نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال پنجم، شماره اول، پاییز ۱۳۹۴

ISSN 2251-7480

کم‌آبیاری توأم با کاهش آب در دسترس راهکاری برای حفاظت منابع آب در دشت قزوین

ابوذر پرهیزکاری[۱*]، محمدمهدی مظفری[۲]، محسن شوکت فدایی[۴] و ابوالفضل محمودی[۴]

۱*) دانشجوی دکتری (عضو بنیاد ملی نخبگان)؛ گروه اقتصاد کشاورزی؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه پیام نور تهران؛ تهران؛ ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: Abozar.parhizkari@yahoo.com

۲) استادیار؛ گروه مدیریت صنعتی؛ دانشکده علوم اجتماعی؛ دانشگاه بین‌الملل امام خمینی (ره)؛ قزوین؛ ایران

۳) دانشیار؛ گروه اقتصاد کشاورزی؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه پیام نور تهران؛ تهران؛ ایران

٤) استادیار؛ گروه اقتصاد کشاورزی؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه پیام نور تهران؛ تهران؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۰۷/۱۳

چکیده

در تحقیق حاضر به منظور ارائه راهکاری عملی جهت حفاظت از منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت قزوین، ابتدا توابع تولید محصولات کشاورزی براساس سه تکنیک آبیاری کامل، کم‌آبیاری ۵ درصد و کم‌آبیاری ۱۰ درصد تخمین زده‌شد. در ادامه با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مقادیر بهینه الگوی‌کشت در استان قزوین تعیین شد. سپس، اثرات تکنیک کم‌آبیاری همزمان با اعمال سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد بر الگوی کشت، حجم آب مصرفی و سوداخالص کشاورزان مورد بررسی قرارگرفت. برای تخمین توابع تولید محصولات کشاورزی از روش حداقل مربعات معمولی (OLS) و بسته نرم‌افزاری Eviews استفاده شد. مدل برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP) نیز در محیط نرم‌افزاری GAMS حل شد. نتایج حاصل از تخمین توابع تولید نشان داد که کم‌آبیاری ۵ درصد سبب کاهش ناچیز عملکرد محصولات می‌شود، اما کم‌آبیاری ۱۰ درصد بر عملکرد اغلب محصولات الگو اثر منفی می‌گذارد. نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی نیز نشان داد که بکارگیری کم‌آبیاری ۵ درصد توأم با سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس اگرچه منجر به کاهش اندکی در سود ناخالص کشاورزان می‌شود، اما به حفظ و پایداری منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت قزوین کمک شایانی می‌کند.

کلید واژه‌ها: برنامه‌ریزی غیرخطی؛ پایداری منابع آب؛ دشت قزوین؛ کم‌آبیاری

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 (Dehestani *et al.*, 2011). رشد سریع جمعیت و نیاز به تولید مواد غذایی بیشتر و از طرفی محدودیت منابع آب دردسترس، 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 درکشور 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 به‌کارگرفته شوند (پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹٤). از این‌رو، راهبردهای کم‌آبیاری و افزایش راندمان آبیاری به منظور بهینه‌سازی مصرف آب می‌توانند راه‌حل‌های مفیدی باشند (نخجوانی و قهرمان، ۱۳۸۵).

در استراتژی 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 وهمکاران، ۱۳۹۱). هدف اصلی در تکنیک کم‌آبیاری، افزایش کارآیی مصرف آب با کاهش نیاز آبی گیاه و حذف آن قسمت از آب آبیاری است که تأثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد محصول ندارد (دهقانی سانیچ و همکاران، ۱۳۸٦).

کاهش آب دردسترس ایجاد محدودیت برای کشاورزان در دستیابی به آب آبیاری به منظور صرفه‌جویی در مصرف این نهاده کمیاب می‌باشد. این کار اغلب به صورت غیرمستقیم و با کاهش ساعات کار پمپاژهای استحصال آب از چاه‌ها و جریانات سطحی (مانند رودخانه‌ها) صورت می‌گیرد تا بدین طریق از مصرف بی‌رویه آب در سطح مزارع توسط کشاورزان جلوگیری به عمل آمده و به حفظ منابع آب سطحی و زیرزمینی کمک شود (پرهیزکاری و صبوحی، ۱۳۹۲).

راهکارهای عملیاتی فوق طی سال‌های اخیر در مطالعات داخلی و خارجی متعددی برای بهینه‌سازی مصرف آب آبیاری، به‌ویژه در نواحی کم‌آب استفاده شده‌اند. در تحقیقی در حوضه کلمبیای ایالات متحده آمریکا، مزارع گندم آبیاری‌شده با سیستم سنترپیوت مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با اعمال کم‌آبیاری سود خالص به ازای واحد آب مصرفی ۱٤/۵ درصد بیشتر بوده و در حدود ۱۲ درصد آب آبیاری صرفه‌جویی شده است (English and james, 1990). در پژوهشی دیگر، از برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی برای تعیین الگوی کشت، مقدار آب مصرفی و درآمد کشاورزان در جنوب شرقی آنتالیا تحت شرایط کم‌آبیاری استفاده شد. نتایج نشان داد که کاربرد مدل‌های برنامه‌ریزی غیرخطی ارزش درآمدی بالاتر و حجم آب صرفه‌جویی شده بیشتری را در مقایسه با مدل‌های برنامه‌ریزی خطی به همراه دارند (Benli *et al.*, 2003). در مطالعه‌ای از یک مدل بهینه‌سازی اقتصادی برای بررسی اثرات کم‌آبیاری بر تولید محصولات در تایلند استفاده شد. نتایج نشان داد که با بکارگیری تکنیک کم‌آبیاری ۲۵ درصد، حجم آب مصرفی از ٤۲ به ۲۰ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد (Mainuddian *et al.*, 2006). پژوهشی دیگر در حوضه‌ی آبریز ماری دارلینگ استرالیا به بررسی اثرات کم‌آبیاری در پاسخ به تقاضای آب محیط‌زیست پرداخت. نتایج نشان داد که کم‌آبیاری در به حداکثررساندن بازده ناخالص کشاورزان و افزایش کارآیی مصرف آب مؤثر می‌باشد (Mushtaq and Moghaddasi, 2011). انجام تحقیقی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اکباتان، تأثیرپذیری کارآیی مصرف آب را بر عملکرد سیب‌زمینی تحت شرایط کم‌آبیاری مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که اعمال کم‌آبیاری در مراحل اولیه رشد سیب‌زمینی نه تنها سبب کاهش عملکرد این محصول نشده، بلکه افزایش کارآیی آب را نیز به دنبال داشته است (Bahramlo and Naseri, 2010). در داخل کشور نیز، در پژوهشی جهت برآورد تقاضای آب آبیاری و بررسی اثرات سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس در منطقه الموت استان قزوین از مدل برنامه‌ریزی ریاضی

مثبت[1] استفاده شد. نتایج نشان داد که بکارگیری سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس کشاورزان منطقه را به مدیریت صحیح منابع آب تشویق می‌کند و می‌توان از این سیاست برای ذخیره منابع آب در فصول پرآب و رفع نیازهای موجود در فصول کم‌آب استفاده کرد (پرهیزکاری و صبوحی، ۱۳۹۲). مطالعه‌ای که به منظور بررسی عوامل مؤثر در مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه و استراتژی کم‌آبیاری در دشت فیروز آباد انجام شد، نشان داد که با اعمال سناریوهای مختلف کم‌آبیاری برای همه گروه‌های همگن، درصد کاهش سود کمتر از درصد کاهش برداشت آب از منابع زیرزمینی این دشت است (فتحی و زیبایی، ۱۳۸۹). در تحقیقی دیگر با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به تعیین راهبردهای مناسب کم‌آبیاری با هدف حداکثرسازی منافع اجتماعی در خراسان پرداخته شد. نتایج نشان داد که صرفه‌جویی در منابع آب زمانی امکان‌پذیر است که محصولات آب‌بری چون چغندرقند با تنش آبی مواجه شوند (صبوحی و همکاران، ۱۳۸۵).

طی سال‌های اخیر، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی استان قزوین روندی صعودی داشته، به‌طوری که برخی از مناطق این استان، از جمله شهرستان‌های تاکستان و بوئین‌زهرا از این نظر در شرایط بحرانی به سر می‌برند. افزون بر این، 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 آب بهای پرداختی توسط کشاورزان نیز باعث رایگان تلقی‌شدن 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 شده است (صبوحی و پرهیزکاری، ۱۳۹۲). آمارهای موجود نشان می‌دهد که حجم بهره‌برداری از آبخوان‌های این استان در حال حاضر ۱٤٥۸/٦٦ 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 نقاط استان شده، به طوری که حفر چاه و بهره‌برداری‌های جدید از منابع آب در برخی از این شهرستان‌ها ممنوع اعلام شده است (شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین، ۱۳۹۱).

به طور کلی، با توجه به کاهش عرضه آب‌های سطحی و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در این استان، نیاز است تا مدیریت تقاضای آب در سطح مزارع بیشتر از گذشته مورد توجه قرارگیرد. به همین منظور، در مطالعه حاضر تلاش شد تا با تخمین توابع تولید محصولات کشاورزی و لحاظ نمودن این توابع در یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی، اثرات بکارگیری تکنیک کم‌آبیاری توأم با کاهش آب آبیاری دردسترس، به عنوان راهکاری عملی برای حفاظت منابع آب دشت قزوین بررسی شود.

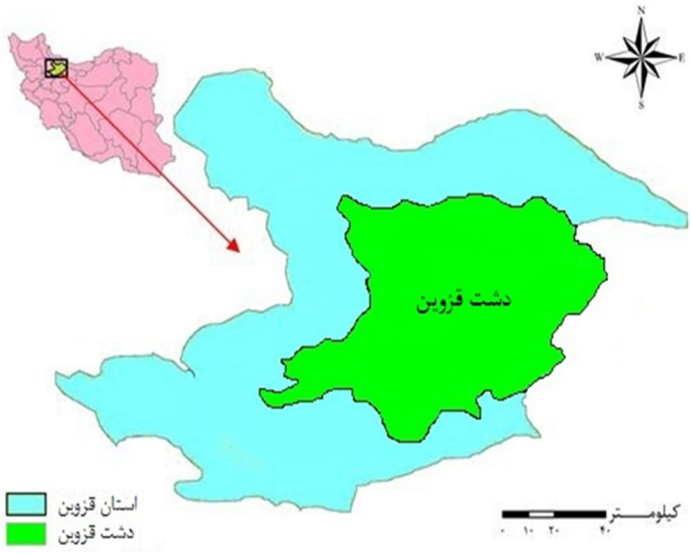
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان قزوین در حوزه مرکزی ایران با مساحتی معادل ۱۵۸۲۱ کیلومتر مربع، بین ٤۸ درجه و ٤٥ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳٦ درجه و ٤٥ 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 استان‌های البرز و تهران هم‌جوار می‌باشد و به علت موقعیت منحصر به فرد دشت قزوین یکی از مناطق مستعد کشور برای تولید محصولات کشاورزی است (ناصری و همکاران، ۱۳۸۸). 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 (پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۱). میانگین

[1] Positive Mathematical Programming (PMP)

بارش سالانه نیز در این استان ۲۳٤/۱ میلی‌متر بوده که حدود ۸ درصد کمتر از متوسط بارندگی در کشور است (سازمان هواشناسی استان قزوین، ۱۳۹۲). شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد:



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (پرهیزکاری و صبوحی، ۱۳۹۲)

نحوه اعمال کم‌آبیاری

در سال‌های اخیر، مدل‌ها متعددی جهت بررسی مدیریت آبیاری تحت شرایط کم‌آبی توسعه یافته است. در این راستا، مدل بکار برده شده در نرم‌افزار CROPWAT یکی از روش‌های کاربردی است که با استفاده از آن می‌توان محاسبات استاندارد برای تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع، نیاز آبی گیاه و مدیریت برنامه آبیاری تحت شرایط کم‌آبی را انجام داد (رمضانی اعتدالی و همکاران، ۱۳۸۸). این مدل که توسط بخش توسعه آب و خاک FAO نوشته شده امکان شبیه‌سازی تنش‌های رطوبتی روی گیاه و محاسبه میزان کاهش عملکرد محصول را بر پایه روش‌های مدرن برآورد تبخیر و تعرق و عکس‌العمل گیاهان نسبت به تنش‌های آبی اعمال‌شده میسر می‌سازد. اعمال کم‌آبیاری و محاسبه تغییرات به وجود آمده در عملکرد محصولات با استفاده از این مدل مورد بررسی قرار می‌گیرد (Clarke *et al.*, 1998; Cortignani and Severini, 2008). مدل فوق به صورت زیر قابل تعریف می‌باشد (Clarke *et al.*, 1998؛ شعبانی و همکاران، ۱۳۸۷):

$$q_i = \frac{W_{ai}}{E_{ai}} \times 10 \qquad (۱)$$

که در آن، q_i مقدار آب آبیاری موردنیاز گیاه i ام، w_{ai} مقدار آب خالص موردنیاز گیاه i ام، E_{ai} راندمان کاربرد آب در مزرعه محصول i ام و عدد ۱۰ برای تبدیل میلی‌متر (mm) به مترمکعب در هکتار (m^3/ha) می‌باشد. مقدار w_{ai} با توجه به رابطه زیر به دست می‌آید (Clarke *et al.*, 1998؛ شعبانی و همکاران، ۱۳۸۷):

$$W_{ai} = ET_{CROPI} - P_j \qquad (۲)$$

که در آن، 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 (Clarke *et al.*, 1998؛ شعبانی و همکاران، ۱۳۸۷):

$$ET_{CROPI} = kc \times ET_o \qquad (۳)$$

که در آن، ET_0 میزان تبخیر و تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع و kc ضریب گیاهی می‌باشد. بدین ترتیب،

تأثیر کاهش آب بر روی عملکرد محصولات براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود (Cortignani and Severini, 2008؛ شعبانی و همکاران، ۱۳۸۷):

$$\left[1-\frac{Y_a}{Y_m}\right]=Ky\left[1-\frac{ET_a}{ET_m}\right] \qquad (٤)$$

که در آن، Y_a عملکرد واقعی، Y_m عملکرد پتانسیل، ET_a تبخیر و تعرق واقعی، ET_m تبخیر و تعرق پتانسیل و K_y عامل ارتباط بین تبخیر و تعرق و عملکرد محصول است (Cortignani and Severini, 2008؛ شعبانی و همکاران، ۱۳۸۷).

روش حداقل مربعات معمولی[1] (OLS)

در این مطالعه پس از بررسی اثرگذاری کم‌آبیاری بر میزان عملکرد مطابق رابطه (٤)، جهت تخمین توابع تولید محصولات کشاورزی منتخب استان قزوین از رهیافت حداقل مربعات معمولی (OLS) که یک روش تخمینی در اقتصادسنجی است، استفاده شد. با به کارگیری این روش، روند معنی‌داری هر یک از تکنیک‌های آبیاری کامل، کم‌آبیاری ۵ درصد و کم‌آبیاری ۱۰ درصد بر متوسط عملکرد (Y_i) محصولات منتخب استان قزوین (گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، چغندر، کلزا و یونجه)، طی دوره ۸ ساله (۱۳۹۱-۱۳۸٤) با استفاده از بسته نرم افزاری Eviews بررسی و توابع مورد نظر تخمین زده شد. شکل کلی تابع عملکرد محصولات به صورت زیر می‌باشد:

$$Y_{ir}=\beta_o+\beta_1 W_{ir}+\beta_2 W_{ir}^{2}+\beta_3 W_{ir}^{3}+\varepsilon_i \qquad (٥)$$

که در آن Y_{ir} عملکرد محصول i (گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، چغندر، کلزا و یونجه) با تکنیک آبیاری r (آبیاری کامل، کم‌آبیاری ۵ و کم‌آبیاری ۱۰ درصد) و w_{ir} کل آب مورد استفاده‌ی محصول i با تکنیک آبیاری r است. β_i ضرایب تابع تولید بوده که بیانگر نسبت آب مصرفی محصول i با تکنیک آبیاری r می‌باشد. β_0 پارامتر ثابت تابع تولید و ε_i نیز میزان خطای تخمین می‌باشد (Mushtaq and Moghaddasi, 2011). پس از تخمین توابع تولید محصولات کشاورزی براساس تکنیک‌های مختلف کم‌آبیاری، جهت واردنمودن این توابع در مسئله بهینه‌سازی و بررسی اثرات آن‌ها بر بازده ناخالص زارعین استان قزوین از یک سیستم مدل‌سازی اقتصادی استفاده شد.

مدل برنامه‌ریزی غیرخطی[2] (NLP)

هر مسئله بهینه‌سازی، شامل دو بخش مدل‌سازی و برنامه‌ریزی می‌باشد. بخش مدل‌سازی شامل 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 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 ریاضی این مدل به صورت زیر می‌باشد:

$$Max\ \Pi=\sum_{i=1}^{7}\sum_{r=1}^{3}p_i Y_{ir}x_{ir}-\sum_{i=1}^{7}\sum_{r=1}^{3}\sum_{j\neq water}^{5}c_{irj}x_{ir}-\sum_{i=1}^{7}\sum_{r=1}^{3}\sum_{j=water}^{5}\left[\gamma p_{ws}w_{irj}+(1-\gamma)p_{wg}\right]x_{ir} \qquad (٦)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{7}x_{ir}\le A_r \qquad \forall r=1,2,3 \qquad (٧)$$

$$\sum_{i=1}^{7}NCWR_{ir}x_{ir}\le T_{ws.r} \qquad \forall r=1,2,3 \qquad (٨)$$

$$\sum_{i=1}^{7}NCWR_{ir}x_{ir}\le T_{wg.r} \qquad \forall r=1,2,3 \qquad (٩)$$

$$\sum_{i=1}^{7}NCWR_{ir}x_{i}\le\left(\mu_a T_{ws.r}+\mu_b T_{wg.r}\right) \qquad (١٠)$$

$$\sum_{i=1}^{7}k_{ir}x_{ir}\le TK \qquad \forall r=1,2,3 \qquad (١١)$$

$$\sum_{i=1}^{7}L_{ri}x_{ri}\le TL \qquad \forall r=1,2,3 \qquad (١٢)$$

[1]- Ordinary Least Squares

[2]- Non- Liner Programing

$$x_{ri} \geq 0 \qquad (۱۳)$$

رابطه (٦) تابع هدف مدل برنامه‌ریزی غیرخطی را نشان می‌دهد که در آن، n بازده ناخالص کشاورزان، i تعداد محصولات (i=۲،۱،...،۷)، r تکنیک‌های آبیاری (r=۳،۲،۱)، p_i قیمت محصول i، Y_{ir} عملکرد محصول i با تکنیک آبیاری r، x_{ir} سطح زمین تخصیص داده شده به محصول i با تکنیک آبیاری r، C_{irj} هزینه کشت محصول i با تکنیک r و نهاده j، w_{irj} مقدار آب مصرفی برای محصول i با تکنیک آبیاری r و نهاده j، p_{ws} قیمت هر مترمکعب آب سطحی، p_{wg} قیمت یا هزینه استحصال هر مترمکعب آب زیرزمینی و γ ضریبی است که میزان مصرف یا عدم مصرف آب‌های سطحی و زیرزمینی را نشان می‌دهد و مقدار آن بین صفر و یک تغییر می‌کند. در صورتی که γ=۱ باشد، در منطقه موردنظر تنها از منابع آب سطحی برای فعالیت‌های زراعی استفاده می‌شود. رابطه (۷)، محدودیت سطح زیرکشت محصولات زراعی می‌باشد که A_r در آن کل سطح زیرکشت آبیاری شده با روش r است. رابطه (۸) محدودیت مربوط به منابع آب سطحی و رابطه (۹) محدودیت مربوط به منابع آب زیرزمینی است. $NCWR_{ir}$ در این روابط نیاز خالص آبی محصول i می‌باشد که با تکنیک r آبیاری می‌شود. $T_{ws.r}$ و $T_{wg.r}$ نیز به ترتیب کل منابع آب سطحی و زیرزمینی قابل دسترس برای آبیاری با تکنیک r می‌باشند. رابطه (۱۰) محدودیت مربوط به برداشت توأم آب‌های سطحی و زیرزمینی است که μ_a و μ_b در آن به ترتیب درصد راندمان آبیاری با آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد. رابطه (۱۱) محدودیت سرمایه است که در آن k_{ri} ضریب فنی هزینه در واحد سطح محصول i در روش آبیاری r و TK_r کل سرمایه دردسترس است. منظور از سرمایه در این مطالعه مجموع بذر، کود و سم مصرفی است که کشاورز قبل از هر چیز برای کشت محصول در واحد سطح به آن نیاز دارد. این واحد معمولا براساس وزن (کیلوگرم) و در معدود مطالعاتی براساس ارزش ریالی بیان شده است. رابطه (۱۲) محدودیت نیروی‌کار است که در آن L_{ir} نیروی‌کار مورد نیاز در هر هکتار از محصول i است که با تکنیک r آبیاری می‌شود. رابطه (۱۳) نیز بیانگر محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها می‌باشد (Mushtaq and Moghaddasi, 2011؛ پرهیزکاری و صبوحی، ۱۳۹۲؛ صبوحی و پرهیزکاری، ۱۳۹۲).

روش جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات

در مطالعه حاضر، به منظور بررسی اثرات کم‌آبیاری همزمان با سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس از داده‌های مقطعی- آماری سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ استفاده شد. جمع‌آوری داده‌های مربوط به محصولات زراعی از طریق مراجعه به سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین و دادهای مربوط به نیاز آبی گیاهان و میزان منابع آب قابل دسترس از طریق مراجعه به شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین صورت گرفت.

جدول (۱) داده‌ها و اطلاعات آماری مربوط به محصولات منتخب زراعی استان قزوین را طی سال پایه ۱۳۹۱-۱۳۹۰ نشان می‌دهد.

جدول (۲) میزان آب دردسترس حاصل از منابع آبی مختلف (رودخانه‌ها، چاه‌ها، قنات‌ها، سدها و چشمه‌ها) را در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ تحت شرایط متفاوت آب و هوایی در استان قزوین نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، ملاحظه می‌شود که کل منابع آب دردسترس استان قزوین طی سال ۱۳۹۱-۱۳۹۰ در حدود ۸٤٥/۸ میلیون مترمکعب می‌باشد که ٤٦۰/۱ میلیون مترمکعب آن مربوط به حجم آب‌های سطحی و مابقی مربوط به حجم آب‌های زیرزمینی است. در بین منابع مختلف تأمین آب این استان نیز بیشترین سهم تأمین ۳۱/۵ درصد است که مربوط به منابع آب تجمع یافته و رودخانه‌های شاهرود، خررود، ابهر رود و حاجی عرب می‌باشد (گزارشات شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین، ۱۳۹۱).

شکل (۲) به صورت مقایسه‌ای سهم آب‌های سطحی و زیرزمینی را از کل منابع آب دردسترس استان قزوین طی سال موردنظر نشان می‌دهد.

جدول ۱. داده‌ها واطلاعات مربوط به محصولات زراعی استان قزوین در سال ۱۳۹۱-۱۳۹۰

محصولات منتخب	سطح زیرکشت (ha)	عملکرد (kg/ha)	نیازآبی خالص* (m^3/ha)	سرمایه** (kg)	نیروی‌کار (نفر-روز /ha)
گندم آبی	٦٠٨٢٥	٤٦٣١	٢٩٤٥	٣٧٥	٢٤
جو آبی	٣٠٤٠٠	٤٢٥٠	٢٤٦٠	٣٦٠	٢٢
ذرت دانه‌ای	٧٣٨٠	١٠٦٣٨	٦٤٣٨	٤٥٣	٢٩
گوجه‌فرنگی	٦٢٥٣	١٧٤٠٠	٧٦٣٥	٤٣٧	٤١
چغندر	٣٦٣٧	٢٥٧٦٠	٨٤٨٠	٤٢٠	٢٧
یونجه	١٧٩٢٠	١١٤٨٥	٨٣٦٠	٥١٨	٢١
کلزا	٢٦٥٠	٢٥٧٠	٦٣٢٧	٣٩٠	٢٨

*: نیاز آبی خالص محصولات منتخب با استفاده از نرم‌افزار آماری NETWAT محاسبه و برآورد شد.

**: منظور از سرمایه مجموع کودشیمیایی، سم و بذری است که کشاورز برای کشت محصول به آن نیاز دارد.

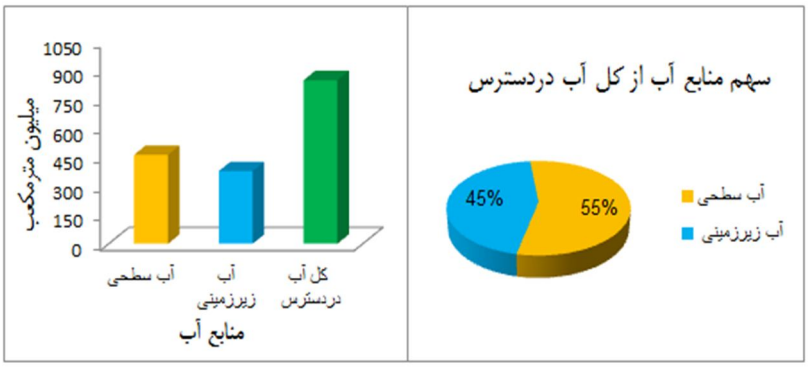
مأخذ: سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین، ۱۳۹۱

جدول ۲. کل آب قابل دسترس استان قزوین در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ (برحسب میلیون مترمکعب)

نوع منبع آب	حجم آب سطحی	حجم آب زیرزمینی	حجم کل آب در دسترس	سهم تأمین آب* (درصد)
چاه‌های عمیق شخصی	٠	١٤٢/٦	١٤٢/٦	١٦/٨
چاه‌های نیمه‌عمیق شخصی	٠	٨٠/٥	٨٠/٥	٩/٥
چاه‌های عمیق دولتی	٠	٩٧/٢	٩٧/٣	١١/٤
کانال‌ها و سدهای انحرافی	١٩٣/٨	٠	١٩٣/٨	٢٢/٩
رودخانه و آب تجمع یافته	٢٦٦/٣	٠	٢٦٦/٣	٣١/٥
قنات و چشمه	٠	٦٥/٤	٦٥/٤	٧/٩
مجموع منابع آب دردسترس	٤٦٠/١	٣٧٥/٧	٨٤٥/٨	١٠٠

***: منظور سهم هر یک از منابع آب (چاه‌ها، قنات‌ها، کانال‌ها و...) از حجم کل آب دردسترس منطقه می‌باشد.**

مأخذ: گزارشات شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین، ۱۳۹۱



شکل ۲. سهم آب‌های سطحی و زیرزمینی از کل منابع آب دردسترس استان قزوین

نتایج و بحث

برای تخمین توابع تولید محصولات منتخب زراعی در این مطالعه از روش حداقل مربعات معمولی استفاده شد. جدول (۳)، توابع تولید برآورد شده را براساس تکنیک‌های آبیاری کامل، کم‌آبیاری ۵ درصد و کم‌آبیاری ۱۰ درصد پس از تخمین در محیط نرم‌افزاری Eviews با استفاده از داده‌های آماری ۸ ساله (۱۳۹۱-۱۳۸٤) نشان می‌دهد. تخمین توابع تولید محصولات کشاورزی براساس میزان عملکرد آب در هر یک از روش‌های آبیاری کامل، کم‌آبیاری ۵ درصد و کم‌آبیاری ۱۰ درصد صورت گرفته است، لذا مقدار عددی ضریب ثابت (β_0) توابع تولید تخمین زده شده محصولات منتخب برابر صفر می‌باشد. بدین معنی که، بدون وجود تکنیک‌های مورد استفاده میزان تغییرات عملکرد برای هر محصول صفر می‌باشد.

جدول ۳. برآورد توابع تولید محصولات کشاورزی استان قزوین بر اساس میزان عملکرد تکنیک‌های آبیاری

محصول	ضرایب تابع تولید تخمین زده شده				تابع تولید محصولات کشاورزی
	β_0	β_1	β_2	β_3	
گندم آبی	۰	۰/۷٦٤	۰/۰۱۷	-۰/۰۰٤	۰/۷٦٤ W + ۰/۰۱۷ W^2 -۰/۰۰٤ W^3
جو آبی	۰	۰/۹٦۱	۰/۲۲۸	-۰/۰۰۱	۰/۹٦۱ W + ۰/۲۲۸ W^2 -۰/۰۰۱ W^3
ذرت دانه‌ای	۰	۰/۷۲۸	۰/۱٦٤	-۰/۰۱۳	۰/۷۲۸ W + ۰/۱٦٤ W^2 -۰/۰۱۳ W^3
گوجه‌فرنگی	۰	۱/۱۳۷	۰/٦۲٥	-۰/۰۰۳	۱/۱۳۷ W + ۰/٦۲٥ W^2 -۰/۰۰۳ W^3
چغندر	۰	۰/۰۲۹	۰/۰۸۳	-۰/۰۰٦	۰/۰۲۹ W + ۰/۰۸۳ W^2 -۰/۰۰٦ W^3
یونجه	۰	۰/٦٥٤	۰/۳۱۷	-۰/۰۰۲	۰/٦٥٤ W + ۰/۳۱۷ W^2 - ۰/۰۰۲ W^3
کلزا	۰	۰/۹٤٤	۰/۲۸٥	-۰/۰٤۱	۰/۹٤٤ W + ۰/۲۸٥ W^2 -۰/۰٤۱ W^3

با توجه به نتایج جدول (۳)، ملاحظه می‌شود که ضرایب مربوط به β_1 و β_2 در توابع تولید تخمین زده شده برای کلیه محصولات مقادیر مثبتی را شامل می‌شوند. اما، ضریب مربوط به β_3 در توابع تولید تخمین‌زده شده کلیه محصولات به منتخب منفی می‌باشد. منفی بودن این ضریب و فرجه بیشتر مربوط به متغیر w^3 (توان سوم این متغیر) حاکی از آن است که با اعمال تنش‌های آبی، عملکرد محصولات گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، چغندر، یونجه و کلزا کاهش می‌یابد و این میزان کاهش عملکرد برای هر محصول متناسب با تنش اعمال شده و حجم آب مصرفی تغییر می‌یابد. به طور کلی، نتایج جدول (۳) حاکی از کاهش عملکرد محصولات منتخب پس از اعمال تنش‌های آبی می‌باشد.

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 محصولات کاهش می‌یابد. درواقع، در این مرحله تنها اثرات کاهش آب دردسترس بر الگوی کشت و منابع آب موجود بررسی و ارزیابی شده است. جدول (٤)، نتایج حاصل از اعمال سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس را تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ درصد و در شرایط آبیاری کامل نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این جدول، ملاحظه می‌شود که با کاهش آب آبیاری دردسترس تحت سناریوهای مختلف، سطح زیرکشت محصولات گندم و جو آبی نسبت به سال پایه کاهش و سطح زیرکشت سایر محصولات الگو با افزایش همراه است. در شرایط آبیاری کامل (بدون ایجاد تنش آبی)، اعمال سیاست کاهش آب دردسترس تحت سناریوی ۱۰ درصد علاوه بر مصرف ٥٦/۳ میلیون مترمکعب آب در الگوی کشت، منجر به کسب حداکثر سود ناخالص برای کشاورزان خواهد شد.

این در حالی است که با اعمال سناریوهای ۲۰، ۳۰ و ٤۰ درصد، سود ناخالص کشاورزان در سطحی بالاتر از سال پایه و با روندی نزولی کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج جدول (٤)، ملاحظه می‌شود که اعمال سیاست کاهش آب دردسترس در شرایط آبیاری کامل نه تنها منجر به کاهش سود ناخالص کشاورزان نمی‌شود، بلکه کشاورزان را به مصرف صحیح و بهینه منابع آب موجود تشویق می‌کند و منجر به صرفه‌جویی حجم زیادی از آب آبیاری نیز می‌شود. به طور کلی، نتایج جدول (٤) حاکی از آن است که با اعمال سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس 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.

جدول ٤. نتایج حاصل از به‌کارگیری سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس در شرایط آبیاری کامل

محصول	نیاز آبی (m^3/ ha)	اراضی سال پایه (ha)	سناریوهای مختلف کاهش آب آبیاری دردسترس			
			۱۰ درصد	۲۰ درصد	۳۰ درصد	٤۰ درصد
گندم آبی	۲۹٤۵	٦۰۸۲۵	۵۹۳۱۰	۵۹۳۳۷	۵۹۳٦۸	۵۹٤۰۵
جو آبی	۲٤٦۰	۳۰٤۰۰	۳۰۰٦۹	۳۰۰۷٤	۳۰۰۷۹	۳۰۰۸۵
ذرت دانه‌ای	٦٤۳۸	۷۳۸۰	۷٤۸۰	۷٤۷۸	۷٤۷٦	۷٤۷٤
گوجه‌فرنگی	۷٦۳۵	٦۲۵۳	٦۵٦۷	٦۵٦۳	٦۵۵۹	٦۵۵۳
چغندر	۸٤۸۰	۳٦۳۷	٤۰۳۱	٤۰۲۵	٤۰۱۷	٤۰۰۸
یونجه	۸۳٦۰	۱۷۹۲۰	۱۸۷۹۵	۱۸۷۷۹	۱۸۷٦۱	۱۸۷۳۹
کلزا	٦۳۲۷	۲٦۵۰	۲۸۱۳	۲۸۱۰	۲۸۰٦	۲۸۰۰
سود ناخالص الگو*		۳۷۹٤۵/۲	۳۹۰۱۷/٤	۳۸۸۱٦/۱	۳۸۵۷۲/۹	۳۸۲۷٤/۹
حجم آب مصرفی**		٦۲۵/۳۳	۵٦۲/۸۰	۵۰۰/۲٦	٤۳۷/۷۳	۳۷۵/۲۰

*: برحسب میلیون ریال و **: برحسب میلیون مترمکعب

در حالت بکارگیری سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس توأم با کم‌آبیاری ۵ درصد، همزمان با کاهش آب دردسترس تحت سناریوهای مختلف، کم‌آبیاری ۵ درصد نیز در دوره رشد محصولات منتخب کشاورزی اعمال می‌شود. جدول (۵)، نتایج شبیه‌سازی شده را پس از اعمال کم‌آبیاری ۵ درصد توأم با کاهش آب آبیاری دردسترس تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ درصد نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این جدول، ملاحظه می‌شود که با اعمال کم‌آبیاری ۵ درصد همزمان با کاهش آب دردسترس تحت سناریوهای مختلف، سطح زیرکشت محصولات گندم و جوآبی نسبت به شرایط فعلی کاهش می‌یابد و الگوی کشت به نفع محصولات ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، چغندر، یونجه و کلزا که صرفه اقتصادی بالاتری به ازای مصرف هر مترمکعب آب آبیاری دارند، پیش می‌رود. با اعمال کم‌آبیاری ۵ درصد اگرچه که سود ناخالص کشاورزان استان قزوین نسبت به حالت آبیاری کامل کاهش می‌یابد، اما این کاهش سود با صرفه‌جویی حجم زیادی از آب آبیاری در سطح مزارع همراه است. همچنین، ملاحظه می‌شود که با اعمال کم‌آبیاری ۵ درصد همزمان با کاهش آب دردسترس به میزان ۱۰ درصد، آب آبیاری در مقایسه با شرایط آبیاری کامل به میزان ٤/۹ درصد مصرف می‌شود. میزان صرفه‌جویی آب در سطح ۲۰، ۳۰ و ٤۰ درصد کاهش آب آبیاری دردسترس توأم با کم‌آبیاری ۵ درصد نیز به ترتیب اعمال سناریوهای فوق به میزان ۵/٤، ٦/۲ و ۷/۳ درصد بیشتر از حالت آبیاری کامل می‌باشد. در چنین حالتی می‌توان حجم آب ذخیره‌شده را برای توسعه و گسترش سطح زیرکشت محصولات با صرفه اقتصادی بیشتر و یا سود بالاتر تخصیص داد.

جدول ۵. نتایج حاصل از به‌کارگیری سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس توأم با کم‌آبیاری ۵ درصد

محصول	نیاز آبی (m^3/ha)	اراضی سال پایه (ha)	سناریوهای مختلف کاهش آب آبیاری دردسترس			
			۱۰ درصد	۲۰ درصد	۳۰ درصد	٤٠ درصد
گندم آبی	۲۷۹۸	٦۰۸۲٥	٥۹٤۹٥	٥۹٥۲۰	٥۹٥٤۹	٥۹٥۸٤
جو آبی	۲۳۳۷	۳۰٤۰۰	۳۰۱۲٤	۳۰۱۲۸	۳۰۱۳٤	۳۰۱٤۰
ذرت دانه‌ای	٦۱۱٦	۷۳۸۰	۷٤٥۱	۷٤٥۰	۷٤٤۸	۷٤٤٦
گوجه‌فرنگی	۷۲٥۳	٦۲٥۳	٦٤۸۳	٦٤۷۹	٦٤۷٥	٦٤۷۰
چغندر	۸۰٥٦	۳٦۳۷	۳۹۸٥	۳۹۷۹	۳۹۷۱	۳۹٦۳
یونجه	۷۹٤۲	۱۷۹۲۰	۱۸۷۱۷	۱۸۷۰۲	۱۸٦۸٥	۱۸٦٦٤
کلزا	٦۰۱۱	۲٦٥۰	۲۸۱۰	۲۸۰۷	۲۸۰۳	۲۷۹۸
سود ناخالص الگو*		۳۷۹٤٥/۲	۳٥۹٦۱/۱	۳٥۷۸۲/۱	۳٥٥٦٤/۷	۳٥۲۹٦/۸
حجم آب مصرفی**		٦۲٥/۳۳	٥۳٥/٤۷	٤۷۲/۹٤	٤۱۰/٤۰	۳٤۷/۸۷

*: برحسب میلیون ریال و **: برحسب میلیون مترمکعب

به‌منظور دستیابی به نتایجی کاربردی‌تر، در حالت بکارگیری سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس توأم با کم‌آبیاری ۱۰ درصد، همزمان با کاهش میزان آب دردسترس تحت سناریوهای مختلف، کم‌آبیاری ۱۰ درصد در دوره رشد محصولات اعمال می‌شود. جدول (٦)، نتایج شبیه‌سازی شده را برای این حالت نشان می‌دهد:

جدول ٦. نتایج حاصل از به‌کارگیری سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس توأم با کم‌آبیاری ۱۰ درصد

محصول	نیاز آبی (m^3/ha)	اراضی سال پایه (ha)	کاهش آب آبیاری دردسترس			
			۱۰ درصد	۲۰ درصد	۳۰ درصد	٤٠ درصد
گندم آبی	۲٦٥۰	٦۰۸۲٥	٥۹۷۰٤	٥۹۷۲٦	٥۹۷۲۳	٥۹۷۱۱
جو آبی	۲۲۱٤	۳۰٤۰۰	۳۰٤٥۸	۳۰٤٦۲	۳۰٤٥٥	۳۰٤٤٤
ذرت دانه‌ای	٥۷۹٤	۷۳۸۰	۷۳۹۰	۷۳۸۸	۷۳۸٦	۷۳۸٤
گوجه‌فرنگی	٦۸۷۱	٦۲٥۳	٦۳۱٦	٦۳۱۳	٦۳۰۸	٦۳۰۲
چغندر	۷٦۳۲	۳٦۳۷	۳۸۷۱	۳۸٦٥	۳۸٥۸	۳۸٤۹
یونجه	۷٥۲٤	۱۷۹۲۰	۱۸٥۲٤	۱۸٥۱۲	۱۸٤۹۱	۱۸٤٦٥
کلزا	٥٦۹٤	۲٦٥۰	۲۸۰۲	۲۷۹۹	۲۷۹٥	۲۷۹۱
سود ناخالص الگو*		۳۷۹٤٥/۳	۲٦٦۲٥/۹	۲٦٥۰۷/٤	۲٦۳٥۹/٦	۲٦۱۷۳/۱
حجم آب مصرفی**		٦۲٥/۳۳	٤٤۲/۷۰	۳۹۳/٥۱	۳٤٤/۳۲	۲۹٥/۱۳

*: برحسب میلیون ریال و **: برحسب میلیون مترمکعب

با توجه به نتایج جدول ٦، ملاحظه می‌شود که با اعمال کم‌آبیاری ۱۰ درصد همزمان با کاهش آب دردسترس تحت سناریوهای مختلف، سطح زیرکشت محصول گندم نسبت به شرایط فعلی کاهش می‌یابد و از ٦۰۸۲٥ هکتار در سال پایه به ٥۹۷۱۱ هکتار می‌رسد، اما سطح زیرکشت سایر محصولات الگو نسبت به سال پایه افزایش می‌یابد. با کاهش آب آبیاری دردسترس توأم با کم‌آبیاری ۱۰ درصد، سود ناخالص کشاورزان در مقایسه با کم‌آبیاری ٥ درصد کاهش می‌یابد، اما حجم آب ذخیره شده با افزایش همراه می‌باشد. به طور کلی، نتایج بکارگیری تکنیک کم‌آبیاری حاکی از آن است که با اعمال این استراتژی می‌توان سطح زیرکشت محصولاتی که صرفه اقتصادی کم‌تری در الگوی کشت دارند را کاهش داده و با حجم آب صرفه‌جویی شده، سطح زیرکشت محصولات با سود ناخالص بیشتر را افزایش داد.

جدول ۷، حجم آب صرفه‌جویی شده در الگوی کشت محصولات منتخب زراعی استان قزوین را پس از اعمال تکنیک کم‌آبیاری ۵ و ۱۰ درصد تحت سناریوهای مختلف کاهش آب آبیاری دردسترس نشان می‌دهد:

جدول ۷. حجم آب صرفه‌جویی شده پس از اعمال کم‌آبیاری توأم با کاهش آب دردسترس
(مقادیر برحسب میلیون مترمکعب)

تکنیک آبیاری	سناریوهای مختلف کاهش آب آبیاری دردسترس			
	۱۰ درصد	۲۰ درصد	۳۰ درصد	٤٠ درصد
آبیاری کامل	٦٢/٥٣	١٢٥/٠٧	١٨٧/٥٩	٢٥٠/١٣
کم‌آبیاری ۵ درصد	٨٩/٨٦	١٥٢/٣٩	٢١٤/٩٢	٢٧٧/٤٦
کم‌آبیاری ۱۰ درصد	١٨٢/٦٣	٢٣١/٨١	٢٨١/٠١	٣٣٠/١٩

با توجه به نتایج جدول ۷، ملاحظه می‌شود که حجم آب صرفه‌جویی شده در شرایط آبیاری کامل تحت سناریوهای مختلف کاهش آب آبیاری دردسترس از ٦٢/٥ به ٢٥٠/١٣ میلیون مترمکعب افزایش می‌یابد. درواقع، اعمال ۱۰ درصد کاهش آب دردسترس بدون تنش آبی طی دوره رشد محصولات منتخب منطقه منجر به صرفه‌جویی ٦٢/٥ میلیون مترمکعب آب آبیاری در الگوی بهینه کشت ارائه شده توسط مدل برنامه‌ریزی غیرخطی می‌شود، درحالی که با کاهش ٤٠ درصدی آب دردسترس تحت شرایط آبیاری کامل، حجم آب صرفه‌جویی شده در الگوی کشت تا ۲۵۰ میلیون مترمکعب نیز می‌رسد. در حالتی که کم‌آبیاری ۵ درصد توأم با سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس به کارگرفته شود، حجم آب صرفه‌جویی‌شده پس از کاهش ۱۰ تا ٤٠ درصد منابع آب دردسترس از ٨٩/٨٦ به ٢٧٧/٤٦ میلیون مترمکعب افزایش می‌یابد. بیشترین میزان حجم آب صرفه‌جویی شده در حالت بکارگیری تکنیک کم‌آبیاری ۱۰ درصد توأم با کاهش آب دردسترس حاصل می‌شود. کاهش ۱۰ تا ٤٠ درصدی منابع آب دردسترس در این حالت، منجر به ذخیره حجم آبی به میزان ١٨٢/٦٣ تا ٣٣٠/١٩ میلیون مترمکعب می‌شود.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به منظور ارائه راهکاری عملی برای حفاظت از منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت قزوین، ابتدا توابع تولید محصولات منتخب کشاورزی براساس تکنیک‌های آبیاری کامل، کم‌آبیاری ۵ درصد و کم‌آبیاری ۱۰ درصد تخمین زده شدند. در ادامه با طرح یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مقادیر بهینه کشت با توجه به میزان منابع آب موجود در منطقه تعیین شد. سپس، اثرات کم‌آبیاری ۵ و ۱۰ درصد همزمان با اعمال سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤٠ درصد بر الگوی کشت، حجم آب مصرفی و سود ناخالص کشاورزان تحلیل و ارزیابی شد. برای تخمین توابع تولید محصولات کشاورزی از روش حداقل مربعات معمولی (OLS) و داده‌های آماری ۸ ساله (۱۳۹۱-۱۳۸٤) مربوط به عملکرد محصولات استفاده شد. این کار با استفاده از بسته نرم‌افزاری Eviews صورت گرفت. مدل برنامه‌ریزی غیرخطی نیز پس از لحاظ توابع عملکرد تخمین زده شده، در محیط نرم‌افزاری GAMS حل شد.

نتایج نشان داد که اعمال سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس تحت سناریوهای ۱۰ تا ٤٠ درصد در شرایط آبیاری کامل و بدون ایجاد تنش آبی طی دوره رشد محصولات منجر به صرفه‌جویی ٦٢/٥ تا ۲۵۰ میلیون مترمکعب آب در الگوی کشت منطقه می‌شود و سود ناخالص کشاورزان با توجه به الگوهای بهینه تعیین شده در سطحی بالاتر از سود ناخالص سال پایه با روندی

نزولی همراه خواهد شد. در حالت بکارگیری تکنیک کم‌آبیاری ۵ درصد توأم با کاهش ۱۰ تا ٤٠ درصدی منابع آب دردسترس، حجم آب صرفه‌جویی شده از ۸۹/۸ تا ۲۷۷ میلیون مترمکعب افزایش می‌یابد، درحالی که سود ناخالص کشاورزان به صورت جزئی نسبت به سال پایه (۱۳۹۱) کاهش می‌یابد. تخصیص بخشی از حجم آب صرفه‌جویی شده برای افزایش سطح زیرکشت محصولات با صرفه اقتصادی بالاتر (مانند ذرت، گوجه‌فرنگی و کلزا) در این حالت، کاهش سود ناخالص کشاورزان را جبران نموده و افزایش تولید را نیز در پی خواهد داشت. اعمال کم‌آبیاری ۱۰ درصد توأم با کاهش منابع آب دردسترس اگرچه که منجر به صرفه‌جویی حجم آب آبیاری بیشتری نسبت به حالت آبیاری کامل و کم‌آبیاری ۵ درصد می‌شود، اما سود ناخالص کشاورزان را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. این امر به لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر نیست و کاهش تمایل کشاورزان برای کشت محصولات زراعی با صرفه اقتصادی کمتر (مانند گندم و جو آبی) را در بلندمدت در پی خواهد داشت.

به طور کلی، نتایج به دست آمده در این تحقیق حاکی از آن است که اعمال سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس، ضمن کاهش میزان آب دردسترس، کشاورزان را به مدیریت صحیح منابع آب تشویق می‌کند. لذا، پیشنهاد می‌شود که این سیاست تحت سناریوهای پایین (۱۰ تا ۲۰ درصد) برای صرفه‌جویی و ذخیره منابع آب در فصول پرآب و رفع نیازهای موجود در فصول کم‌آب مورد استفاده قرارگیرد و محصولاتی که نسبت به آب مصرفی، سود ناخالص کمتری را حاصل می‌کنند از الگوی کشت فعلی حذف و محصولات با صرفه اقتصادی بالاتر و نیاز آبی کمتر در الگوی کشت جایگزین گردند. افزون بر این، اعمال کم‌آبیاری ۵ درصد توأم با کاهش آب آبیاری دردسترس اگرچه به صورت ناچیز سبب کاهش میزان عملکرد محصولات در واحد سطح می‌شود، اما با صرفه‌جویی حجم آب ذخیره شده در این روش و افزایش سطح زیرکشت محصولات با صرفه اقتصادی بالاتر، می‌توان کاهش عملکرد به وجود آمده را جبران نمود، لذا پیشنهاد می‌شود که این استراتژی به صورت عملی در سطح مزارع به کار گرفته شود و کم‌آبیاری ۱۰ درصد تنها برای مناطقی از استان قزوین که با کاهش شدید منابع آب سطحی و زیرزمینی مواجه می‌باشند (شهرستان‌های بوئین‌زهرا و تاکستان) به کارگرفته شود.

فهرست منابع

پرهیزکاری، ا.، صبوحی، م.، عسگری، ا.، و بدیع، ح. ۱۳۹۱. مدیریت بهره‌برداری و تخصیص بهینه منابع آب جهت تعیین الگوی مناسب کشت. سومین کنفرانس مدیریت جامع منابع آب، دانشکده منابع طبیعی ساری.

پرهیزکاری، ا.، و صبوحی، م. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی پاسخ کشاورزان به سیاست کاهش آب آبیاری دردسترس. مجله آب و آبیاری، ۳(۲): ٤۲-۵۳.

پرهیزکاری، ا.، مظفری، م.، خاکی، م. و تقی‌زاده رنجبری، ح. ۱۳۹٤. تخصیص بهینه منابع آب و اراضی در منطقه رودبارالموت با استفاده از مدل FGFP. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ٤ (٤): ۱۱-۲٤.

دوکوهکی، ح.، قیصری، م.، و کریمی جعفری، م. 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، ص: ۲-٦.

دهقانی سانیج، ح.، نخجوانی مقدم، م.، و سهراب، ف. ۱۳۸٦. کم‌آبیاری و ارتقاء کارایی مصرف آب کشاورزی. اولین همایش سازگاری با کم‌آبی، دانشگاه تهران، مرکز آفرینش‌های فرهنگی و هنری کانون پرورش فکری.

رمضانی اعتدالی، ه.، نظری، ب.، توکلی، ع.ر.، و پارسی نژاد، م. ۱۳۸۸. ارزیابی مدل CROPWAT در مدیریت کم‌آبیاری گندم و جو در منطقه کرج. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۱: ۱۱۹-۱۲۹.

سازمان هواشناسی استان قزوین. ۱۳۹۱. خلاصه سیمای آب و هوا و اقلیم استان قزوین، ص: ۸-۱۳.

شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین. ۱۳۹۱. مطالعات پایه منابع آب،ص: ۲۸-۳۳.

شعبانی، م. ک.، هنر، ت.، و زیبایی، م. ۱۳۸۷. مدیریت بهینه مصرف آب در شرایط استفاده تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی: مطالعه موردی منطقه درودزن استان فارس. مجله علوم و فنون کشاورزی، ۱۲(٤٤): ۳۵- ٤۷.

صبوحی، م.، و پرهیزکاری، ا. ۱۳۹۲. تحلیل اقتصادی اثرات رفاهی تشکیل بازار آب آبیاری در استان قزوین، مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۷(٤): ۳٤٦-۳۵۷.

صبوحی، م.، سلطانی، غ.، زیبایی، م.، و ترکمانی، ج. ۱۳۸۵. تعیین راهبردهای مناسب کم آبیاری با هدف حداکثرسازی منافع اجتماعی. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۵٦: ۱٦۷-۲۰۲.

فتحی، ف.، و زیبایی، م. ۱۳۸۹. عوامل مؤثر در مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چند-هدفه: مطالعه موردی دشت فیروزآباد. مجله علوم و فنون کشاورزی، ۱٤(۵۳): ٦۵- ۷۹.

مقدسی، م.، مرید، س.، و عراقی نژاد، ش. ۱۳۸۷. بهینه‌سازی تخصیص آب در شرایط کم‌آبی با استفاده از روش‌های برنامه-ریزی غیرخطی، هوش جمعی و الگوریتم ژنتیک. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ٤(۳): ۱- ۱۳.

ناصری، م. تقوی، ف.، و زهرایی، ب. ۱۳۸۸. رفتارشناسی مکانی- زمانی بارش در محدوده استان قزوین با استفاده از روش توابع متعامد معمولی و فازی. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۷(۳): ۱۹۱- ۲۰۳.

نخجوانی، م.، و قهرمان، ب. ۱۳۸٤. برآورد توابع تولید آب آبیاری برای گندم پاییزی در مشهد. مجله دانش و تکنولوژی کشاورزی (منابع طبیعی)، ۹(۳): ۲۷-٤۰.

Bahramlo, R., and Naseri, A. 2010. Influence the efficiency of irrigation water use and yield of potatoes Santé. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 4 (1): 98-90.

Benli, B., and Kodul, s. 2003. Anon-Linear Model for Farm optimization with adequate and limited water supplies application to the south-east Anatolain project (GAP) region. Agricultural water management, 62: 187-203.

Cortignani, R., and Severini, S. 2009. Modeling farm-level adoption deficit irrigation using positive mathematical programming, Agricultural water management 96: 1785-1791.

Clarke, D., Smith, M., and EL-Askari, K. 1998. CROPWAT for Windows: User Guide. University of Southampton, pp: 200-246.

Dehestani, M., Tavakoli, M., Forodi, M., and Salmani, M. 2011. Challenges and strategies for optimal management of water resources in agriculture, Fifth National Conference on Watershed Management have Iimproved Soil and Water Resources, pp: 3-8.

English, M.J., and James, L. 1990. Deficit Irrigation, II: observation in Colombia basin. ASCE Journal Irrigation and Drain English, 116(4): 413-426.

Mainuddian, M., Das Gupa, A., and Onta, R.R. 2006. Optimal crop planning model foran exiting groundwater irrigation project in Thailand, Agricultural Water Management, 33(2): 43-62.

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(2): 1139-1150.

ISSN 2251-7480

Deficit irrigation simultaneously with reduced available water the solution to conservation of water resources in Qazvin plain

Abozar Parhizkari[1*], Mohammad Mahdi Mozaffari[2], Mohsen Shokatfadaee[3] and Abolfazl Mahmoodi[3]

1*) Ph.D Student (Member of the National Foundation of Elites), Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Payame Noor University of Tehran, Tehran, Iran
*Corresponding author email: Abozar.prhizkari@yahoo.com
2) Assistant Professor, Department of Industries Management, Faculty of Society Sciences, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
3) Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Payame Noor University of Tehran, Tehran, Iran
4) Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Payame Noor University of Tehran, Tehran, Iran

Accepted: 05-10-2015 Received: 12-04-2015

Abstract

In the present study first the agricultural production functions was estimated based on three techniques of full irrigation and deficit irrigation 5 and 10 percent in order to presentation of the practical solution to conservation of surface and underground water resources in Qazvin plain. The optimal amounts of cropping pattern were determined in Qazvin province by a non-linear programming model. Then, the effects of deficit irrigation was investigated on cropping pattern, water used and farmer's gross marginal simultaneously with reduced available water under scenarios 10, 20, 30 and 40 percent. To estimating of the agricultural production functions was used Ordinary Least Squares method and Eviews software. The non-linear programming model was solved in GAMS software. The results of estimated production functions showed that deficit irrigation 5 percent creates a slight decrease in products yield. But, deficit irrigation 10 percent has the negative effect on yield of most products. The results of non-linear programming model showed although use of deficit irrigation 5 percent simultaneously with reduced available water policy creates the slight decrease in farmer's gross marginal but this technique helps to maintain and sustainability of surface and underground water resources of Qazvin plain strongly.

Keywords: deficit irrigation, non-linear programming, Qazvin plain, sustainability of water resources