

## ارزیابی اثرات کم آبیاری و کاهش تخصیص آب بر تولید بخش کشاورزی استان قزوین

ابوذر پرهیزکاری<sup>۱\*</sup>، محمود صبحی، محمود احمدپور و حسین بدیع برزین

دانشجوی دکترای اقتصاد کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران.

[Abozar.parihikari@yahoo.com](mailto:Abozar.parihikari@yahoo.com)

دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

[Msabouhi39@yahoo.com](mailto:Msabouhi39@yahoo.com)

استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل.

[Mahmoud.Ahmadpour@yahoo.com](mailto:Mahmoud.Ahmadpour@yahoo.com)

عضو هیئت علمی پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل.

[Hossein.badi89@gmail.com](mailto:Hossein.badi89@gmail.com)

### چکیده

برای در امان ماندن از خطرات خشکسالی و بحران آب در آینده نیاز است که راهکارها و قوانین مناسبی برای بهره‌برداری از منابع آب محدود اتخاذ شود. بکارگیری راهبرد کم آبیاری در این زمینه، علاوه بر ایجاد تعادل بین میزان مصرف و منابع موجود (رودخانه‌ها، آب‌های زیرزمینی و سدها)، سبب کاهش مصرف بی‌رویه آب در بخش کشاورزی می‌شود. در تحقیق حاضر به منظور بررسی اثرات کم آبیاری بر الگوی کشت و سود ناخالص کشاورزان استان قزوین، ابتدا توابع تولید محصولات کشاورزی براساس سه روش آبیاری کامل، کم آبیاری پنج درصد و کم آبیاری ۱۰ درصد تخمین زده شدند. سپس با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی، الگوی بهینه کشت در استان قزوین تعیین شد. در پایان نیز اثرات کم آبیاری همزمان با اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد بر الگوی کشت و سود ناخالص کشاورزان مورد بررسی قرار گرفت. تخمین توابع تولید محصولات کشاورزی با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی و بسته نرم‌افزاری Eviews صورت گرفت. مدل برنامه‌ریزی غیرخطی نیز در محیط نرم‌افزاری GAMS حل شد. نتایج حاصل از تخمین توابع تولید نشان داد که روش کم آبیاری پنج درصد سبب کاهش ناچیز عملکرد محصولات می‌شود، اما روش کم آبیاری ۱۰ درصد بر عملکرد اغلب محصولات الگو اثر منفی می‌گذارد. نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی نیز نشان داد که بکارگیری روش کم آبیاری توأم با سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس اگرچه منجر به کاهش سود ناخالص کشاورزان می‌شود، اما به حفظ و پایداری منابع آب سطحی و زیرزمینی استان قزوین کمک شایانی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، بهینه‌سازی، برنامه‌ریزی غیرخطی، تابع تولید، محدودیت آب.

۱ - آدرس نویسنده مسئول: قزوین، بلوار آیت‌اله خامنه‌ای (ولیعصر)، دانشگاه غیرانتفاعی علامه مجلسی (ره) قزوین، بخش معاونت پژوهشی.

\* - دریافت: مرداد ۱۳۹۳ و پذیرش: تیر ۱۳۹۵

## مقدمه

مجموعه اقداماتی که تاکنون در کشور در ارتباط با تأمین آب کشاورزی انجام شده، عمدتاً در زمینه مدیریت تولید و عرضه آب بوده و کمتر توجهی به مصرف آب شده است. از آنجایی که عرضه‌ی آب همیشه محدود بوده و مصرف آن با ازدیاد جمعیت به طور مداوم افزایش می‌یابد، برنامه‌ریزی در راستای استفاده بهینه از منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با کمیاب‌تر شدن آب در مناطق مختلف کشور، ضرورت استفاده از مکانیزم‌های مناسب‌تر جهت تخصیص و بهره‌برداری از منابع آب، بیشتر احساس می‌شود (دهستانی و همکاران، ۱۳۹۰). رشد سریع جمعیت و نیاز به تولید مواد غذایی بیشتر و از طرفی محدودیت منابع آب در دسترس، ارزش آب را به عنوان یک عنصر اساسی در زندگی جوامع بشری بیش از پیش روشن نموده است. در این راستا، ضرورت توجه به امنیت غذایی و محدودیت منابع آب در کشور باعث شده که مهم‌ترین چالش بخش کشاورزی در شرایط کنونی، تولید بیشتر غذا از آب کمتر باشد. این هدف تنها در صورتی تحقق می‌یابد که راه‌کارهای مناسبی برای استفاده مؤثرتر از منابع آب در بخش کشاورزی به کار گرفته شوند. از این‌رو، راهبردهای کم‌آبیاری و افزایش راندمان آبیاری به منظور بهینه‌سازی مصرف آب می‌توانند راه‌حل‌های مفیدی باشند (نخجوانی و قهرمان، ۱۳۸۲).

در راهبرد کم‌آبیاری، گیاه براساس یک سطح مشخص از مقدار آب، تحت تنش آبیاری قرار می‌گیرد. این تنش آبی می‌تواند در کل دوره رشد گیاه و یا در بازه‌های زمانی کوتاه‌تر در میانه‌ی دوره رشد صورت پذیرد. در صورت استفاده منطقی و مدیریت شده از روش کم‌آبیاری، میزان کاهش عملکرد محصول در برابر منفعت حاصل از مقدار آب ذخیره شده ناچیز خواهد بود و به کمک مقدار آب صرفه‌جویی شده می‌توان سطح زیرکشت محصول را افزایش داد و کاهش ناچیز عملکرد را جبران کرد (دوکوهکی و همکاران، ۱۳۹۱). هدف اصلی در روش کم‌آبیاری، افزایش کارایی مصرف آب با کاهش نیاز

آبی گیاه و حذف آن قسمت از آب آبیاری است که تأثیر معنی‌داری در کاهش عملکرد محصول ندارد (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۶). روش کم‌آبیاری در مطالعات متعددی برای بهینه‌سازی میزان مصرف آب، به‌ویژه در نواحی کم‌آب مورد استفاده قرار گرفته است. انگلیش و راجا<sup>۱</sup> (۱۹۹۶) طی مطالعه‌ای در حوضه کلمبیای ایالات متحده آمریکا، مزارع گندمی را که به مدت نه سال با سامانه عقربه‌ای<sup>۲</sup> آبیاری می‌شدند، مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که در روش کم‌آبیاری (در مقایسه با آبیاری کامل) سود خالص در واحد سطح، ۲۵ درصد کمتر و سود خالص به ازای واحد آب مصرفی ۱۴/۵ درصد بیشتر بوده است. بنلی و کودال<sup>۳</sup> (۲۰۰۳) از مدل برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی برای مشخص کردن الگوی کشت، مقدار آب و درآمد کشاورزان منطقه‌ای در جنوب شرقی آنتالیا تحت شرایط عرضه آب کافی و کم‌آبیاری استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل‌های برنامه‌ریزی غیرخطی ارزش درآمدی بالاتری را در مقایسه با مدل‌های برنامه‌ریزی خطی تحت شرایط کم‌آبیاری به همراه دارند.

مینودیان و همکاران<sup>۴</sup> (۱۹۹۷) از یک مدل بهینه‌سازی اقتصادی برای بررسی اثرات کم‌آبیاری بر میزان تولید محصولات و حساسیت گیاهان منطقه‌ای در تایلند استفاده کردند و کم‌آبیاری را در سه سطح آبیاری کامل، کم‌آبیاری پنج درصد و ۲۵ درصد مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که با بکارگیری روش کم‌آبیاری در سطح ۲۵ درصد، میزان آب آبیاری از ۴۲ میلیون مترمکعب در الگوی کشت به ۲۰ میلیون مترمکعب در الگوی کشت بهینه کاهش می‌یابد. مشتاق و مقدسی<sup>۵</sup> (۲۰۱۱) در حوضه‌ی آبریز ماری دارلینگ استرالیا به بررسی اثرات کم‌آبیاری در پاسخ به تغییرات اقلیم و تقاضای آب محیط-زیست پرداختند. در این تحقیق سه سناریو مورد مقایسه

1- English and Raja

2- Center Pivot

3- Benli and Kodal

4- Mainuddian et al

1- Mushtaq And moghaddasi

قرار گرفت: بهینه‌سازی با آبیاری کامل، بهینه‌سازی با کم-آبیاری و کم‌آبیاری بدون بهینه‌سازی. نتایج نشان داد که کم‌آبیاری در به حداکثر رساندن بازده ناخالص و افزایش کارایی مصرف آب، مؤثر می‌باشد. بهراملو و ناصری (۱۳۸۹) با انجام کم‌آبیاری در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اکتاتان همدان، تأثیرپذیری کارایی مصرف آب و عملکرد سیب‌زمینی را مورد بررسی قرار دادند.

نتایج نشان داد که بکارگیری روش کم‌آبیاری در مراحل اولیه رشد سیب‌زمینی نه تنها سبب کاهش عملکرد این محصول نشده، بلکه افزایش کارایی آب را نیز به دنبال داشته است. فتحی و زیبایی (۱۳۸۹) به بررسی عوامل مؤثر در مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چند هدفه و راهبرد کم-آبیاری در دشت فیروزآباد پرداختند. نتایج نشان داد که با اعمال سناریوهای مختلف کم‌آبیاری برای همگی گروه‌های همگن، درصد کاهش سود کمتر از درصد کاهش برداشت آب است. محسنی موحد و اکبری (۱۳۹۰) به بررسی اثر کم‌آبیاری روی رشد و عملکرد محصول گندم آبی در منطقه همدان پرداختند. نتایج نشان داد که تمام تیمارهای کم‌آبیاری سبب کاهش عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و وزن هزاردانه شده‌اند.

دوره گلدهی با ضریب حساسیت ۱/۹۶ نیز حساس‌ترین دوره به کمبود آب تعیین شد. صبحی و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی به تعیین راهبردهای مناسب کم‌آبیاری با هدف حداکثرسازی منافع اجتماعی در خراسان پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش سود ناخالص کشاورزان زمانی امکان‌پذیر است که محصول چغندر قند با سود اجتماعی منفی در مدل مورد نظر وارد شده و در هر مرحله از رشد خود با تنش آبی زیادی مواجه شود. اعتدالی‌رمضانی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای با توجه به محدودیت نهاده آب به تخصیص بهینه آب بین اراضی آبی و دیم در دشت قزوین پرداختند. نتایج نشان داد که محصول جو تنها گزینه برای اعمال کم-آبیاری در اراضی شبکه این دشت است. میزان کم‌آبیاری

در مزارع جو ۲۰ میلی‌متر در دهه دوم آبان و ۵۰ میلی‌متر در دهه سوم اردیبهشت تعیین شد. محصول عدس نیز به علت ارزش اقتصادی بیشتر، گزینه برتر برای آبیاری تکمیلی انتخاب شد. اعتدالی‌رمضانی و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی راهبرد کم‌آبیاری را برای دو محصول گندم و جو در اقلیم کرج بررسی کردند. شاخص‌های ارزیابی مدل Cropwat شامل RMSE و CRM به ترتیب در محدوده ۴۷ تا ۵۰ درصد و ۰/۳۲ تا ۰/۵ بود و نشان داد که مدل درصد کاهش عملکرد را کمتر از نتایج واقعی برآورد می‌کند. همچنین، نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد مدل Cropwat بدون واسنجی کردن ضرایب گیاهی و خصوصیات خاک می‌تواند خطاهای قابل توجه-ای داشته باشد و در استفاده از این مدل باید محتاطانه عمل نمود. افزون بر این، در این مطالعه کارایی مصرف آب در محدوده ۳/۱ تا ۳/۲ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد و حداکثر آن مربوط به تیمار کم‌آبیاری ۲۰ درصد نیازآبی بود.

طی سال‌های اخیر، بهره‌برداری از آب‌های زیر-زمینی در سطح استان قزوین روند صعودی داشته، به طوری که برخی از مناطق این استان، از جمله شهرستان‌های تاکستان و بوئین‌زهرا از این نظر در شرایط بحرانی به سر می‌برند. افزون بر آن، تمایل کشاورزان به توسعه کشت محصولات زراعی و استحصال شدیدتر منابع آب از چاه‌های موجود، تقاضا برای حفر چاه‌های جدید را افزایش داده است. پایین بودن آب‌بهای پرداختی توسط کشاورزان نیز باعث رایگان تلقی شدن این نهاده و مصرف بی‌رویه آن در سطح مزارع شده که این امر علاوه بر تهدید منابع آب موجود، سبب ایجاد آثار مخرب زیست‌محیطی، فرسایش و تخریب بافت خاک، به‌ویژه در شهرستان‌های آبیک، تاکستان و بوئین‌زهرا شده است (پرهیزکاری و صبحی، ۱۳۹۲). بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی استان قزوین طی سال‌های اخیر کاملاً مشهود می‌باشد. آمارهای موجود نشان می‌دهد که حجم بهره‌برداری از آبخوان‌های این استان در حال حاضر

سیاست کاهش آب در دسترس توأم با کم‌آبایی راهکار مناسبی برای صرفه‌جویی و پایداری منابع آب موجود در دشت قزوین است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان قزوین در حوضه مرکزی ایران با مساحتی معادل ۱۵۸۲۱ کیلومتر مربع، بین ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. از شمال با استان‌های مازندران و گیلان، از غرب با استان‌های همدان و زنجان، از جنوب با استان مرکزی و از شرق با استان البرز هم‌جوار می‌باشد و به علت موقعیت منحصر به فرد دشت قزوین یکی از مناطق مستعد کشور برای تولید محصولات کشاورزی است (ناصری و همکاران، ۱۳۹۰). استان قزوین براساس آخرین تقسیمات کشوری شامل شهرستان‌های قزوین، تاکستان، بوئین‌زهرا، آبیک و البرز می‌باشد.

سهم تخلیه بخش کشاورزی از آبخوان‌های این استان در حدود ۱۳۵۳ میلیون مترمکعب می‌باشد که حدود ۸۵۸ میلیون مترمکعب آن در بخش زراعی، برای تولید محصولات عمده‌ای چون گندم، جو، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، چغندر، کلزا و یونجه استفاده می‌شود. میانگین بارش سالانه نیز در این استان ۲۳۴/۱ میلی‌متر بوده که حدود هشت درصد کمتر از متوسط بارندگی در کشور است (پرهیزکاری و صبوچی، ۱۳۹۲a). شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را به وضوح نشان می‌دهد:

۱۴۵۸/۶۶ میلیون مترمکعب در سال است که ۲۰۰ میلیون مترمکعب آن بیش از ظرفیت ذخایر آب‌های زیرزمینی می‌باشد. این برداشت اضافی باعث کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی در اغلب دشت‌های استان شده است، به طوری که حفر چاه‌ها و بهره‌برداری‌های جدید از منابع آب در برخی از این دشت‌ها ممنوع اعلام شده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۰). با توجه به کاهش عرضه آب‌های سطحی و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در استان قزوین، نیاز است تا مدیریت تقاضای آب در سطح مزارع بیشتر از گذشته مورد توجه قرارگیرد.

به همین منظور، در تحقیق حاضر اثرات کم‌آبایی همزمان با اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس بر تولید بخش کشاورزی استان قزوین بررسی شد. به طور کلی، اهداف این تحقیق عبارتند از: ۱- برآورد توابع تولید محصولات کشاورزی استان قزوین براساس روش‌های آبیاری کامل، کم‌آبایی ۵ و ۱۰ درصد ۲- تخصیص منابع آب موجود بین فعالیت‌های مختلف و تعیین الگوی بهینه کشت ۳- شبیه‌سازی رفتار کشاورزان در حالت بکارگیری راهبرد کم‌آبایی همزمان با اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس ۴- بررسی میزان تغییرات سطح زیرکشت محصولات و سود ناخالص کشاورزان تحت شرایط مختلف کم‌آبایی. فرضیات تحقیق حاضر نیز عبارتند از: ۱- الگوی کشت فعلی در محدوده مطالعاتی دشت قزوین بهینه نیست. ۲- اعمال سیاست کاهش آب در دسترس توأم با راهبرد کم‌آبایی تولیدات زراعی و الگوی کشت محصولات منتخب دشت قزوین را متأثر می‌سازد. ۳- اعمال سیاست کاهش آب در دسترس توأم با راهبرد کم‌آبایی سود ناخالص کشاورزان دشت قزوین را کاهش می‌دهد. ۴- بکارگیری



Subject to:

$$\sum_{i=1}^7 x_{ir} \leq A_r \quad \forall r = 1,2,3 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^7 NCWR_{ir} x_{ir} \leq T_{ws,r} \quad \forall r = 1,2,3 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^7 NCWR_{ir} x_{ir} \leq T_{wg,r} \quad \forall r = 1,2,3 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^7 NCWR_{ir} x_i \leq (\mu_a T_{ws,r} + \mu_b T_{wg,r}) \quad \forall r = 1,2,3 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^7 k_{ir} x_{ir} \leq TK \quad \forall r = 1,2,3 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^7 L_{ri} x_{ri} \leq TL \quad \forall r = 1,2,3 \quad (8)$$

$$x_{ri} \geq 0 \quad \forall i = 1,2,\dots,7 \quad \forall r = 1,2,3 \quad (9)$$

رابطه (۲) تابع هدف مدل برنامه ریزی غیرخطی را نشان می‌دهد که در آن:

$i$  تعداد محصولات  $r$  ( $i=1,2,\dots,7$ ) سطوح آبیاری  $i$  ( $i=1,2,3$ ) قیمت محصول  $i$ ، عملکرد محصول  $i$  در سطح آبیاری  $r$ ،  $x_{ir}$  سطح زمین تخصیص داده شده به محصول  $i$  در سطح آبیاری  $r$ ،  $C_{irj}$  هزینه کشت محصول  $i$  در سطح آبیاری  $r$  با مصرف نهاده  $j$ ،  $w_{irj}$  مقدار آب مصرفی برای محصول  $i$  در سطح آبیاری  $r$  و نهاده  $j$  ( $m^3$ )،  $p_{ws}$  قیمت هر مترمکعب آب سطحی و  $p_{wg}$  قیمت یا هزینه استحصال هر مترمکعب آب زیرزمینی است که مطابق با گزارشات شرکت آب منطقه ای استان قزوین (۱۳۹۱) در این تحقیق به ترتیب ۳۳۰ و ۴۵۰ ریال در مترمکعب در نظر گرفته شد.  $\gamma$  ضریبی است که درصد بهره‌برداری یا مصرف آب سطحی را نشان می‌دهد و مقدار آن بسته به منطقه مورد نظر بین صفر و یک تغییر می‌کند. در صورتی که  $\gamma=1$  باشد، نشان‌دهنده آن است که تمام آب سطحی موجود استفاده شده است. رابطه (۳)، بیانگر محدودیت سطح زیرکشت محصولات زراعی می‌باشد که  $A_r$  در آن کل سطح زیرکشت آبیاری شده در سطح  $r$  است. رابطه (۴) محدودیت منابع آب سطحی و رابطه (۵) محدودیت منابع آب زیرزمینی است.  $NCWR_{ir}$  در این روابط نیاز آبی محصول  $i$  در

توسط بانک جهانی در سال ۱۹۹۴ به بازار عرضه گردید و هدف از آن انجام عملیات اقتصادسنجی و تجزیه تحلیل آماری داده‌های اقتصادی بود. ریشه اصلی و وجه تسمیه آن در حقیقت برگرفته از Econometric Views است. که ترکیب این دو کلمه اسم این نرم‌افزار را نتیجه می‌دهد. محاسبه سری‌های زمانی و ایجاد آن‌ها، تخمین‌های خطی و غیرخطی سیستم معادلات، رسم نمودارهای دایره‌ای، میله‌ای و نقطه‌ای، تخمین مدل‌های اقتصادی به روش‌های OLS, GLS, TSLS, 3SLS, Logit, Probit, VAR, VECM و دیگر مدل‌های سنجی، استفاده از ماتریس‌ها و توابع موجود در داخل نرم‌افزار، امکان تبادل اطلاعات با دیگر نرم‌افزارهای تحت ویندوز، آزمون‌های مختلف جهت دقت تخمین‌ها و بررسی وجود خطا، همبستگی، شکست ساختاری، امکان برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار برای تحلیل سیستم‌های کلان اقتصادی و ... از جمله مهم‌ترین توانایی‌های این نرم‌افزار اقتصادی هستند (نوفروستی، ۱۳۸۷).

#### چهارچوب مدل بهینه‌سازی

هر مسئله بهینه‌سازی، شامل دو بخش مدل‌سازی و برنامه‌ریزی می‌باشد. بخش مدل‌سازی شامل تشکیل تابع هدف و محدودیت‌های سیستمی مربوط به منطقه مورد مطالعه است که براساس روابط بین متغیرها به صورت معادلات و یا نامعادلات شکل می‌گیرد. در بخش برنامه‌ریزی، جستجو به منظور تعیین مقدار بهینه یا مطلوب تابع هدف انجام می‌گیرد (مقدسی و همکاران، ۱۳۸۷). مدل بهینه‌سازی در این تحقیق از نوع غیرخطی می‌باشد که علت آن گنجاندن توابع تولید محصولات کشاورزی در تابع هدف مسأله است. شکل کلی مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} \text{Max} \Pi = & \sum_{i=1}^7 \sum_{r=1}^3 p_i Y_{ir} x_{ir} - \sum_{i=1}^7 \sum_{r=1}^3 \sum_{j \neq \text{water}}^5 c_{rij} x_{ir} - \\ & \sum_{i=1}^7 \sum_{r=1}^3 \sum_{j=\text{water}}^5 [\gamma p_{ws} w_{irj} + (1+\gamma) p_{wg} w_{irj}] x_{ir} \end{aligned} \quad (2)$$

برنامه‌نویسی در روش برنامه‌ریزی ریاضی<sup>۲</sup> (MP) است و شامل یک کامپایلر زبان<sup>۳</sup> (نرم‌افزاری که برنامه کدگذاری شده را به زبان ماشین تبدیل می‌کند) و مجموعه‌ای از حل‌کننده‌های<sup>۴</sup> جامع است که برای ساخت مدل‌های پیچیده و در مقیاس بزرگ استفاده می‌شود (پرهیزکاری و صبحی، ۱۳۹۲b).

جامعه آماری مطالعه حاضر شامل کلیه کشاورزان دشت قزوین می‌باشد که در اراضی فاریاب (با کشاورزی آبی) خود به کشت محصولات منتخب زراعی می‌پردازند. با توجه به اینکه مطالعه حاضر در سطح منطقه‌ای انجام می‌شود و داده‌های مورد نیاز در آن از نوع اسنادی و ثبت شده در دستگاه‌های دولتی ذیربط می‌باشند، لذا در این مطالعه مبادرت به امر نمونه‌گیری نشد. داده‌ها و اطلاعات آماری مورد نیاز در این مطالعه نیز از نوع سری زمانی (داده‌های مربوط به متوسط عملکرد محصولات منتخب طی سال‌های ۹۱-۱۳۸۴) و داده‌های مقطعی (داده‌های مربوط به قیمت بازاری، عملکرد، نیازآبی، سرمایه، نیروی کار و هزینه تولید در واحد سطح محصولات منتخب طی سال پایه ۱۳۹۱) می‌باشند که از طریق سازمان‌ها و ادارات ذیربط در استان قزوین (داده‌های مربوط به محصولات کشاورزی با مراجعه به سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین و داده‌های مربوط به آب با مراجعه به شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین) جمع‌آوری شدند. جدول ۱، داده‌ها و اطلاعات آماری مربوط به محصولات منتخب زراعی را در سال پایه (۱۳۹۱) نشان می‌دهد:

سطح آبیاری  $r$  می‌باشد.  $T_{ws,r}$  و  $T_{wg,r}$  نیز به ترتیب کل منابع آب سطحی و زیرزمینی قابل دسترس برای آبیاری در سطح  $r$  می‌باشد. رابطه (۶) محدودیت مربوط به برداشت توأم آب‌های سطحی و زیرزمینی است که  $\mu_a$  و  $\mu_b$  در آن به ترتیب درصد راندمان آبیاری با آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد که برای منطقه مورد مطالعه مطابق با گزارشات شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین (۱۳۹۱) به ترتیب ۴۷ درصد و ۵۲ درصد در نظر گرفته شده است. رابطه (۷) محدودیت مربوط به سرمایه است که در آن:

$k_{ri}$  ضریب فنی هزینه در واحد سطح محصول  $i$  در سطح آبیاری  $r$  و  $TK_r$  کل سرمایه در دسترس است. منظور از نهاده سرمایه در این تحقیق، مجموع بذر، کود و سموم شیمیایی است که مقدار آن برحسب کیلوگرم در هکتار (بر اساس شاخص وزنی یا مقداری در تجمیع-سازی) بیان می‌شود. رابطه (۸) محدودیت مربوط به نیروی کار است که در آن  $L_{ir}$  نیروی کار مورد نیاز برای هر هکتار از محصول  $i$  با سطح آبیاری  $r$  می‌باشد. رابطه (۹) نیز بیانگر محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها است و تضمین می‌کند که سطح زیرکشت محصولات منتخب مقادیر مثبتی را شامل می‌شود.

پس از تخمین توابع تولید محصولات کشاورزی بر اساس روش‌های آبیاری کامل، کم‌آبیاری پنج درصد و کم‌آبیاری ۱۰ درصد و لحاظ نمودن این توابع در تابع هدف مدل برنامه‌ریزی فوق، اثرات کم‌آبیاری توأم با اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد در استان قزوین بررسی شد. میزان تنش‌های آبی پنج و ۱۰ درصد در دوره‌ای که حداکثر رشد برای محصولات حاصل می‌شود، لحاظ شد. شبیه‌سازی سناریوهای مذکور نیز در محیط نرم‌افزاری GAMS<sup>۱</sup> (نسخه ۲۳/۵) صورت گرفت. این نرم‌افزار یکی از سیستم‌های مدل‌سازی سطح بالا برای

2- Mathematical Programming  
3- Language Compiler  
4- Solvers

1- General Algebraic Modeling System

جدول ۱- داده‌ها و اطلاعات آماری مربوط به محصولات زراعی دشت قزوین در سال پایه (۱۳۹۱)

محصولات منتخب	عملکرد (kg/ha)	نیاز آبی (m <sup>3</sup> /ha)	قیمت (rial/kg)	سرمایه (kg/ha)	نیروی کار (نفر- روز)	هزینه (میلیون ریال)
گندم آبی	۴۶۲۰	۲۹۴۵	۴۶۰۰	۶۷۰	۲۳	۱۱/۰۷
جو آبی	۴۳۵۰	۲۴۶۰	۴۳۲۰	۶۸۲	۲۱	۱۰/۹۸
ذرت دانه‌ای	۹۶۳۸	۶۴۳۸	۶۴۷۰	۱۲۰۰	۲۹	۳۳/۸
گوجه‌فرنگی	۱۹۷۴۰	۷۶۳۵	۴۳۵۰	۱۳۸۵	۴۵	۵۳/۴
چغندرقد	۳۲۱۰۹	۸۴۸۰	۳۵۰۰	۱۵۴۰	۳۰	۷۶/۱
یونجه	۱۱۰۳۵	۸۳۶۰	۲۹۰۰	۹۳۷	۲۶	۲۰/۷
کلزا	۲۳۴۰	۶۳۲۷	۱۲۶۵۰	۷۲۰	۳۴	۱۳/۲

مأخذ: سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین، ۱۳۹۱

## نتایج و بحث

### نتایج حاصل از تخمین توابع تولید محصولات کشاورزی

جدول ۲، توابع تولید محصولات منتخب استان قزوین را براساس سطوح آبیاری کامل، کم‌آبیاری پنج و ۱۰ درصد پس از تخمین در محیط نرم‌افزاری Eviews با استفاده از داده‌های آماری ۸ ساله (۹۱-۱۳۸۴) نشان می‌دهد. تخمین توابع تولید محصولات کشاورزی براساس

میزان عملکرد آب در هر یک از سطوح آبیاری کامل، کم-آبیاری پنج درصد و کم‌آبیاری ۱۰ درصد صورت گرفته است، لذا مقدار عددی ضریب ثابت ( $\beta_0$ ) در توابع تولید تخمین زده شده برای محصولات منتخب برابر صفر می‌باشد. بدین معنی که، بدون وجود روش‌های مورد استفاده میزان تغییرات عملکرد محصولات تقریباً ناچیز و در حد صفر است.

جدول ۲- برآورد توابع تولید محصولات کشاورزی استان قزوین بر اساس میزان عملکرد روش‌های آبیاری

محصول	ضرایب تابع تولید تخمین زده شده			
	$\beta_3$	$\beta_2$	$\beta_1$	$\beta_0$
گندم آبی	-۰/۰۰۴	۰/۰۱۷	-۰/۷۶۴	۰
جو آبی	۰/۰۰۱	۰/۲۲۸	-۰/۹۶۱	۰
ذرت دانه‌ای	-۰/۰۱۳	۰/۱۶۴	-۰/۷۲۸	۰
گوجه‌فرنگی	-۰/۰۰۳	۰/۶۲۵	۱/۱۲۷	۰
چغندرقد	-۰/۰۰۶	۰/۰۸۳	-۰/۰۲۹	۰
یونجه	۰/۰۰۲	۰/۳۱۷	-۰/۶۵۴	۰
کلزا	-۰/۰۴۱	۰/۲۸۵	-۰/۹۴۴	۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

چغندر و کلزا را در اثر استفاده از روش کم‌آبیاری ۱۰ درصد نشان می‌دهد.

### نتایج حاصل از سیاست کاهش آب در دسترس در شرایط آبیاری کامل

در شرایط آبیاری کامل، هیچ‌گونه تنش آبی در دوره رشد محصولات به وجود نمی‌آید و محصولات کشاورزی نیاز آبی خود را به صورت کامل دریافت می‌کنند. در این مرحله، آب آبیاری قابل دسترس تحت سناریوهای مختلف و بدون ایجاد تنش آبی در دوره رشد

با توجه به جدول ۲، ملاحظه می‌شود که ضرایب مربوط به روش آبیاری کامل ( $\beta_1$ ) و کم‌آبیاری پنج درصد ( $\beta_2$ ) برای همه محصولات مقدار مثبتی می‌باشد که نشان می‌دهد بکارگیری این دو روش اثر منفی بر میزان عملکرد محصولات منتخب ندارد. اما، ضریب مربوط به روش کم‌آبیاری ۱۰ درصد ( $\beta_3$ ) به جز محصولات جوآبی و یونجه، برای سایر محصولات الگوی کشت منطقه منفی می‌باشد. منفی بودن این ضریب، کاهش عملکرد محصولات گندم آبی، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی،



محصولات کاهش می‌یابد. جدول ۳، نتایج حاصل از اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس را تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد توأم با بکارگیری روش آبیاری کامل نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده می‌شود که با کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای مختلف، سطح زیرکشت محصولات گندم و جو آبی نسبت به سال پایه (۱۳۹۱) کاهش و سطح زیرکشت سایر محصولات الگو با افزایش همراه است. در شرایط آبیاری کامل، اعمال سیاست کاهش آب در دسترس تحت سناریوی ۱۰ درصد علاوه بر صرفه‌جویی ۶۲/۵ میلیون مترمکعب منجر به کسب حداکثر سود ناخالص برای کشاورزان خواهد شد، اما با اعمال سناریوهای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد سود ناخالص کشاورزان با روند نزولی همراه می‌باشد. به طور کلی، نتایج جدول ۳ حاکی از آن است که با اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس در شرایطی که آبیاری محصولات به صورت کامل و بدون تنش انجام می‌گیرد، الگوی کشت به نفع محصولاتی که میزان درآمد ثابتی را به ازای میزان مصرف کمتر آب ایجاد می‌کنند، پیش می‌رود. همان‌گونه که نتایج جدول ۳ بازگو می‌کند، الگوی کشت فعلی در منطقه پایدار و بهینه نیست و اعمال سیاست

کاهش آب در دسترس تحت سناریوی ۱۰ درصد در شرایط آبیاری کامل، منجر به کاهش سطح زیرکشت جوآبی و گندم آبی می‌شود، اما کشاورزان پس از اعمال این سیاست (با توجه به اینکه حجم زیادی از آب آبیاری با کاهش سطح زیرکشت گندم و جو آبی صرفه‌جویی و بدون استفاده باقی مانده) به افزایش سطح زیرکشت محصولات چون گوجه‌فرنگی، ذرت، کلزا و چغندر که صرفه اقتصادی بیشتری را در پی دارند، متمایل می‌شوند، لذا سطح زیرکشت محصولاتی مانند گندم و جو آبی که صرفه اقتصادی کمتری دارند کاهش می‌یابد و سطح زیرکشت محصولات با صرف اقتصادی بیشتر افزایش می‌یابد. البته باید توجه داشت که با کاهش حجم بیشتری از آب در دسترس (یعنی اعمال سناریوهای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد) اگرچه که سطح زیرکشت محصولات پربازده بالاتر از سطح زیرکشت آن‌ها در الگوی فعلی منطقه است، اما با روندی نزولی پس از اعمال سناریوی ۱۰ تا ۴۰ درصد همراه می‌باشد. به همین علت، اگرچه که سیاست کاهش آب در دسترس منجر به کاهش مجموع سطح زیرکشت محصولات (و در پی آن کاهش سود ناخالص زارعین) می‌شود، اما کشاورزان را در مدیریت مصرف آب و صرفه‌جویی این نهاده کمیاب یاری می‌رساند.

جدول ۳- نتایج حاصل از به‌کارگیری سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس در شرایط آبیاری کامل

محصول	نیازخالص آبی (m <sup>3</sup> / ha)	سطح زیرکشت سال پایه (ha)	سطح زیرکشت (هکتار) تحت سناریوهای مختلف			
			۱۰ درصد	۲۰ درصد	۳۰ درصد	۴۰ درصد
گندم آبی	۲۹۴۵	۶۰۸۲۵	۵۹۳۱۰	۵۹۳۳۷	۵۹۳۶۸	۵۹۴۰۵
جو آبی	۲۴۶۰	۳۰۴۰۰	۳۰۰۶۹	۳۰۰۷۴	۳۰۰۷۹	۳۰۰۸۵
ذرت دانه‌ای	۶۴۳۸	۷۳۸۰	۷۴۸۰	۷۴۷۸	۷۴۷۶	۷۴۷۴
گوجه‌فرنگی	۷۶۳۵	۶۲۵۳	۶۵۶۷	۶۵۶۳	۶۵۵۹	۶۵۵۳
چغندر قند	۸۴۸۰	۳۶۳۷	۴۰۳۱	۴۰۲۵	۴۰۱۷	۴۰۰۸
پونجه	۸۳۶۰	۱۷۹۲۰	۱۸۷۹۵	۱۸۷۷۹	۱۸۷۶۱	۱۸۷۳۹
کلزا	۶۳۲۷	۲۶۵۰	۲۸۱۳	۲۸۱۰	۲۸۰۶	۲۸۰۰
سود ناخالص الگو (۱۰ <sup>۳</sup> ریال)	۳۷۹۴۵۲۹۲	۳۹۰۱۷۴۴۳	۳۸۱۱۶۰۵۴	۳۸۵۷۲۹۴۷	۳۸۵۷۲۹۴۷	۳۸۱۲۷۴۹۷۰
حجم آب مصرفی (مترمکعب)	۶۲۵۳۳۱۹۱۸	۵۶۲۷۹۸۷۲۶	۵۰۰۲۶۵۵۲۴	۴۳۷۷۳۲۳۴۲	۴۳۷۷۳۲۳۴۲	۳۷۵۱۹۹۱۵۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس توأم با کم آبیاری پنج درصد

در این حالت، همزمان با کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای مختلف، کم آبیاری پنج درصد در دوره رشد محصولات کشاورزی اعمال می شود. جدول ۴، نتایج شبیه سازی شده را پس از اعمال کم آبیاری پنج درصد توأم با کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد نشان می دهد. نتایج حاکی از آن است که با اعمال کم آبیاری پنج درصد همزمان با کاهش آب در دسترس تحت سناریوهای مختلف، سطح زیرکشت محصولات گندم و جو آبی نسبت به شرایط فعلی کاهش یافته و الگوی کشت به نفع محصولات نظیر ذرت دانه ای، گوجه فرنگی، چغندر، یونجه و کلزا که صرفه اقتصادی بالاتری به ازای مصرف هر مترمکعب آب آبیاری دارند، پیش می رود. با اعمال

کم آبیاری پنج درصد اگرچه که سود ناخالص کشاورزان استان قزوین نسبت به حالت آبیاری کامل کاهش می یابد، اما این کاهش سود با صرفه جویی حجم زیادی از آب آبیاری در سطح مزارع همراه است. با توجه به جدول ۴، مشاهده می شود که با اعمال کم آبیاری پنج درصد همزمان با کاهش آب در دسترس به میزان ۱۰ درصد، آب آبیاری در مقایسه با شرایط آبیاری کامل به میزان ۴/۹ درصد (یعنی ۲۷/۳۲۹ میلیون مترمکعب) ذخیره می شود. میزان صرفه جویی در مصرف آب در سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس توأم با کم آبیاری پنج درصد نیز به ترتیب اعمال سناریوهای فوق به میزان ۵/۴، ۶/۲ و ۷/۳ درصد نسبت به حالت آبیاری کامل می باشد. حجم آب ذخیره شده را می توان برای افزایش سطح زیرکشت محصولاتی که صرفه اقتصادی بالاتری دارند، تخصیص داد.

جدول ۴- نتایج حاصل از به کارگیری سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس توأم با کم آبیاری پنج درصد

محصول	نیازخالص آبی (m <sup>3</sup> /ha)	سطح زیرکشت سال پایه (ha)	سطح زیرکشت (هکتار) تحت سناریوهای مختلف			
			۱۰ درصد	۲۰ درصد	۳۰ درصد	۴۰ درصد
گندم آبی	۲۷۹۸	۶۰۸۲۵	۵۹۴۹۵	۵۹۵۲۰	۵۹۵۴۹	۵۹۵۸۴
جو آبی	۲۳۳۷	۳۰۴۰۰	۳۰۱۲۴	۳۰۱۲۸	۳۰۱۳۴	۳۰۱۴۰
ذرت دانه ای	۶۱۱۶	۷۳۸۰	۷۴۵۱	۷۴۵۰	۷۴۴۸	۷۴۴۶
گوجه فرنگی	۷۲۵۳	۶۲۵۳	۶۴۸۳	۶۴۷۹	۶۴۷۵	۶۴۷۰
چغندر قند	۸۰۵۶	۳۶۳۷	۳۹۸۵	۳۹۷۹	۳۹۷۱	۳۹۶۳
یونجه	۷۹۴۲	۱۷۹۲۰	۱۸۷۱۷	۱۸۷۰۲	۱۸۶۸۵	۱۸۶۶۴
کلزا	۶۰۱۱	۲۶۵۰	۲۸۱۰	۲۸۰۷	۲۸۰۳	۲۷۹۸
سود ناخالص الگو (۱۰ <sup>۵</sup> ریال)		۳۷۹۴۵۲۹۲	۳۵۹۶۱۱۷۴	۳۵۷۸۲۱۶۱	۳۵۵۶۴۷۴۷	۳۵۲۹۶۸۳۰
حجم آب مصرفی (مترمکعب)		۶۲۵۳۳۱۹۱۸	۵۳۵۴۶۹۳۶۴	۴۷۲۹۳۶۱۶۲	۴۱۰۴۰۲۹۸۰	۳۴۷۸۶۹۷۸۸

مأخذ: یافته های تحقیق

نتایج حاصل از سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس توأم با کم آبیاری ۱۰ درصد

در این حالت، همزمان با کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای مختلف، کم آبیاری ۱۰ درصد در دوره رشد محصولات کشاورزی اعمال می شود. جدول ۵، نتایج شبیه سازی شده را پس از اعمال کم آبیاری ۱۰ درصد توأم با کاهش آب آبیاری در دسترس تحت

سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد نشان می دهد. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که با اعمال کم آبیاری ۱۰ درصد همزمان با کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای مختلف، سطح زیرکشت محصول گندم نسبت به شرایط فعلی کاهش می یابد و از ۶۰۸۲۵ هکتار در سال پایه (۱۳۹۱) به ۵۹۷۱۱ هکتار می رسد، اما سطح زیرکشت سایر محصولات الگو نسبت به سال پایه افزایش می یابد.

سناریوهای مختلف می‌توان از سطح زیرکشت محصولاتی که صرفه اقتصادی کم‌تری دارند (گندم و جو آبی) کاست و با حجم آب صرفه‌جویی شده، سطح زیرکشت محصولات با سود ناخالص بیشتر را افزایش داد.

با کاهش آب آبیاری در دسترس توأم با کم‌آبیاری ۱۰ درصد، سود ناخالص کشاورزان در مقایسه با کم‌آبیاری پنج درصد کاهش می‌یابد، اما حجم آب ذخیره شده با افزایش همراه می‌باشد. به طور کلی، نتایج بکارگیری روش کم‌آبیاری حاکی از آن است که با اعمال این راهبرد تحت

جدول ۵- نتایج حاصل از به‌کارگیری سیاست کاهش آب‌آبیاری در دسترس توأم با کم‌آبیاری ۱۰ درصد

محصول	نیازخالص آبی (m <sup>3</sup> /ha)	سطح زیرکشت سال پایه (ha)	سطح زیرکشت (هکتار) تحت سناریوهای مختلف			
			۱۰ درصد	۲۰ درصد	۳۰ درصد	۴۰ درصد
گندم آبی	۲۶۵۰	۶۰۸۲۵	۵۹۷۰۴	۵۹۷۲۶	۵۹۷۲۳	۵۹۷۱۱
جو آبی	۲۲۱۴	۳۰۴۰۰	۳۰۴۵۸	۳۰۴۶۲	۳۰۴۵۵	۳۰۴۴۴
ذرت دانه‌ای	۵۷۹۴	۷۳۸۰	۷۳۹۰	۷۳۸۸	۷۳۸۶	۷۳۸۴
گوجه‌فرنگی	۶۸۷۱	۶۲۵۳	۶۳۱۶	۶۳۱۳	۶۳۰۸	۶۳۰۲
چغندر قند	۷۶۳۲	۳۶۳۷	۳۸۷۱	۳۸۶۵	۳۸۵۸	۳۸۴۹
یونجه	۷۵۲۴	۱۷۹۲۰	۱۸۵۲۴	۱۸۵۱۲	۱۸۴۹۱	۱۸۴۶۵
کلزا	۵۶۹۴	۲۶۵۰	۲۸۰۲	۲۷۹۹	۲۷۹۵	۲۷۹۱
سود ناخالص الگو (۱۰ <sup>۵</sup> ریال)		۳۷۹۴۵۲۹۹	۲۶۶۲۵۸۹۱	۲۶۵۰۷۴۵۳	۲۶۳۵۹۵۶۹	۲۶۱۷۳۰۰۱
حجم آب مصرفی (مترمکعب)		۶۲۵۳۳۱۹۱۸	۴۴۲۷۰۳۴۲۷	۳۹۳۵۱۴۱۵۸	۳۴۴۳۳۴۸۸۹	۲۹۵۱۳۵۶۱۸

مأخذ: یافته‌های تحقیق

#### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

زیرزمینی استان قزوین کمک شایانی می‌کند. در پایان، با توجه به نتایج به دست آمده پیشنهادهای زیرارائه شد:

۱- اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس، 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 در فصول پرآب و رفع نیازهای موجود در فصول کم‌آب مورد استفاده قرارگیرد. ۲- محصولات زراعی‌ای که نسبت به آب مصرفی، سود ناخالص کمتری را حاصل می‌کنند از الگوی کشت فعلی حذف شوند و محصولات با صرفه اقتصادی بالاتر و نیاز آبی کمتر در الگوی کشت جایگزین گردند. ۳- اعمال کم‌آبیاری پنج درصد توأم با سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس اگرچه به صورت ناچیز سبب کاهش میزان عملکرد محصولات در واحد سطح می‌شود، اما با صرفه‌جویی پنج درصد از نیاز آبی گیاهان، حجم زیادی از آب آبیاری ذخیره شده که می‌توان با افزایش سطح زیرکشت محصولات، کاهش عملکرد به

هدف اصلی این مطالعه ارزیابی اثرات کم‌آبیاری توأم با اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس در بخش کشاورزی استان قزوین بود. برای این منظور، ابتدا توابع تولید محصولات منتخب براساس روش‌های آبیاری کامل و کم‌آبیاری پنج و ۱۰ درصد در محیط نرم‌افزاری Eviews تخمین زده شد. نتایج حاصل جهت تعیین الگوی بهینه کشت و بررسی اثرات کم‌آبیاری توأم با کاهش آب در دسترس در یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی گنجانده شد. حل این مدل در نرم‌افزار GAMS صورت گرفت. نتایج نشان داد که روش کم‌آبیاری پنج درصد سبب کاهش ناچیز عملکرد محصولات می‌شود، اما روش کم‌آبیاری ۱۰ درصد بر عملکرد اغلب محصولات منتخب اثر منفی می‌گذارد. همچنین، نتایج نشان داد که بکارگیری روش کم‌آبیاری توأم با سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس اگرچه منجر به کاهش سود ناخالص کشاورزان می‌شود، اما به حفظ و پایداری منابع آب سطحی و

کاهش آب آبیاری در دسترس به منظور تغذیه آبخوان‌هایی که در سال‌های اخیر با افت سطح آب‌های زیرزمینی مواجه شده‌اند، استفاده مجدد از هرز آب‌ها، زهکش‌ها، پساب‌ها و سایر موارد ائتلافی پیشنهاد می‌گردد. ۶- با توجه به این که سناریوهای پیشنهادی و خصوصاً سناریوی منتخب منجر به کاهش درآمد کشاورزان می‌شود، مسلماً به خودی خود مورد استقبال از جانب کشاورزان قرار نمی‌گیرد. لذا، برای اجرای آن باید ضمن کار فرهنگی مشوق‌های مالی نیز مانند پرداخت خسارت عدم النفع توسط دولت در نظر گرفته شود.

وجود آمده را جبران نمود، لذا پیشنهاد می‌شود که این راهبرد به صورت عملی در سطح مزارع به کار گرفته شود. ۴- نتایج حاصل از تخمین توابع تولید محصولات کشاورزی بر اساس روش‌های آبیاری کامل، کم‌آبایی پنج درصد و کم‌آبایی ۱۰ درصد نشان داد که روش کم‌آبایی ۱۰ درصد بر عملکرد محصولات گندم آبی، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، چغندر و کلزا اثر منفی می‌گذارد. لذا، پیشنهاد می‌شود که این روش (کم‌آبایی ۱۰ درصد) فقط در مناطقی از استان قزوین که با کاهش شدید منابع آب سطحی و زیرزمینی مواجه می‌باشند (مانند شهرستان بوئین‌زهرا و تاکستان) بکار گرفته شود. ۵- همزمان با

### فهرست منابع

۱. بهراملو، ر. و ا. ناصری. ۱۳۸۹. بررسی اثرات بهره‌وری آب آبیاری و عملکرد سیب‌زمینی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۱): ۹۸-۹۰.
۲. پرهیزکاری، ا. و م. صبحی. ۱۳۹۲. تحلیل اقتصادی و رفاهی اثرات تشکیل بازار آب در استان قزوین. مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۷(۴): ۳۳۸-۳۵۰.
۳. پرهیزکاری، ا. و م. صبحی. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی پاسخ کشاورزان به سیاست کاهش آب در دسترس. مجله مدیریت آب و آبیاری، ۳(۲): ۷۴-۵۹.
۴. دوکوهکی، ح. م.، قیصری. و م. کریمی جعفری. ۱۳۹۱. تعیین ضریب پاسخ محصول ذرت به کم‌آبی تحت مدیریت آبیاری بارانی توسط مدل DSSAT در دوره‌های متفاوت رشد. سومین همایش ملی جامع منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۵. دهستانی، م. م.، توکلی، م.، فورودی. و م. سلمانی. ۱۳۹۰. راهکارها و استراتژی‌های مدیریت بهینه منابع آب در بخش کشاورزی. پنجمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت بهبود منابع آب و خاک، شهریور ماه ۱۳۹۰، دانشگاه کرمان.
۶. دهقانی سانج، ح. م.، نخجوانی مقدم. و ف. سهراب. ۱۳۸۶. کم‌آبایی و ارتقاء کارایی مصرف آب کشاورزی. اولین همایش سازگاری با کم‌آبی، دانشگاه تهران، مرکز آفرینش‌های فرهنگی و هنری کانون پرورش فکری، بهمن ماه ۱۳۸۶.
۷. رمضانی اعتدالی، ه.، ب. نظری، ع.، توکلی. و م. پارسا نژاد. ۱۳۸۸. ارزیابی مدل CROPWAT در مدیریت کم‌آبایی گندم و جو در منطقه کرج. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۱: ۱۱۹-۱۲۹.
۸. رمضانی اعتدالی، ه.، ه. لیاقت، ا. پارسایی، م. توکلی. و ب. آبابایی. ۱۳۹۳. پتانسیل‌یابی اراضی دیم و تخصیص بهینه آب بین اراضی دیم و آبی (مطالعه موردی: دشت قزوین). مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۵(۲): ۱۶۷-۱۷۷.

۹. شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان قزوین. ۱۳۹۱. بخش مدیریت پایه منابع آب، مطالعات پایه منابع آب، آمار و اطلاعات مربوط به منابع آب سطحی و زیرزمینی، ۲۷ صفحه.
۱۰. صبوچی، م.، غ، سلطانی. و م، زیبایی. ۱۳۸۶. تعیین استراتژی‌های مناسب کم‌آبایی با هدف حداکثرسازی فایده و رفاه اجتماعی. مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۴(۵۶): ۲۰۲-۱۶۷.
۱۱. فتحی، ف. و م، زیبایی. ۱۳۸۹. عوامل مؤثر در مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه: مطالعه موردی دشت فیروزآباد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۵۳).
۱۲. محسنی موحد، ا. و م، اکبری. ۱۳۹۰. بررسی اثرات حذف آبیاری در مراحل رشد محصول گندم رقم الوند. مجله آب و خاک، ۲۵(۶): ۱۳۹۴-۱۳۸۶.
۱۳. مقدسی، م.، س، مرید. و ژ، عراقی نژاد. ۱۳۸۷. بهینه‌سازی تخصیص آب در شرایط کم‌آبایی با استفاده از برنامه‌ریزی خطیف.
۱۴. هوش مصنوعی و الگوریتم ژنتیک، مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۴(۳): ۱-۱۳.
۱۵. ناصری، م.، ف، تقوی. و ب، زهرایی. ۱۳۹۰. رفتارشناسی مکانی- زمانی بارش در محدوده دشت قزوین با استفاده از روش متعامد معمولی و فازی. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۷(۳): ۲۰۳-۱۹۱.
۱۶. نخبجوانی، م. و ب، قهرمان. ۱۳۸۲. مقایسه توابع تولید آب برای گندم زمستانه در مشهد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۹: ۴۰-۲۷.
۱۷. نوفرستی، م. ۱۳۸۷. ریشه واحد و هم‌جمعی در اقتصادسنجی. چاپ اول، انتشارات رسا، ۹۱ صفحه.
۱۸. وزارت نیرو. ۱۳۹۰. نقشه‌برداری نیمه تفصیلی و بهنگام‌سازی آماري منابع آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی قزوین، برگرفته از شرکت آب منطقه‌ای قزوین، صفحات ۲۵-۱۳.
19. Benli, B and Kodali S. 2003. A non-linear model for optimization with adequate and limited water supplies application to the South-east Anatolian Project (GAP) Region. *Agriculture Water Management*, 62: 187-203.
20. English, M. and Raja, S.N. 1996. Perspective on deficit irrigation, *Agricultural Water Management*, 32: 1-14.
21. Khan, S., Mushtaq, S., Ahmad, A., Hafeez, M., 2008a. Trade-off analysis for restoring environmental flows through irrigation demand management, *Australian Journal of Water Resources*, 12(3): 1-20.
22. Mainuddin, M., Das Gupta, A. and Onta, R.R. 1997. Optimal crop planning model for an existing groundwater irrigation project in Thailand, *Agricultural water management*, 33(1): 43-62.
23. Mushtaq, Sh. And moghaddasi, M. 2011. 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):1139-1150.