش کشاورزی در دشت بهار همدان بررسی نمودند. نتایج نشان داد که سیاست قیمت‌گذاری آب آبیاری در سطوح مختلف، تأثیر معنی‌داری در کاهش تقاضا برای منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی دشت بهار همدان دارد. پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای به منظور بررسی اثرات سیاست‌های قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب آبیاری بر منابع آب در دسترس کشاورزان شهرستان زابل از مدل تولید محصولات کشاورزی منطقه‌ای<sup>۲</sup> (SWAP) استفاده کردند. نتایج نشان داد که اعمال سیاست‌های قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب آبیاری در شهرستان زابل منجر به کاهش آب مصرفی به میزان ۶/۲۳ و ۷/۰۱ درصد نسبت به سال پایه می‌شود.

مطالعات بررسی شده نشان می‌دهند که مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی امروزه به‌عنوان یک ابزار مفید و با کاربرد وسیع جهت رفع مسائل مربوط به مدیریت منابع آب به کار گرفته می‌شوند. به همین منظور، در این تحقیق تلاش شد تا با استفاده از یک سیستم مدل‌سازی مشتمل بر مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی<sup>۳</sup> (PMP) و رهیافت تابع تولید با کشش جانشینی ثابت<sup>۴</sup> (CES)، واکنش کشاورزان دشت قزوین نسبت به سیاست قیمت‌گذاری آب، کاهش منابع آب در دسترس و استراتژی کم‌آبیاری مورد بررسی قرار گیرد و در نهایت مطابق با تغییرات بازده برنامه‌ای راه کار مناسبی برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی این دشت ارائه شود.

## مواد و روش‌ها

از نظر روش تحقیق، پژوهش حاضر از نوع مطالعات کاربردی بوده و رویکرد حاکم بر آن مجموعه‌ای از روش‌های تحلیلی و آماری است. جامعه آماری شامل کلیه کشاورزان دشت قزوین است. داده‌های مورد استفاده از نوع اسنادی و مربوط به دو بخش زراعت (سطح زیرکشت، عملکرد، قیمت بازاری، کشش‌های عرضه، هزینه تولید محصولات و میزان مصرف نهاده‌های تولیدی) و منابع آب (منابع آب در دسترس و نیاز آبی محصولات) طی سال پایه (۱۳۹۰-۱۳۹۱) هستند

۱ - Mushtaq and Moghaddasi

۲ - State Wide Agricultural Production

۳ - Positive Mathematical Programming

۴ - Constant Elasticity of Substitution

که از طریق مراجعه مستقیم به ادارات زیر ربط در استان قزوین (سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای استان) جمع‌آوری شدند. داده‌های مربوط به نیاز آبی محصولات منتخب نیز با استفاده از نرم‌افزار Netwate و بر اساس راندمان آبیاری در منطقه مورد مطالعه (۴۸ درصد) محاسبه شدند. داده‌های جمع‌آوری شده در دو بخش زراعت و آب پس از مرتب‌سازی و سازماندهی در نرم‌افزار کاربردی Excel جهت حل مدل ارائه شده به نرم‌افزار GAMS انتقال داده شدند.

سیستم مدل‌سازی ارائه شده در تحقیق حاضر شامل مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) و رهیافت تابع تولید با کشش جانشینی ثابت (CES) است. مدل PMP اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط هویت<sup>۱</sup> معرفی شد (پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۳). این مدل برای تجزیه و تحلیل سیاست‌های کشاورزی مفید بوده و به‌طور گسترده‌ای برای واسنجی مدل‌های اقتصادی استفاده می‌شود (هویت و همکاران، ۲۰۱۲). ایده کلی در مدل PMP استفاده از اطلاعات موجود در متغیرهای دوگان محدودیت‌های واسنجی است که جواب مسئله برنامه‌ریزی خطی را به سطح فعالیت‌های موجود محدود می‌کند. مقادیر دوگان برای تصریح تابع هدف غیرخطی‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند که سطح فعالیت‌های مشاهده شده را مجدداً از طریق جواب بهینه مسئله برنامه‌ریزی جدیدی که فاقد محدودیت‌های واسنجی است، بازسازی می‌کند (می‌یر و همکاران، ۱۹۹۳؛ پرهیزکاری و صبوحی، ۱۳۹۲). مدل PMP مورد استفاده در این مطالعه دارای سه مرحله به شرح زیر است:

#### مرحله اول: حل مدل برنامه‌ریزی خطی کمکی (LP) و برآورد قیمت‌های سایه‌ای

این مرحله شامل حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی جهت حداکثر نمودن سود ناخالص کشاورزان با توجه به محدودیت‌های منابع و واسنجی است. در این مرحله پس از حل مدل برنامه‌ریزی خطی، مقادیر دوگان<sup>۲</sup> برای محدودیت‌های منابع و واسنجی به دست می‌آید (هویت، ۲۰۰۹، پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۳). شکل ریاضی این مرحله از واسنجی مدل PMP به‌صورت زیر است:

$$\text{Max } \Pi = \sum_{i=1}^5 \left( p_i Y_i - \sum_{j=1}^4 a_{ji} c_{ji} \right) x_i \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^5 a_{ij} x_i \leq b_j \quad \forall j = 1, 2, 3, 4 \quad [\lambda_j^d] \quad (2)$$

$$x_i \leq \tilde{x}_i + \varepsilon \quad \forall i = 1, 2, \dots, 5 \quad [\lambda_i^c] \quad (3)$$

$$x_i \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, 5 \quad (4)$$

رابطه ۱ به‌عنوان تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی، شامل حداکثر کردن مجموع سود ناخالص کشاورزان است. در این رابطه،  $\Pi$  سود ناخالص کشاورزان،  $i$  محصولات منتخب (گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای، کلزا و یونجه) و  $j$  نهاده‌ها یا

۱ - Howitt

۲ - Dual Value

عوامل تولید (زمین، آب، نیروی کار و سرمایه) است.  $p_i$  قیمت بازاری محصول  $i$ ،  $Y_i$  عملکرد محصول  $i$ ،  $c_{ji}$  هزینه نهاده  $j$  برای تولید محصول  $i$  و  $x_i$  سطح زیرکشت محصول  $i$  است.  $a_{ij}$  بیانگر ضرایب لئونتیف است که نسبت استفاده‌ی هر عامل تولید به زمین را نشان می‌دهد و از رابطه  $(a_{ji} = \tilde{x}_i / \tilde{x}_{i, Land})$  به دست می‌آید (مدلین آزورا و همکاران، ۲۰۱۰؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۳). رابطه ۲، محدودیت منابع را در نشان می‌دهد و برای نهاده‌های آب، زمین، نیروی کار و سرمایه تعریف می‌شود. در این رابطه  $b_j$  کل منابع در دسترس برای تولید محصولات منتخب است. رابطه ۳، محدودیت واسنجی مدل را نشان می‌دهد که در آن،  $\tilde{x}_i$  مقدار مشاهده شده فعالیت  $i$  در سال پایه و  $\varepsilon$  مقدار مثبت کوچکی است (مدلین آزورا و همکاران، ۲۰۱۱). پس از حل مدل برنامه‌ریزی خطی برای تعیین قیمت سایه‌ای مجموعه محدودیت‌های مدل، مقادیر دوگان تعریف می‌شوند.  $\lambda_i^j$  در رابطه ۲، قیمت سایه‌ای محدودیت سیستمی و  $\lambda_i^c$  در رابطه ۳، قیمت سایه‌ای محدودیت واسنجی است. رابطه ۴ نیز بیانگر محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها است (هویت و همکاران، ۲۰۱۲؛ پرهیزکاری، ۱۳۹۲).

### مرحله دوم: برآورد تابع تولید CES و تابع هزینه غیرخطی کوادراتیک (درجه دوم)

در این مرحله، تابع تولید و هزینه‌ای که جهت واسنجی در مرحله سوم مدل PMP لازم می‌باشند، تخمین زده می‌شوند. فرم کلی تابع تولید CES را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$Y_i = \tau_i \left[ \sum_j \beta_{ij} h_{ij}^{\rho_i} \right]^{1/\rho_i} \quad (5)$$

در رابطه فوق،  $Y_i$  میزان تولید محصول  $i$ ،  $h_{ij}$  عامل تولید  $j$  برای محصول  $i$  و  $\tau_i$  پارامتر مقیاس است که به کمک رابطه ۹ محاسبه می‌شود.  $\beta_{ij}$  پارامتر تولید است که سهم نهاده  $j$  برای تولید محصول  $i$  را نشان می‌دهد.  $\rho_i$  ضریب بازده ثابت نسبت به مقیاس است و تابع CES مستلزم آن است که این ضریب برابر با یک شود.  $\rho_i$  نیز متغیری است که برحسب کشش جانشینی محصولات ( $\sigma_i$ ) تعریف می‌گردد و برای محاسبه آن از رابطه  $\rho_i = (\sigma_i - 1) / \sigma_i$  استفاده می‌شود (هویت و همکاران، ۲۰۱۲؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۲). تابع تولید CES مورد استفاده در مطالعه حاضر، با توجه به عوامل تولید زمین، آب، نیروی کار و سرمایه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y_i = \tau_i [\beta_{i1} h_{i1}^{\rho_i} + \beta_{i2} h_{i2}^{\rho_i} + \beta_{i3} h_{i3}^{\rho_i} + \beta_{i4} h_{i4}^{\rho_i}]^{1/\rho_i} \quad (6)$$

مطابق با روش ارائه شده توسط هوویت و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۲)، برای تخمین اولین پارامتر تابع تولید فوق از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\beta_1 = \frac{1}{1 + \frac{h_L^{(-1/\sigma)}}{c_1} \left( \sum_L \frac{c_L}{h_L^{(-1/\sigma)}} \right)} \quad (7)$$

۱ - Medellan-Azuara et al

۲ - Howitt et al

در رابطه فوق،  $h_L$  عامل تولید  $L$  ام و  $c_L$  هزینه عامل تولید  $L$  ام است. پس از محاسبه اولین پارامتر تابع تولید، برای تخمین سایر پارامترهای این تابع می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد (هویت و همکاران، ۲۰۱۲؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۳):

$$\beta_L = \frac{c_L h_1^{(-1/\sigma)}}{c_1 h_L^{(-1/\sigma)}} \cdot \beta_1 \quad (۸)$$

پس از محاسبه و برآورد پارامترهای  $\beta_1$  الی  $\beta_L$ ، با استفاده از تعریف تابع تولید CES می‌توان پارامتر مقیاس را برای هر محصول به کمک رابطه زیر محاسبه نمود (هویت و همکاران، ۲۰۱۲؛ مدلین آزورا و همکاران، ۲۰۱۱؛ پرهیزکاری و صبحی، ۱۳۹۲):

$$\tau_i = \frac{\left( \frac{Y_i}{x_i} \right) \cdot \tilde{x}_i}{\left[ \sum_{j=1}^4 \beta_j h_j^{\rho} \right]^{\nu / \rho_i}} \quad (۹)$$

افزون بر تخمین تابع تولید CES، در مرحله‌ی دوم PMP مقادیر متغیرهای دوگان برای به دست آوردن یک تابع هزینه‌ی متغیر غیرخطی مربوط به نهاده زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای آسانی محاسبه و فقدان دلایل قوی جهت انتخاب توابع دیگر، از تابع هزینه متغیر درجه دوم زیر استفاده می‌شود (مدلین آزورا و همکاران، ۲۰۱۰):

$$TC_i(x_{i, Land}) = \alpha_i x_{i, Land} - \frac{1}{2} \gamma_i x_{i, Land}^2 \quad (۱۰)$$

در رابطه فوق،  $TC_i$  هزینه مربوط به نهاده زمین برای تولید محصول  $i$  در منطقه مورد بررسی،  $\alpha_i$  پارامتر رهگیری و  $\gamma_i$  شیب تابع هزینه غیرخطی است (مدلین آزورا و همکاران، ۲۰۱۰). برای محاسبه و برآورد ضرایب تابع هزینه درجه دوم از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$\gamma_i = \frac{p_i Y_i}{\eta_i \tilde{x}_{i, Land}} \quad (۱۱)$$

$$\alpha_i = \omega_{i, Land} + \lambda_{i, Land}^c + \gamma_i \tilde{x}_{i, Land} \quad (۱۲)$$

در روابط فوق،  $\eta_i$  کشش عرضه محصول  $i$ ،  $\omega_{i, Land}$  هزینه نهاده زمین برای تولید محصول  $i$  و  $\lambda_{i, Land}^c$  ارزش دوگان یا قیمت سایه‌ای واسنجی شده برای نهاده زمین در مرحله اول است. سایر پارامترها نیز در بالا تعریف شده‌اند (مدلین آزورا و همکاران، ۲۰۱۰).

## مرحله سوم: تبیین مدل PMP واسنجی شده نهایی با استفاده از تابع هدف غیرخطی

در این مرحله که مرحله‌ی نهایی مدل PMP است، با استفاده از تابع تولید واسنجی شده در رابطه ۶، تابع هزینه‌ی غیرخطی واسنجی شده در رابطه ۱۰ و محدودیت‌های منابع، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به صورت روابط زیر ساخته می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Max } \Pi = & \sum_{i=1}^5 p_i \tau_i [\beta_{i1} h_{i1}^{\rho_i} + \beta_{i2} h_{i2}^{\rho_i} + \beta_{i3} h_{i3}^{\rho_i} + \beta_{i4} h_{i4}^{\rho_i}]^{\nu/\rho_i} \\ & - \sum_{i=1}^5 (\alpha_i x_{i, Land} - \frac{1}{2} \gamma_i x_{i, Land}^2) - \sum_{i=1}^5 \sum_{j \neq Land}^4 (\omega_{ij} x_{ij}) \end{aligned} \quad (13)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^5 x_i \leq A \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^5 w_i x_i \leq W_s \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^5 w_i x_i \leq W_R \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^5 k_i x_i \leq TK \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^5 La_i x_i \leq TL_a \quad (18)$$

$$x_i \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, 4 \quad (19)$$

رابطه ۱۳ تابع هدف غیرخطی مدل PMP ارائه شده است که شامل تابع تولید منطقه‌ای ( $Y_i$ )، تابع هزینه درجه دوم برای نهاده زمین و تابع هزینه خطی برای سایر نهاده‌ها است.  $\omega_{ij}$  در این رابطه قیمت یا هزینه نهاده  $j$  برای تولید محصول  $i$  است. رابطه ۱۴، محدودیت سطح زیرکشت را نشان می‌دهد که در آن،  $A$  کل سطح زیرکشت در منطقه است. روابط ۱۵ و ۱۶، محدودیت‌های منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشند که  $w_i$  در این روابط نیاز آبی محصول  $i$ ،  $W_s$  کل منابع آب سطحی در دسترس و  $W_R$  کل آب زیرزمینی قابل استحصال است. رابطه ۱۷، بیانگر محدودیت سرمایه است که در آن،  $k_i$  ضریب فنی هزینه محصول  $i$  و  $TK$  کل سرمایه در دسترس در منطقه است. منظور از سرمایه،



مجموع نهاده‌های بذر، کود و سم مورد استفاده است که مقدر آن برحسب کیلوگرم و ارزش آن برحسب ریال در هکتار بیان می‌شود. رابطه ۱۸، محدودیت نیروی کار را نشان می‌دهد که در این رابطه،  $La_i$  نیروی کار مورد نیاز برای تولید محصول  $i$  و  $TLa$  کل نیروی کار در دسترس در منطقه است. رابطه ۱۹ نیز محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها (مقادیر  $x_i$ ) است.

به‌منظور اعمال تکنیک کم‌آبیری تحت سناریوهای مختلف در این تحقیق، از روش ارائه شده توسط کلارک و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۹۸) استفاده شد. مدل فوق به‌صورت زیر قابل تعریف است (کلارک و همکاران، ۱۹۹۸):

$$q_i = \frac{W_{ai}}{E_{ai}} \times 10 \quad (20)$$

در رابطه فوق،  $q_i$  آب موردنیاز گیاه  $i$  ام،  $W_{ai}$  آب خالص موردنیاز گیاه  $i$  ام،  $E_{ai}$  راندمان کاربرد آب در مزرعه محصول  $i$  ام و عدد ۱۰ برای تبدیل میلی‌متر به مترمکعب در هکتار است. مقدار  $W_{ai}$  از رابطه زیر به دست می‌آید (کلارک و همکاران، ۱۹۹۸):

$$W_{ai} = ET_{CROPI} - P_j \quad (21)$$

در رابطه فوق،  $P_j$  میزان بارندگی مؤثر در ماه  $j$  ام سال و  $ET_{CROPI}$  نیز بیانگر تبخیر و تعرق گیاه  $i$  ام است که مقدار آن با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (کلارک و همکاران، ۱۹۹۸):

$$ET_{CROPI} = kc \times ET_o \quad (22)$$

در رابطه فوق،  $ET_o$  میزان تبخیر و تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع و  $kc$  ضریب گیاهی است. بدین ترتیب، تأثیر کاهش آب بر روی عملکرد محصولات بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\left[ 1 - \frac{Y_a}{Y_m} \right] = K_y \left[ 1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right] \quad (23)$$

در رابطه فوق،  $Y_a$  عملکرد واقعی،  $Y_m$  عملکرد ماکزیمم،  $ET_a$  تبخیر و تعرق واقعی،  $ET_m$  تبخیر و تعرق ماکزیمم و  $K_y$  عامل ارتباط بین تبخیر و تعرق و عملکرد محصول است (کلارک و همکاران، ۱۹۹۸؛ کورتیگنانی و سورینی، ۲۰۰۹). پس از واسنجی مدل برنامه‌ریزی اثباتی (PMP) ارائه‌شده، ابتدا واکنش کشاورزان دشت قزوین نسبت به اعمال سیاست افزایش قیمت آب آبیاری تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد شبیه‌سازی شد. سپس، رفتار کشاورزان نسبت به اعمال سیاست کاهش آب در دسترس تحت سناریوهای ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۳۵ درصد ارزیابی شد. در ادامه، واکنش کشاورزان نسبت به اعمال سناریوهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد کم‌آبیری طی دوره رشد محصولات منتخب بررسی شد. پس از اعمال هر یک از راه‌کارهای فوق میزان تغییرات الگوی کشت، سود ناخالص کشاورزان و مصرف آب

1- Clarke et al

۲- Cortignani and Severini

آبیاری در دشت قزوین محاسبه شد و در پایان بر اساس معیار بازده برنامه‌ای راه کار مناسبی برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی این دشت ارائه شد.

### نتایج و بحث

جدول ۱ داده‌ها و اطلاعات آماری مربوط به محصولات منتخب دشت قزوین را در سال پایه ۹۱-۱۳۹۰ نشان می‌دهد. با توجه به این جدول ملاحظه می‌شود که محصولات جو و کلزا به ترتیب دارای بیشترین و کمترین سطح زیرکشت و یونجه و جو به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان مصرف آب در هر هکتار از اراضی دشت قزوین می‌باشند. محصول کلزا بیشترین سطح از قیمت بازاری را در بین سایر محصولات منتخب به خود اختصاص داده است. ذرت دانه‌ای نیز با داشتن بیشترین سطح عملکرد پس از محصول یونجه، در بخش عرضه محصولات تغییرات چشم‌گیرتری را نسبت به تغییر قیمت بازاری خود داشته است و کشتش عرضه آن در حدود ۰/۷۶ است.

جدول ۱. داده‌ها و اطلاعات مربوط به محصولات زراعی دشت قزوین در سال پایه (۹۱-۱۳۹۰)

محصولات منتخب	سطح زیر کشت (ha)	عملکرد (kg/ha)	نیاز آبی (m <sup>3</sup> /ha)	سرمایه (kg/ha)	نیروی کار (نفر-روز)	قیمت (Rial/kg)	کشتش عرضه
گندم آبی	۱۰۲۵۰	۴۶۰۰	۴۲۵۷	۶۷۰	۲۳	۵۶۰۰	۰/۶۳
جو آبی	۱۱۵۰۰	۴۲۵۰	۳۹۷۰	۶۸۲	۲۱	۵۴۷۰	۰/۶۹
ذرت دانه‌ای	۶۷۴۰	۱۰۶۳۸	۶۳۴۸	۹۹۰	۲۹	۶۸۹۰	۰/۷۶
یونجه	۴۳۲۰	۱۲۱۰۰	۸۲۷۴	۵۳۷	۲۶	۹۷۰۰	۰/۶۵
کلزا	۲۶۵۰	۲۳۰۰	۵۸۳۰	۴۱۰	۳۴	۱۱۶۵۰	۰/۷۱

مأخذ: سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین، ۱۳۹۱

در مطالعه حاضر برای تحلیل اثرات افزایش قیمت آب آبیاری تحت سناریوهای مختلف، قیمت هر مترمکعب آب زیرزمینی در سال پایه ۹۱-۱۳۹۰ بر اساس گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین ۴۸۷ ریال در نظر گرفته شد. جدول ۲ نتایج حاصل از اعمال سیاست افزایش قیمت آب آبیاری را تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این جدول، ملاحظه می‌شود که با افزایش قیمت آب، الگوی کشت به نفع محصولاتی که میزان درآمد بیشتری را به ازای هر واحد آب آبیاری (مترمکعب) تولید می‌نمایند، تغییر می‌کند. در بین محصولات منتخب دشت قزوین، ذرت دانه‌ای، یونجه و کلزا علی‌رغم نیاز آبی بالا دارای سود ناخالص بیشتری نسبت به سایر محصولات (گندم و جو آبی) می‌باشند، به همین دلیل با افزایش قیمت هر مترمکعب آب آبیاری، کشاورزان به کشت این محصولات که سود ناخالص بالاتری دارند، تمایل پیدا می‌کنند. نتایج جدول ۲ حاکی از آن است که سطح زیرکشت گندم و جو آبی به علت نیاز آبی کمتر این محصولات و صرفه اقتصادی پایین‌تری که نسبت به حجم آب مصرفی مورد نیاز دارند، با افزایش قیمت آب تحت سناریوهای مختلف به صورت نزولی تغییر می‌کند، به طوری که برای گندم آبی از ۲/۸۳ تا ۱۵/۸۷ درصد و برای جو آبی از ۲/۴۶ تا ۱۲/۰۸ درصد نسبت به سال پایه کاهش می‌یابد. این امر حساسیت بیشتر محصول گندم آبی را نسبت به جو آبی پس از اعمال سیاست قیمت‌گذاری آب آبیاری تحت سناریوهای ۱۰ تا ۵۰ درصد نشان می‌دهد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش قیمت آب آبیاری، کشاورزان دشت قزوین تمایل چندانی را برای کشت محصول گندم آبی در

اراضی فاریاب خود ندارند. افزون بر این، نتایج جدول ۲ حاکی از آن است که با افزایش قیمت آب آبیاری تحت سناریوهای ۱۰ تا ۵۰ درصد، مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب نسبت به سال پایه ۱/۰۹ تا ۶/۵۰ درصد کاهش می‌یابد. این میزان کاهش در سطح زیرکشت محصولات فاریاب، منجر به کاهش میزان آب مصرفی توسط کشاورزان از ۱۸۵/۱۱ به ۱۷۸/۴۴ میلیون مترمکعب در اراضی زراعی منطقه می‌شود. در واقع، افزایش ۱۰ تا ۵۰ درصدی قیمت آب آبیاری نسبت به سال پایه، کاهش ۰/۶۱ تا ۴/۱۹ درصدی میزان مصرف آب آبیاری را در سطح اراضی کشاورزی دشت قزوین به دنبال دارد. به طور کلی، با توجه به این که کشاورزان دشت قزوین در کوتاه‌مدت قادر به تغییر نوع تکنولوژی آبیاری نیستند، با اعمال سیاست قیمت‌گذاری آب آبیاری انتظار می‌رود که الگوی کشت به نفع محصولات آبیاری که به ازای هر واحد مصرف آب (مترمکعب) درآمد بیشتری را تولید می‌کنند، پیش رود.

جدول ۲. نتایج حاصل از اعمال سیاست افزایش قیمت آب آبیاری تحت سناریوهای مختلف در دشت قزوین

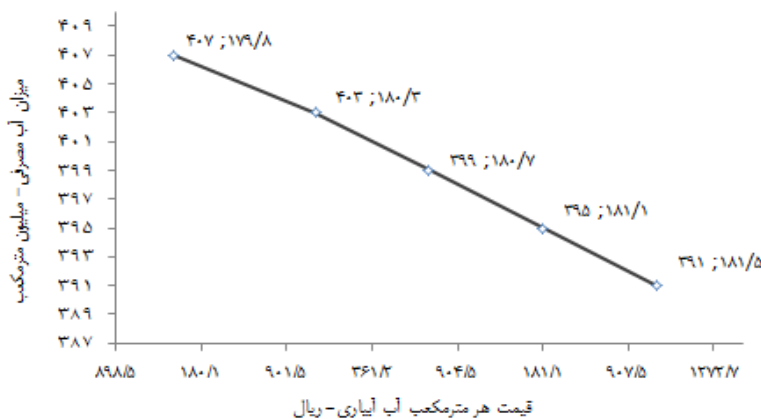
محصول	الگوی سال پایه (هکتار)	میزان تغییرات	افزایش قیمت آب آبیاری تحت سناریوهای مختلف			
			۱۰ درصد	۲۰ درصد	۳۰ درصد	۴۰ درصد
گندم آبی	۱۰۲۵۰	مقدار	۹۹۵۹/۹	۹۶۷۴/۹	۹۴۱۷/۷	۹۱۱۸/۴
		درصد	-۲/۸۳	-۵/۶۱	-۸/۱۲	-۱۱/۰۴
جو آبی	۱۱۵۰۰	مقدار	۱۱۲۱۷/۱	۱۰۹۵۶/۰	۱۰۷۰۷/۶	۱۰۳۹۲/۵
		درصد	-۲/۴۶	-۴/۷۳	-۶/۸۹	-۹/۶۳
ذرت دانه‌ای	۶۷۴۰	مقدار	۶۸۲۵/۶	۶۸۸۴/۴	۶۹۷۴/۵	۷۰۸۳/۱
		درصد	۱/۲۷	۲/۱۱	۳/۴۸	۵/۰۹
یونجه	۴۳۲۰	مقدار	۴۳۶۸/۸	۴۴۰۱/۶	۴۴۱۶/۳	۴۴۳۸/۴
		درصد	۱/۱۳	۱/۸۹	۲/۲۳	۲/۷۴
کلزا	۲۶۵۰	مقدار	۲۷۰۰/۶	۲۷۱۰/۱	۲۷۲۴/۹	۲۷۳۴/۸
		درصد	۱/۹۱	۲/۳۷	۲/۸۳	۳/۲۰
مجموع اراضی*	۳۵۴۶۰	مقدار	۳۵۰۷۲	۳۴۶۲۷	۳۴۲۴۱	۳۳۷۶۷
		درصد	-۱/۰۹	-۲/۳۴	-۳/۴۳	-۴/۷۷
آب مصرفی**	۱۸۶/۲۵	مقدار	۱۸۵/۱۱	۱۸۳/۵۲	۱۸۲/۲۲	۱۸۰/۶۱
		درصد	-۰/۶۱	-۱/۴۶	-۲/۱۶	-۳/۰۳

\* و \*\*: به ترتیب برحسب هکتار و میلیون مترمکعب

مأخذ: یافته‌های تحقیق

شکل ۲ تابع تقاضای آب آبیاری را در سال پایه ۱۳۹۰-۱۳۹۱ برای کشاورزان دشت قزوین نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، ملاحظه می‌شود که با افزایش قیمت هر مترمکعب آب آبیاری، میزان آب مصرفی توسط کشاورزان در واحد سطح محصولات منتخب (گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای، کلزا و یونجه) کاهش می‌یابد. این امر حاکی از آن است که با افزایش قیمت آب آبیاری، تقاضای کشاورزان دشت قزوین برای این نهادده کمیاب کاهش می‌یابد، به طوری که میزان تقاضا

برای آب در سطح قیمت ۳۹۱ ریال در حدود ۱۸۱/۵ میلیون مترمکعب بوده و با افزایش قیمت این نهاد به ۴۰۷ ریال، میزان تقاضای کشاورزان به ۱۷۹/۸ میلیون مترمکعب می‌رسد.



شکل ۲- تابع تقاضای آب آبیاری کشاورزان دشت قزوین در سال پایه

پس از بررسی اثرات سیاست قیمت گذاری آب آبیاری، به منظور کاهش منابع آب در دسترس کشاورزان دشت قزوین و تحلیل اثرات آن بر الگوی کشت و میزان آب مصرفی، محدودیت عرضه آب آبیاری در سطح اراضی فاریاب اعمال شد. جهت دستیابی به نتایج کاربردی در اعمال این سیاست یا راهبرد اقتصادی، مقادیر سمت راست محدودیت نهاد آب که بیانگر کل منابع آب در دسترس منطقه است، تحت سناریوهای مختلف کاهش داده شد و اثرات اعمال هر سناریو به صورت جداگانه بررسی شد. نتایج حاصل از اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۳۵ درصد در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج این جدول، ملاحظه می‌شود که با اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس ابتدا الگوی کشت به نفع محصولات پربازده ذرت دانه‌ای و کلزا تغییر می‌کند، اما با محدودیت بیشتر عرضه آب و کاهش مصرف آب آبیاری تحت سناریوهای بالاتر، از آنجایی که میزان آب مورد نیاز برای کشت محصولات کم‌بازده تأمین نمی‌گردد، سطح زیرکشت این محصولات (گندم و جو آبی) نیز به صورت شدیدتر کاهش می‌یابد. نتایج بیانگر آن است که محصول گندم آبی در مقایسه با جو آبی حساسیت بیشتری را در اعمال سیاست کاهش آب در دسترس نشان می‌دهد، به طوری که تحت شرایط محدودیت عرضه آب ۵ تا ۳۵ درصد در منطقه، سطح زیرکشت گندم آبی ۲/۰۷ تا ۱۵/۱ درصد کاهش می‌یابد، در حالی که سطح زیرکشت جو آبی در همین شرایط به میزان ۱/۸۳ تا ۱۲/۲ درصد نسبت به سال پایه کاهش پیدا می‌کند. محصول علوفه‌ای یونجه نیز از این امر مستثنی نبوده و سطح زیرکشت آن با ایجاد محدودیت در عرضه آب نسبت به سال پایه کاهش پیدا می‌کند، به طوری که از ۴۳۲۰ هکتار در سال پایه به ۴۵۹۱/۶ هکتار تحت سناریوی ۳۵ درصد کاهش آب دسترس می‌رسد که تغییرات کاهشی به میزان ۰/۶۷ تا ۲/۸۸ درصد را برای سطح زیرکشت این محصول به همراه دارد.

افزون بر نتایج فوق، یافته‌های جدول ۳ حاکی از آن است که اعمال سیاست کاهش آب در دسترس منجر به کاهش ۱/۵۳ تا ۱۰/۴ درصدی مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب دشت قزوین نسبت به سال پایه می‌شود. با کاهش سطح زیرکشت محصولات منتخب، بخشی از اراضی در الگوی کشت به صورت کشت نشده باقی می‌ماند، به گونه‌ای که با

اعمال ۳۵ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس، سطح اراضی کشت نشده به ۳۷۱۷/۳ هکتار می‌رسد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در جداول ۲ و ۳، تفاوت سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس با سیاست افزایش قیمت آب آبیاری را از لحاظ تأثیر بر الگوی کشت می‌توان در کمیت و میزان تغییر سطوح زیرکشت محصولات پربازده ذرت دانه‌ای، کلزا و یونجه دریافت. براساس نتایج جدول ۵، ملاحظه می‌شود که علاوه بر اعمال سیاست افزایش قیمت آب آبیاری، با کاهش آب آبیاری در دسترس نیز سطح زیرکشت محصولات غله‌ای گندم و جو آبی در دشت قزوین کاهش می‌یابد، اما میزان تغییرات کاهشی سطح زیرکشت این دو محصول در سیاست قیمت‌گذاری آب آبیاری با شدت بیشتری همراه است. به‌طور کلی، نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که با ایجاد محدودیت در عرضه آب آبیاری از طریق اعمال سیاست کاهش آب در دسترس در دشت قزوین انتظار می‌رود که الگوی کشت به نفع محصولاتی که میزان درآمد ثابتی را به ازای میزان کمتر آب (و یا درآمد بیشتری را به ازای میزان ثابت آب) ایجاد می‌کنند، پیش رود. همچنین، یافته‌های به‌دست‌آمده از اعمال سیاست کاهش آب در دسترس تا حدی مشابه به نتایج سیاست افزایش قیمت آب آبیاری است، با این تفاوت که کاهش منابع آب در دسترس منجر به کاهش سطح زیر کشت کلبه محصولات منتخب دشت قزوین می‌شود و در این حالت سهم اراضی کشت نشده بیشتر است.

جدول ۳. نتایج حاصل از اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای مختلف در دشت قزوین

محصول	الگوی سال پایه (هکتار)	کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای مختلف				
		میزان تغییرات	۵ درصد	۱۰ درصد	۲۰ درصد	۳۰ درصد
گندم آبی	۱۰۲۵۰	مقدار	۱۰۰۳۷/۸	۹۷۰۲/۶	۹۴۱۳/۶	۸۷۰۲/۲
		درصد	-۲/۰۷	-۵/۳۴	-۸/۱۶	-۱۱/۴
جو آبی	۱۱۵۰۰	مقدار	۱۱۲۸۹/۵	۱۱۱۰۲/۱	۱۰۷۹۷/۳	۱۰۱۸۹/۰
		درصد	-۱/۸۳	-۳/۴۶	-۶/۱۱	-۹/۰۵
ذرت دانه‌ای	۶۷۴۰	مقدار	۶۶۶۹/۹	۶۶۱۲/۶	۶۵۸۷/۰	۶۵۴۲/۵
		درصد	-۱/۰۴	-۱/۸۹	-۲/۲۷	-۲/۹۳
یونجه	۴۳۲۰	مقدار	۴۲۹۱/۱	۴۲۶۶/۸	۴۲۳۷/۹	۴۲۱۸/۹
		درصد	-۰/۶۷	-۱/۲۳	-۱/۹۰	-۲/۳۴
کلزا	۲۶۵۰	مقدار	۲۶۲۸/۳	۲۶۰۶/۸	۲۵۹۵/۰	۲۵۷۸/۷
		درصد	-۰/۸۲	-۱/۶۳	-۲/۰۷	-۲/۶۹
مجموع اراضی*	۳۵۴۶۰	مقدار	۳۴۹۱۶/۶	۳۴۲۹۰/۹	۳۳۶۳۰/۸	۳۲۶۱۰/۶
		درصد	-۱/۵۳	-۳/۲۹	-۵/۱۶	-۸/۰۳
آب مصرفی**	۱۸۶/۲۵	مقدار	۱۸۳/۶۴	۱۸۰/۷۲	۱۷۷/۷۶	۱۷۳/۲۹
		درصد	-۱/۳۹	-۲/۹۶	-۴/۵۴	-۶/۹۵

\* و \*\*: به ترتیب برحسب هکتار و میلیون مترمکعب

مأخذ: یافته‌های تحقیق

استراتژی کم‌آبیاری یکی دیگر از راه‌کارهای بهینه‌سازی مصرف آب است که هدف اصلی آن افزایش کارایی مصرف

آب با کاهش نیاز آبی گیاه و حذف آن قسمت از آب آبیاری است که تأثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد محصولات ندارد. همان‌گونه که در بخش مواد و روش اشاره شد، در این تحقیق جهت اعمال کم‌آبیاری و بررسی اثرات آن بر عملکرد واقعی محصولات منتخب از روش کلارک و همکاران (۱۹۹۸) استفاده شد. پس از بررسی تغییرات عملکرد محصولات منتخب تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری، مدل برنامه‌ریزی ارائه شده با اعمال تغییرات به وجود آمده در متغیر عملکرد در تابع هدف ( $Y_i$ )، حل و ارزیابی شد. نتایج حاصل از به‌کارگیری تکنیک کم‌آبیاری برای محصولات منتخب دشت قزوین تحت سناریوهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به نتایج این جدول، ملاحظه می‌شود که پس از اعمال کم‌آبیاری تحت سناریوهای مختلف، سطح زیرکشت کلیه محصولات منتخب در دشت قزوین نسبت به سال پایه کاهش می‌یابد، اما نتایج گویای آن است که محصولات پرآب‌تر ذرت دانه‌ای و یونجه حساسیت بیشتری را نسبت به گندم و جو آبی پس از اعمال سناریوهای مختلف کم‌آبیاری نشان می‌دهند. این در حالی است که با اعمال سناریوی ۵ تا ۲۵ درصد کم‌آبیاری، سطح زیرکشت ذرت دانه‌ای از ۶۷۴۰ هکتار در سال پایه به ۵۸۲۸/۷ هکتار می‌رسد و در حدود ۲/۱۳ تا ۱۳/۵۲ درصد نسبت به سال پایه کاهش می‌یابد. سطح زیرکشت یونجه نیز با اعمال سناریوهای فوق در حدود ۱/۹۶ تا ۱۰/۴۱ درصد نسبت به سال پایه کاهش می‌یابد. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده، اعمال کم‌آبیاری برای سایر محصولات الگو (گندم آبی، جو آبی و کلزا) نیز کاهش سطح زیرکشت را نسبت به سال پایه به همراه دارد، اما سطح زیرکشت گندم و جو آبی در مقایسه با ذرت دانه‌ای و یونجه به علت نیاز آبی کمتر، مقاومت بیشتر به خشکی و حساسیت کمتر به ایجاد تنش‌های آبی به میزان کمتری کاهش می‌یابد. به‌طورکلی نتایج گویای آن است که با اعمال تکنیک‌های کم‌آبیاری و ایجاد تنش‌های رطوبتی طی دوره رشد محصولات منتخب، کشاورزان دشت قزوین تمایل خود را برای حفظ محصولات کم‌آب‌تری مانند گندم و جو آبی بیشتر نموده و از سطح زیرکشت این محصولات غله‌ای به میزان کمتری می‌کاهند. این در حالی است که با اعمال کم‌آبیاری تحت سناریوهای بالاتر، کشاورزان دشت قزوین به سمت کاهش سطح زیرکشت محصولات پرآب‌تری مانند ذرت دانه‌ای و یونجه متمایل می‌شوند. کاهش سطح زیرکشت محصولات با نیاز آبی بالا (ذرت دانه‌ای و یونجه) نیز منجر به صرفه‌جویی حجم زیادی از آب آبیاری در منطقه شده و همین امر بیانگر کاهش شدیدتر میزان آب مصرفی در الگوی کشت پس از اعمال سناریوهای مختلف کم‌آبیاری است. نتایج حاکی از آن است که تحت اعمال تنش‌های آبی ۵ تا ۲۵ درصد، میزان آب مصرفی در الگوی کشت محصولات منتخب دشت قزوین حدود ۲/۵۷ تا ۱۱/۰۳ درصد نسبت به سال پایه کاهش می‌یابد. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۴، ملاحظه می‌شود که اعمال کم‌آبیاری به علت حذف بخشی از نیاز آبی گیاه، منجر به مصرف میزان آب آبیاری کمتری نسبت به دو سیاست کاهش منابع آب در دسترس و افزایش قیمت آب آبیاری می‌شود، اما متناسب با مصرف آب کمتر بازده برنامه‌های کمتری نیز با به‌کارگیری این تکنیک حاصل می‌شود. به‌طورکلی، نتایج حاصل از اعمال سیاست‌های افزایش قیمت آب آبیاری و کاهش منابع آب در دسترس و همچنین استراتژی کم‌آبیاری حاکی از آن است که هر سه راه‌کار فوق با ایجاد تغییراتی در الگوی کشت محصولات منتخب دشت قزوین منجر به مصرف حجم آب کمتری نسبت به سال پایه می‌شوند و از این طریق به پایداری منابع آب موجود در منطقه کمک قابل توجهی می‌نمایند، اما با توجه به محدودیت نهاد آب در دشت قزوین، انتخاب راه‌کار مناسب‌تر و در اولویت قرار دادن سایر راه‌کارها برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی این دشت توأم با تحقق تابع هدف مسئله (حداکثرسازی سود کشاورزان) امری ضروری است. برای این منظور، تغییرات بازده برنامه‌های پس از اعمال هر یک از سیاست‌های افزایش قیمت آب آبیاری، کاهش منابع آب در دسترس و تکنیک کم‌آبیاری نسبت به سال پایه بررسی و میانگین تغییرات بازده برنامه‌های مربوط به هر راه‌کار محاسبه شد.

جدول ۵، میزان تغییرات بازده برنامه‌های حاصل از الگوی کشت را پس از اعمال راه‌کارهای افزایش قیمت آب آبیاری، کاهش منابع آب در دسترس و تکنیک کم‌آبیاری در منطقه موردبررسی نشان می‌دهد:

جدول ۴. نتایج حاصل از به کارگیری تکنیک کم آبیاری تحت سناریوهای مختلف در دشت قزوین

محصول	الگوی سال پایه (هکتار)	میزان تغییرات				
		۵ درصد	۱۰ درصد	۱۵ درصد	۲۰ درصد	۲۵ درصد
گندم آبی	۱۰۲۵۰	مقدار	۱۰۰۹۹/۳	۱۰۰۱۱/۲	۹۹۳۳/۳	۹۷۵۴/۹
		درصد	-۱/۴۷	-۲/۳۳	-۳/۰۹	-۴/۸۳
جو آبی	۱۱۵۰۰	مقدار	۱۱۳۴۵/۹	۱۱۲۶۷/۷	۱۱۰۵۳/۸	۱۰۹۹۸/۶
		درصد	-۱/۳۴	-۲/۰۲	-۳/۸۸	-۴/۳۶
ذرت دانه‌ای	۶۷۴۰	مقدار	۶۵۹۶/۴	۶۴۱۱/۷	۶۲۶۶/۲	۶۰۰۱/۳
		درصد	-۲/۱۳	-۴/۸۷	-۷/۰۳	-۱۰/۹۶
یونجه	۴۳۲۰	مقدار	۴۲۳۵/۳	۴۲۱۸/۵	۴۱۳۹/۸	۴۰۱۳/۷
		درصد	-۱/۹۶	-۲/۳۵	-۴/۱۷	-۷/۰۹
کلزا	۲۶۵۰	مقدار	۲۶۱۷/۱	۲۵۷۶/۰	۲۵۴۲/۷	۲۴۵۴/۹
		درصد	-۱/۲۴	-۲/۱۹	-۴/۰۵	-۷/۳۶
مجموع اراضی*	۳۵۴۶۰	مقدار	۳۴۸۹۴/۰	۳۴۴۸۵/۱	۳۳۹۳۵/۸	۳۳۲۲۳/۴
		درصد	-۱/۵۹	-۲/۷۵	-۴/۲۹	-۶/۳۱
آب مصرفی**	۱۸۶/۲۵	مقدار	۱۸۱/۴۶	۱۷۷/۶۷	۱۷۴/۳۸	۱۷۰/۵۶
		درصد	-۲/۵۷	-۴/۶۱	-۶/۳۷	-۸/۴۲

\* و \*\*: به ترتیب برحسب هکتار و میلیون مترمکعب

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۵. تغییرات بازده برنامه‌ای حاصل از الگوی کشت پس از اعمال راه کارهای مورد بررسی

راه کار مورد بررسی	عامل بررسی	میزان و درصد تغییرات بازده برنامه‌ای پس از اعمال سناریوهای مختلف				
افزایش قیمت آب	سناریوها	۱۰ درصد	۲۰ درصد	۳۰ درصد	۴۰ درصد	۵۰ درصد
		میزان تغییرات*	۶۳۹۵۳/۲۷	۶۳۲۴۲/۴۶	۶۲۵۰۵/۸۱	۶۲۰۰۱/۷۸
کاهش آب در دسترس	سناریوها	۵ درصد	۱۰ درصد	۲۰ درصد	۳۰ درصد	۳۵ درصد
		میزان تغییرات*	۶۲۹۱۹/۳۷	۶۰۸۵۸/۰۳	۵۹۱۳۲/۷۱	۵۷۳۱۶/۹۲
تکنیک کم آبیاری	سناریوها	۵ درصد	۱۰ درصد	۱۵ درصد	۲۰ درصد	۲۵ درصد
		میزان تغییرات*	۶۳۸۸۲/۱۹	۶۲۱۱۸/۱۰	۶۱۳۱۶/۸۳	۵۹۵۲۰/۴۲

\*: برحسب میلیون ریال (بازده برنامه‌ای الگوی کشت در سال پایه معادل با ۶۴۶۱۸/۸۵ میلیون ریال است).

مأخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به نتایج جدول ۵، ملاحظه می‌شود که بازده برنامه‌ای حاصل از الگوی کشت در مقایسه با سال پایه پس از به‌کارگیری سیاست افزایش قیمت آب آبیاری تحت سناریوهای ۱۰ تا ۵۰ درصد به میزان ۱/۰۳ تا ۵/۱۹ درصد، پس از به‌کارگیری سیاست کاهش منابع آب در دسترس تحت سناریوهای ۵ تا ۳۵ درصد به میزان ۲/۶۳ تا ۱۴/۵ درصد و پس از به‌کارگیری تکنیک کم‌آبیاری تحت سناریوهای ۵ تا ۲۵ درصد به میزان ۱/۱۴ تا ۹/۷۲ درصد کاهش می‌یابد. منفی بودن مقادیر مربوط به تغییرات بازده برنامه‌ای پس از اعمال برنامه‌های سیاستی افزایش قیمت آب آبیاری، کاهش منابع آب در دسترس و کم‌آبیاری در دشت قزوین حاکی از کاهش این متغیر (بازده برنامه‌ای) نسبت به سال پایه است. در واقع، مقادیر منفی تغییرات بازده برنامه‌ای نشان می‌دهد که اگرچه کاربرد هر یک از راه‌کارهای فوق منجر به صرفه‌جویی بخشی از منابع آب مصرفی در دشت قزوین می‌شود، اما با تغییرات ایجاد شده در الگوی کشت محصولات منتخب بازده برنامه‌ای حاصل از الگوی کشت نسبت به سال پایه کاهش می‌یابد.

جدول ۶ میانگین تغییرات بازده برنامه‌ای را پس از به‌کارگیری هر یک از راه‌کارهای افزایش قیمت آب آبیاری، کاهش منابع آب در دسترس و کم‌آبیاری تحت سناریوهای مختلف در دشت قزوین نشان می‌دهد:

جدول ۶- میانگین تغییرات بازده برنامه‌ای در راه‌کارهای مورد بررسی

راه‌کار حفاظت از منابع آب زیرزمینی	مجموع درصد تغییرات بازده برنامه‌ای	میانگین درصد تغییرات بازده برنامه‌ای
افزایش قیمت آب آبیاری	-۱۵/۶۵	-۳/۱۳
کاهش منابع آب در دسترس	-۴۳/۴۰	-۸/۶۱
تکنیک کم‌آبیاری	-۲۷/۷۳	-۵/۵۴

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج به‌دست آمده در جدول ۶ حاکی از آن است که میانگین تغییرات بازده برنامه‌ای در حالت به‌کارگیری سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس ۸/۶۱ درصد، در حالت به‌کارگیری تکنیک کم‌آبیاری ۵/۵۴ درصد و در حالت به‌کارگیری سیاست افزایش قیمت آب آبیاری ۳/۱۳ درصد کاهش می‌یابد. به همین منظور، سیاست افزایش قیمت آب آبیاری با توجه به کاهش کمتر بازده برنامه‌ای حاصل از الگوی کشت در مقایسه با سایر راه‌کارها، برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی دشت قزوین راه‌کار مناسب‌تری است. تکنیک کم‌آبیاری نیز پس از اعمال سیاست افزایش قیمت آب آبیاری برای حفظ و پایداری منابع آب موجود در دشت قزوین در اولویت قرار می‌گیرد. سیاست کاهش منابع آب در دسترس به علت کاهش ۸/۶۱ درصدی بازده برنامه‌ای برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی دشت قزوین توصیه نمی‌شود، چراکه به‌کارگیری این سیاست سود ناخالص کشاورزان را تا حد زیادی کاهش می‌دهد که این امر توسعه بخش کشاورزی استان قزوین را با مشکلات عدیده مواجه می‌سازد.

شکل ۳، میانگین تغییرات بازده برنامه‌ای راه‌کارهای مورد بررسی را به‌صورت مقایسه‌ای نشان می‌دهد: به‌طور کلی، نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق که در زمینه تحلیل اثرات برنامه‌های سیاستی مختلف بر پایداری و حفاظت از منابع آب در دسترس کشاورزان دشت قزوین است، با نتایج تحقیقات حسین‌زاد (۱۳۸۴)، صبوخی و همکاران (۱۳۸۵)، بلالی و همکاران (۱۳۹۰)، پرهیزکاری (۱۳۹۲) و پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۳) در داخل کشور هم‌خوانی دارد. افزون بر این، نتایج پژوهش حاضر در راستای نتایج تحقیقات بارتولینی و همکاران (۲۰۰۷)، فریجا و همکاران (۲۰۱۱)، مدلین آرووا و



همکاران (۲۰۱۱)، مشتاق و مقدسی (۲۰۱۲) و هوویت و همکاران (۲۰۱۲) در خارج از کشور است.



شکل ۳- مقایسه تغییرات بازده برنامه‌ای مربوط به راه کارهای مورد بررسی

### نتیجه گیری

در سال‌های اخیر، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی دشت قزوین روند صعودی داشته، به طوری که بخش جنوبی این دشت در شرایط بحرانی به سر می‌برد. از آنجایی که این دشت در تولید محصولات زراعی و درآمدزایی استان قزوین و استان‌های هم‌جوار آن اهمیت ویژه‌ای دارد، توجه به پایداری منابع آب در آن امری ضروری و مهم به نظر می‌رسد. به همین منظور، در مطالعه حاضر برای بررسی رفتار کشاورزان در استفاده از آب‌های زیرزمینی و انتخاب راه کار مناسب برای حفاظت از منابع آب دشت قزوین، از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) و رهیافت تابع تولید با کشش جانشینی ثابت (CES) استفاده شد. راه کارهای مورد بررسی شامل افزایش قیمت آب آبیاری، کاهش منابع آب در دسترس و استراتژی کم-آبیاری بود که هر یک تحت سناریوهای مختلف ارزیابی شد. داده‌های مورد نیاز مربوط به سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ بود که با مراجعه به ادارات ذی‌ربط در استان قزوین جمع‌آوری شد. حل مدل ارائه شده نیز در نرم‌افزار GAMS 24/1 صورت گرفت.

نتایج حاصل از اعمال سیاست‌های افزایش قیمت آب آبیاری و کاهش منابع آب در دسترس و استراتژی کم‌آبیاری نشان داد که هر سه راه کار فوق با ایجاد تغییراتی در الگوی کشت، منجر به صرفه‌جویی آب نسبت به سال پایه می‌شوند، اما با توجه به محدودیت نهاده آب در دشت قزوین و به منظور تحقق هدف اصلی مسئله (حداکثرسازی سود ناخالص کشاورزان)، برای انتخاب راه کار مناسب‌تر از معیار تغییرات بازده برنامه‌ای استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده، در بین راه کارهای مورد بررسی سیاست افزایش قیمت آب آبیاری با توجه به کمترین میزان کاهش سود ناخالص کشاورزان (۳/۱۳ درصد)، به عنوان مناسب‌ترین راه کار برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی دشت قزوین انتخاب شد و تکنیک کم‌آبیاری پس از این سیاست در اولویت قرار گرفت. به کارگیری سیاست کاهش منابع آب در دسترس نیز با توجه به کاهش ۸/۶۱ درصدی بازده برنامه‌ای حاصل از الگوی کشت در منطقه مورد مطالعه توصیه نشد. در پایان، با توجه نتایج حاصل از این تحقیق جهت حفظ و پایداری منابع آب زیرزمینی دشت قزوین توصیه‌های سیاستی زیر ارائه شد:

۱- با توجه به رایگان تلقی شدن نهاده آب برای کشاورزان در دشت قزوین، اعمال سیاست افزایش قیمت آب آبیاری

بر اساس معیار ارزش اقتصادی آب و ملاحظه برابری در منطقه توصیه می‌شود. این سیاست ضمن کاهش میزان آب در دسترس، کشاورزان را به مدیریت صحیح منابع آب تشویق می‌کند. لذا، پیشنهاد می‌شود که این سیاست برای صرفه‌جویی و ذخیره منابع آب، به‌ویژه در فصول پرآب و رفع نیازهای موجود در فصول کم‌آب مورد استفاده قرار گیرد.

۲- محصولات زراعی که نسبت به آب مصرفی، سود ناخالص کمتری را حاصل می‌کنند از الگوی کشت فعلی حذف شوند و یا اینکه سطح زیرکشت آن‌ها کاهش داده شود و محصولات با صرفه اقتصادی بالاتر و نیاز آبی کمتر در الگوی کشت جایگزین گردند.

۳- به‌کارگیری تکنیک کم‌آبیاری اگرچه که کاهش سود ناخالص کشاورزان را در دشت قزوین در پی دارد، اما سبب صرفه‌جویی حجم زیادی از آب آبیاری شده که با ذخیره‌سازی این میزان می‌توان سطح زیرکشت محصولات زراعی را نسبت به حالت فعلی افزایش داد و یا این که حجم آب ذخیره شده را در بخش باغی برای تولید محصولات با صرفه اقتصادی بیشتر استفاده کرد. لذا، پیشنهاد می‌شود که این استراتژی به‌صورت عملی در سطح مزارع دشت قزوین به‌کار گرفته شود.

۴- استفاده از تکنیک کم‌آبیاری تحت سناریوهای بالاتر به‌منظور کاهش میزان آب مصرفی در شرایط فعلی توسط کشاورزان و استفاده از حجم آب ذخیره شده برای تغذیه آبخوان‌هایی که طی سال‌های اخیر در بخش‌های جنوبی دشت قزوین با افت سطح آب‌های زیرزمینی مواجه شده‌اند، پیشنهاد می‌شود.

۵- برای پایداری تولید در بخش کشاورزی دشت قزوین و تحقق هدف اصلی کشاورزان این منطقه (دستیابی به حداکثر سود ممکن) توصیه می‌شود که سیاست کاهش منابع آب در دسترس (که طی سال‌های اخیر با شب خاموشی پمپاژهای آب چاه‌ها و کاهش سهمیه آب انتقالی از سد طالقان اجرایی شده) تا حد امکان در منطقه مورد مطالعه به‌کار گرفته نشود. آیش‌گذاری بخشی از اراضی مستعد کشت و کاهش تمایل زارعین دشت قزوین برای توسعه سطح زیرکشت محصولات غله‌ای گندم و جو آبی، از جمله پیامدهای منفی به‌کارگیری سیاست کاهش آب در دسترس طی سال‌های اخیر در دشت قزوین بوده که منجر به کاهش شدید سود ناخالص کشاورزان منطقه شده است.

## منابع

بلالی، ح. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر سیاست‌های قیمتی و کشاورزی بر حفظ منابع آب‌های زیرزمینی، مطالعه موردی دشت بهار. پایان‌نامه دکتری رشته اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

بلالی، ح.، خلیلیان، ص. و یوسفی، ع. ۱۳۹۰. بررسی راهبردهای منابع آب در اقتصاد ایران با استفاده از الگوی تعادل عمومی. مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۵(۱): ۱۲۳-۱۰۹.

پرهیزکاری، ا. و صبوچی، م. ۱۳۹۱. تعیین الگوی بهینه کشت در جهت پایداری منابع آب با در نظر گرفتن حداقل و حداکثر منابع موجود در منطقه (رهیافتی از مدل برنامه‌ریزی خطی فازی). سومین کنفرانس مدیریت جامع منابع آب، ۸-۱۰ تیر، دانشکده منابع طبیعی ساری.

پرهیزکاری، ا. ۱۳۹۲. تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری و پاسخ کشاورزان به سیاست‌های قیمتی و غیرقیمتی در استان قزوین. پایان‌نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد رشته اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل.

پرهیزکاری، ا. و صبوچی، م. ۱۳۹۲. تحلیل اثرات اقتصادی و رفاهی تشکیل بازار آب آبیاری در استان قزوین. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۸(۴): ۳۳۸-۳۵۰.

پرهیزکاری، ا. و صبوچی، م. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی پاسخ کشاورزان به سیاست کاهش منابع آب در دسترس. مجله مدیریت آب و آبیاری، ۳(۲): ۷۴-۵۹.

پرهیزکاری، ا.، صبوچی، م. و ضیائی، س. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی بازار آب و تحلیل اثرات سیاست اشتراک‌گذاری آب آبیاری بر الگوی کشت تحت شرایط کم‌آبی. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۷(۳): ۲۵۲-۲۴۲.

پرهیزکاری، ا.، صبوچی، م.، احمدپور، م. و بدیع برزین، ح. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی واکنش کشاورزان به سیاست‌های قیمت-گذاری و سهمیه‌بندی آب آبیاری (مطالعه موردی: شهرستان زابل). نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۸(۲): ۱۷۶-۱۶۷.

زارع مهرجردی، م. ۱۳۸۶. ارزش‌گذاری آب‌های زیرزمینی در بخش کشاورزی: مطالعه موردی شهرستان کرمان. رساله دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

شاهرودی، ع. و پیذری، م. ۱۳۸۵. تحلیل حیطه‌های رفتاری کشاورزان استان خراسان رضوی در زمینه مدیریت بهینه آب کشاورزی: مقایسه مشارکت‌کنندگان و غیرمشارکت‌کنندگان در تعاون آب‌بران. فصلنامه علوم ترویج و آموزش کشاورزی، ۸(۱): ۲۴۵-۲۳۴.

شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین. ۱۳۹۰. گزارش‌های سالانه منابع آب منطقه‌ای استان قزوین.

صبوچی، م. و مجرد، ع. ۱۳۸۹. کاربرد نظریه بازی در مدیریت منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز اترک. مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۴(۱): ۱۲-۱.

غزالی، س. و اسماعیلی، ع. ۱۳۹۰. درونی‌سازی تأثیرات جانبی برداشت آب از چاه‌های کشاورزی اطراف دریاچه پریشان مطالعه موردی: محصول گندم. مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۵(۲): ۱۷۱-۱۶۱.

مظاهری، و. و ترکمانی، ج. ۱۳۸۸. عوامل مؤثر بر استفاده بهینه از آب در سطح مزارع: مطالعه موردی چغندرچند در شهرستان مرودشت. ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

وزارت نیرو. ۱۳۹۱. گزارش‌های شرکت مدیریت منابع آب ایران.

Bartolini, F., Bazzani, G.M., Gallerani, V., Raggi, M. and 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. *Journal of Agricultural Systems*, 93: 90-114.

- Cortignani, R. and Severini, S. 2009. Modeling farm-level adoption deficit irrigation using positive mathematical programming, *Agricultural Water Management*, 96 (1): 1785-1791.
- Clarke, D., Smith, M. and EL-Askari, K. 1998. CROPWAT for Windows: User Guide. University of Southampton, pp: 200-246.
- Frija, A., Wossink, A., Buysse, J., Speelman, S. and Van Huylenbroeck, G. 2011. Irrigation pricing policies and its impact on agricultural inputs demand in Tunisia: ADE A-Dased methodology. *Journal of Environmental Management*, 92: 2109-2118.
- Hellegers, P. 2002. Treating water in irrigate agriculture as an economic good. Preceding the Conference of Irrigation Water Policies, Agadir, Morocco, June 2002.
- Howitt, R., Medellin-Azuara, J. and MacEwan, D. 2009. Estimating the economic impacts of agricultural yield related changes for California. Final Paper, a Paper from California Climate Change Center, 29P.
- Howitt, R., Medellin-Azuara, J., MacEwan, D. and Lund, R. 2012. Calibrating disaggregate economic models of agricultural production. *Science of the environmental modeling and software*, 38: 244-258.
- Knapp, K. and Schwabe, K. 2008. Irrigated agriculture and climate change: The influence of water supply variability and salinity on adaptation. *Ecological Economics*, 77(1): 149-157.
- Medellan-Azuara, J., Harou, J. and Howitt, R. 2010. Estimating economic value of agricultural water under changing conditions and the effects of spatial aggregation, *Science of the Total Environment*, 408: 5639-5648.
- Medellan-Azuara, J., Harou, J. and Howitt, R. 2011. Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. *Science of the agricultural water management*, 108: 73-82.
- Meyer, A., Tsui, A.S. and Hinings, C.R. 1993. Configurationally approaches to organizational analysis. *Academy of Management Journal*, 36: 1175-1195.
- Mushtaq, Sh. and Moghaddasi, M. 2012. Evaluating the potentials of deficit irrigation as an adaptive response to climate change and environmental demand, *Environmental Science and Policy*, Australia College of Agriculture, 14(2): 1139-1150.
- Tsur, Y. 1990. The stabilization role of groundwater when surface water supplies are Uncertain: the implications for groundwater development. *Water Resources Research*, 26: 811-818.

## Determining the Appropriate Economic Strategy to Conserve Groundwater Resources in Qazvin Plain

Abozar Parhizkari<sup>1\*</sup>, Mahdi Khodadadi Hoseyni<sup>2</sup>, Hossein Taghizade Ranjbari<sup>3</sup> and Abolfazle Mahmoodi<sup>4</sup>

Received: 26 April, 2015 Accepted: 19 September, 2015

### Abstract

Qazvin plain is one of the capable plains in Iran to produce of agricultural goods. Unfortunately, due to inordinate shafts digging and irregular use of groundwater the level of groundwater has been decreased during two last decades so that water balance is negative now. To conserve the groundwater resources in this plain, strategies and appropriate policies are needed and this requires a better understanding of farmers' behavior. Therefore, in the present study in order to investigate farmers' behavior in using of groundwater and determine appropriate strategies to conserve of groundwater resources in Qazvin plain, positive mathematical programming and production function with constant elasticity of substitution were used. The investigated strategies included increase in water price, decrease in water availability and deficit irrigation strategy and were investigated under various scenarios. The required data were registered information related to 2011-2012 collected from relevant departments in Qazvin province. The model was solved using GAMS 23/9 software. The results showed that all the investigated strategies led to water saving however the average gross profit changes decreased by 3.13, 8.61 and 5.54 percent with increasing water price, decrease in water availability and deficit irrigation, respectively. Finally, considering the less reduction in average gross profit, the irrigation water pricing and then deficit irrigation strategies were proposed to conserve groundwater resources in Qazvin plain.

**Keyword:** Cropping Pattern, Groundwater Resources, Manageable Strategy, Positive Mathematical Programming Model.

---

1 - PhD. student of Agricultural Economics, University of PNU (Researcher of Agriculture and Natural Resources Research Center of Qazvin province and the member of the National Foundation of Elites)

2 - PhD. student of Agricultural Economics, University of Zabol

3 - PhD. student of Agricultural Economics, University of PNU

4 - Associate Professor of Agricultural Economics, University of PNU

(\*-Corresponding Author E-mail: Abozar.parhizkari@yahoo.com)