تاثیر کم آبیاری بر گزینش الگوی کشت بهینه‌ی فرآورده های کشاورزی در شرایط بحران آب: مورد استان فارس

فردین بوستانی*[۱]، حمید محمدی[۲]، بهروز میر[۳]

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۰/۰۴/۰۳

چکیده

در این مطالعه به بررسی رابطه‌ی استفاده از روش کم آبیاری با انتخاب الگوی بهینه‌ی فرآورده‌های کشاورزی پرداخته شده است. این روش به‌طور گسترده‌ای، به‌ویژه در نواحی مواجه با کم آبی، مورد استفاده قرار گرفته است. واقع شدن شهرستان فسا در اقلیم صحرایی گرم، رخ‌دادن تنش‌های آبی بیشتر در آن نسبت به سایر مناطق اقلیمی استان فارس، دلیل انتخاب منطقه‌ی مزبور برای مطالعه‌ی حاضر بوده است. به‌منظور بیشینه کردن درآمد خالص مزرعه‌ی نماینده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه، از یک الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی مشروط بر توابع واکنش عملکرد فرآورده‌ها نسبت به آب در فضای سایر محدودیت‌ها، استفاده گردید. نتایج نشان داد که با اعمال آبیاری کامل به‌جای کم آبیاری در الگوی جاری و کاهش سطح زیرکشت تا سطح استفاده از موجودی آب، امکان افزایش درآمد مزرعه‌ی نماینده وجود دارد. علاوه بر آن، بسته به شدت بحران و اندازه‌ی کمبود آب، نحوه تصمیم‌گیری برای تعیین راهبرد آبیاری و الگوی کشت در شرایط خشکسالی متفاوت است، به شکلی که اگر کاهش سطح تأمین آب به بیش از نصف موجود برسد، اتخاذ راهبرد کم آبیاری بهترین گزینه برای استفاده‌ی بهینه از زمین و کمینه‌ی آب موجود خواهد بود. در این خصوص، با پذیرش کاهش عملکرد برای بعضی از فرآورده‌ها و تغییر الگوی کشت آنها منطبق با درآمد نهایی حاصله از هر واحد مصرف آب، می‌توان به کمترین کاهش در بازده‌ی برنامه‌ای مزرعه دست یافت.

واژه‌های کلیدی: کم آبیاری، برنامه‌ریزی غیرخطی، الگوی کشت، بهینه‌سازی، خشکسالی.

۱- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل.

۳- کارشناس ارشد پژوهشی دانشگاه زابل.

*- نویسنده‌ی مسوول: fardinboustani@gmail.com

مقدمه

در خلال دهه های گذشته، مسأله‌ی تخصیص بهینه‌ی آب از جمله تنگناهای مدیران منابع آب بوده است. با این وجود، پیشرفت‌های امروزی به بشر توانایی داده است تا از این منبع حیاتی به‌گونه‌ی مطلوب‌تر استفاده کند. بنابراین، تصمیم‌گیری در زمینه‌ی اندازه‌ی مصرف آب سالانه می‌تواند به روش سنتی و براساس آزمون‌های پیشین کشاورز و یا به روش‌های نوین و بر پایه‌ی اطلاعات علمی صورت پذیرد. مزیت روش‌های نوین بر روش‌های سنتی، اختصاص بهینه‌ی منابع برای تولید بیشینه‌ی فرآورده با بیشترین بازده‌ی برنامه‌ای قابل دسترس می‌باشد.

کم آبیاری[1] یک راهبرد بهینه‌سازی است. در این راهبرد، به‌صورت هدفمند به گیاهان اجازه می‌دهند تا درجاتی از کم‌آبی و کاهش عملکرد را متحمل گردند. هدف اصلی و اساسی در کم آبیاری، افزایش بازده‌ی مصرف آب (WUE)[2] می‌باشد. این افزایش می‌تواند از طریق کاهش حجم آب مورد نیاز در هر آبیاری، یا از طریق حذف آبیاری‌های فاقد بهره‌وری یا دارای پایین‌ترین سطح بهره‌وری، صورت پذیرد. هرگاه عرضه‌ی آب محدود یا هزینه‌ی تامین آب بالا باشد، در نتیجه، سطح بهینه‌ی اقتصادی آبیاری به مراتب کمتر از اندازه‌ی آب مورد نیاز برای دستیابی به بیشترین عملکرد(آبیاری کامل) است. علاوه بر این، در مواردی که محدودیت‌هایی در زمینه‌ی عوامل تولید از قبیل سرمایه، کارمایه، نیروی کار و دیگر منابع ضروری تولید وجود دارد یا در مواردی که هزینه‌های مربوط به این منبع بیش از اندازه بالاست، کم آبیاری می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد افزایش سودآوری مطرح گردد. همچنین، این روش می‌تواند به‌منظور نیل به بیشترین تولید یا توسعه‌ی پایدار منطقه‌ای فرآورده‌های کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد(اینگلیش و راجا، ۱۹۹۶).

روش کم آبیاری به‌طور گسترده‌ای، به‌ویژه در نواحی مواجه با کم آبی، مورد استفاده قرار گرفته است. برای نمونه، می‌توان به هند اشاره نمود. در این کشور، مساحت زمین‌های دچار کم آبی در حدود یک میلیون کیلومترمربع می‌باشد. در این اراضی، اغلب برنامه‌های آبیاری برای آبیاری به‌صورت کامل طراحی شده‌اند. با وقوع خشکسالی، آبیاری در این مناطق به‌صورت آبیاری محافظتی انجام می‌شود. هدف آبیاری محافظتی آن است که عرضه‌ی آب به منظور حفاظت از گیاهان در برابر نابودی کامل، نه برای تأمین نیاز آبی گیاه زراعی، صورت پذیرد. هدف غایی در این نوع آبیاری گسترش سودهای حاصل از آبیاری به شمار بیشتری از کشاورزان بوده است(اینگلیش و راجا، ۱۹۹۶).

اهمیت استفاده از این روش، باعث شده است که در دهه‌ی گذشته تحقیقات مختلفی در مورد فراورده‌های گوناگون کشاورزی در ارتباط با آن صورت پذیرد. ژانگ و پی (۱۹۹۹)، در تحقیقی هشت ساله در دشت‌های شمال چین، همزمان با یک دوره‌ی خشکسالی، ارقام بومی گندم زمستانه را از نظر شمار و اندازه‌ی آبیاری تحت مدیریت قرار دادند. نتایج نشان داد که نه تنها بالاترین عملکرد با دفعات زیاد آبیاری محقق نمی‌شود، بلکه با افزایش آب آبیاری به بالاتر از ۴۵۰ میلی‌متر، عملکرد با کاهش مواجه خواهد شد. سالمی و افیونی(۲۰۰۵) واکنش ارقام جدید و تجارتی گندم و یک خط امیدبخش به تیمارهای مختلف کم آبیاری را شامل ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰٪ تبخیر- تعرق گندم در اصفهان مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان دادند که در تیمار ۶۰٪ تبخیر-تعرق، رقم M – ۷۳ – ۱۸ دارای بالاترین بازده‌ی مصرف آب بوده و بعد از این رقم، ارقام پیشتاز و تلاقی برگشتی روشن بیشترین بازده را دارا بوده‌اند. از این رو، ارقام مذکور تحت مدیریت ۴۰٪ کسر آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک، بر سایر ارقام برتری دارند.

نتایج مطالعه‌ی توکلی(۲۰۰۳) بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم آبی رقم الموت در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه نشان داد که با اعمال ۶۶٪ آبیاری کامل بیشترین کارآیی مصرف آب در این رقم به‌دست می‌آید. جلیلیان و همکاران(۲۰۰۱) نیز جهت تعیین مصرف بهینه‌ی آب در چغندرقند تحقیقی را در چهار سطح ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۵۰٪ نیاز آبی کامل گیاه در ایستگاه تحقیقات کشاورزی ماهیدشت کرمانشاه اجرا کردند. تجزیه و تحلیل اقتصادی نتایج نشان داد که مصرف ۸۰٪ نیاز آبی بیشترین سود

[1] Deficit Irrigation
[2] Water Use Efficiency

خالص را دارد. عرب‌زاده و توکلی(۲۰۰۵) آزمایشی را در مورد برنج رقم طارم در مازندران(آمل) به اجرا درآوردند. نتایج این آزمایش نشان داد که بازده‌ی مصرف آب و بهره‌وری از آب آبیاری به اضافه‌ی بارش، در تیماری که در تمام مراحل رشد خاک در وضعیت اشباع است، نسبت به تیمار غرقاب دایم در سرتاسر دوره‌ی رشد(تیمار شاهد)، بیشتر است. در تیمار اول، با ۴۲٪ کاهش آب مصرفی نسبت به شاهد، تنها ۱۰٪ کاهش عملکرد در واحد سطح ایجاد شد؛ در نتیجه، در کشت نشایی، نیازی به وجود ارتفاع آب در سطح شالیزارها نبوده و اشباع دایم خاک کفایت می کند.

انصاری و همکاران(۲۰۰۶) دریافتند که به‌طور متوسط، به ازای ۱٪ کاهش حجم آب نسبت به سطح آبیاری کامل، ۱/۴٪ کاهش در عملکرد ذرت زودرس نسبت به این سطح در ورامین رخ می‌دهد. نتایج مطالعه‌ی اسماعیلی و گلچین (۲۰۰۵) در استان زنجان در مورد آفتابگردان نشان دادند که با اعمال کم آبیاری، سود خالص تنها ۳۳٪ نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت، در صورتی که با استفاده از آب صرفه‌جویی شده و افزایش سطح زیر کشت، سود خالص نهایی حدود ۷۵٪ بیشتر از تیمار آبیاری کامل حاصل گردید. توکلی(۲۰۰۶) گزارش داد که تیمار بهینه‌ی کم آبیاری در مورد گندم در مراغه، زمانی می‌تواند توصیه شود که هزینه‌ی آب و آبیاری کمتر از ۲۶۹۰ ریال برای هر مترمکعب آب مصرفی باشد. صبوحی و همکاران(۲۰۰۶) نیز با هدف بیشینه‌سازی منافع اجتماعی و با در نظر گرفتن ۴۵ تنش متفاوت در مراحل مختلف رشد محصولات زراعی، به انجام مطالعه‌ای در خراسان پرداختند. نتایج نشان داد که تخصیص بهینه‌ی آب آبیاری در سطح مزرعه زمانی اتفاق می‌افتد که بازده‌ی نهایی آب در مراحل مختلف رشد گیاهان کشت شده در مزرعه برابر باشد. با کاهش خطر کردن در مقدار آب آبیاری در دسترس و افزایش کارایی در مصرف آب آبیاری در سطح مزرعه، سود خالص اجتماعی افزایش می‌یابد.

بیشتر مطالعات صورت گرفته درباره‌ی کم آبیاری به‌منظور ارتقاء کارایی مصرف آب به انجام آزمایش‌های تک‌محصولی و فارغ از درنظرگرفتن محدودیت آب حاکم بر الگوی کشت بوده است. از آن‌جا که آب درکشورهای خشک یا نیمه‌خشکی چون ایران از مهم‌ترین عوامل محدودکننده‌ی توسعه‌ی کشاورزی به شمار می‌آید، مدیریت مناسب آن بر سایر نهاده‌های یک مزرعه از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. با داشتن این فرض که می‌توان با اعمال کم آبیاری به سمت یک راهبرد بهینه‌ی استفاده از منابع آب پیش رفت، اهمیت انجام این مطالعه روشن خواهد شد. به این ترتیب، هدف از مطالعه‌ی حاضر تعیین راهبرد آبیاری مناسب در شرایط کم آبی برای تولید فرآورده‌های کشاورزی در فضای یک الگوی بهینه‌ی زراعی بوده است.

از آن جا که فارس، یکی از استان‌های مهم کشور در تولید محصولات کشاورزی به شمار می‌رود، مطالعه‌ی حاضر در استان مزبور صورت گرفت. استان فارس با حدود ۹ میلیون تن محصولات زراعی و باغی، مقام اول تولید کشور را در این زمینه دارا بوده و نیاز غذایی بیش از ۱۲٪ جمعیت کشور را تامین می کند(بی نام، ۲۰۰۵). به این دلیل، در سطح این استان بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی روند صعودی داشته و برخی مناطق آن شرایطی بحرانی را پیدا کرده‌اند. آنچه مسلم است با افزایش تمایل زارعین به توسعه‌ی کشت محصولات زراعی، تقاضا برای حفر چاه‌های جدید و کشیدن بیشتر آب از چاه‌های موجود، افزایش می‌یابد. دلیل این زیاده‌روی، اولویت اتکای اقتصاد و معیشت در استان فارس به بخش کشاورزی است، به گونه‌ای که بیش از ۹۵٪ از آب در استان فارس در بخش مزبور مصرف می‌شود(بی‌نام، ۲۰۰۸ ب). آمارهای موجود نشان می‌دهد که حجم بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی بیش از ظرفیت تجدید آنها می‌باشد. این برداشت اضافی باعث کاهش ذخیره‌ی آب شمار زیادی از دشت‌های استان گردیده است. لذا هرگونه مطالعه‌ای که بتواند موجب کاهش مصرف آب و رهایی از بحران شود، ضرورت دارد.

مواد و روش‌ها

مطالعه‌ی آماری و بررسی‌های ایستگاهی

استان فارس با وسعت ۱۲۶۴۸۹ کیلومترمربع یکی از استان‌های پهناور و مهم ایران محسوب می‌شود. از نظر آب و هوایی، استان فارس دارای تنوع اقلیمی گسترده‌ای است و همین تنوع موجب گردیده که از نظر تولیدات و محصولات کشاورزی، دارای گوناگونی فراوانی باشد. استان فارس به پنج اقلیم مختلف نیمه صحرایی خشک و گرم،

مدیترانه‌ای، ترکیب مدیترانه‌ای و کوهستانی سرد، صحرایی خشک و گرم و ترکیب مدیترانه‌ای و نیمه‌صحرایی گرم تقسیم گردیده است(حیاتی، ۱۹۹۵). سه نوع اقلیم صحرایی گرم، مدیترانه‌ای و کوهستانی سرد بیش از ۹۰٪ از نواحی استان فارس را در برگرفته‌اند. از آن‌جا که اقلیم صحرایی گرم، بیش از سایر اقلیم‌ها تحت تاثیر تنش‌های آبی قرار می‌گیرد، شهرستان فسا در اقلیم مزبور به‌عنوان منطقه‌ی مورد مطالعه انتخاب گردید.

برنامه‌ریزی ریاضی به‌عنوان یک ابزار تحقیقاتی برای تصمیم‌گیری درمورد مسائل کشاورزی گوناگونی درسطح مزرعه و بخش استفاده می‌شود(هزل و نورتون، ۱۹۸۶). در مطالعه‌ی جاری، با هدف حداکثر کردن بازده‌ی برنامه‌ای[1] مزرعه‌ی نماینده در منطقه‌ی مورد مطالعه در چارچوب محدودیت‌های حاکم بر فضای تصمیم‌گیری، شبیه‌سازی در قالب برنامه‌ریزی ریاضی طراحی گردید. منافع خالص مزرعه در این شبیه وابسته به متغیرهای عملکرد، قیمت و هزینه‌های عملیاتی تولید محصولات است. در این شبیه، واحد سود، یا بازده‌ی برنامه‌ای، عبارت از ریال در هکتار است. از آن‌جا که مهم‌ترین هدف شبیه، بررسی امکان اعمال کم آبیاری بر الگوی زراعی منطقه‌ی مورد مطالعه است، در آن از توابع تولید آب و محصول[2] در مراحل مختلف تولید استفاده گردید. یکی از اشکال این توابع به شکل زیر می‌باشد(سلطانی و همکاران،۱۹۹۲):

$$\frac{Ya}{Yp}=\prod_{s=1}^{4}\left(\frac{ETa_s}{ETp_s}\right)_s^{Ky_s} \qquad (۱)$$

که در آن، Ya عملکرد واقعی، Yp عملکرد بالقوه، ETa_s مصرف خالص آب (تبخیر-تعرق) واقعی در sمین مرحله‌ی رشد گیاه، ETp_s مصرف خالص آب(تبخیر-تعرق) بالقوه در sمین مرحله‌ی رشد گیاه و Ky_s ضریب حساسیت محصولات نسبت به آب در sمین مرحله‌ی رشد گیاه است. دوره‌ی رشد به چهارمرحله‌ی رشد اولیه[3]، نمو گیاه[4]، مرحله‌ی میانی فصل رشد[5] و مرحله‌ی پایانی فصل رشد[6] تقسیم‌بندی می‌شود. رابطه‌ی عملکرد و مصرف آب به‌صورت یکنواخت در تمام مراحل رشد گیاه از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید(دورنباس و کاسام،۱۹۷۹):

$$\left(\frac{Ya}{Yp}\right)=\left(1-Ky\left(1-\frac{ETa}{ETp}\right)\right) \qquad (۲)$$

به این ترتیب در شبیه مطالعه‌ی جاری به‌منظور اعمال کم آبیاری و تعیین راهبرد کم‌آبیاری برای گیاه از رابطه‌ی ۲ در فضای سایر محدودیت‌ها و هدف‌های شبیه استفاده شده است. شکل کلی تابع هدف مورداستفاده به‌صورت زیر است:

$$Max: Z=\left[\sum_{i=1}^{n}X_i\left(\left(Y_iP_i\right)-\left(\sum_{j}^{m}C_{ij}R_j\right)\right)\right] \qquad (۳)$$

که در آن، X سطح زیرکشت، Y عملکرد، P قیمت، C و R مقدار مصرف و هزینه‌ی نهاده‌ی j برای محصول i است. این تابع هدف در فضای محدودیت‌های حاکم بر شبیه بیشینه می‌شود. از جمله مهم‌ترین محدودیت‌های مزرعه‌ی مورد مطالعه، زمین قابل کشت در افق‌های زمانی مختلف است. این محدودیت به‌صورت رابطه‌ی زیر بیان می‌شود:

$$\sum_{i}^{n}a_{ti}X_{\ i}\le B_t \qquad (۴)$$

که در آن، a ضریب فنی زمین موردنیاز برای کشت محصول i در t ماه و B بیشترین زمین قابل کشت در هر ماه است. به‌منظور متوازن کردن عملکرد پیش‌بینی‌شده‌ی محصول i براساس کل آب خالص مصرفی و عملکرد بالقوه‌ی محصولات در شبیه از رابطه‌ی ۵ استفاده شد:

$$Y_i=Yp_i\left(1-Ky_i\left(1-\frac{ETa_i}{ETp_i}\right)\right) \qquad (۵)$$

بایستی توجه کرد که در این رابطه، حجم آب مورد استفاده گیاه در تابع عملکرد پیش‌بینی شده(رابطه‌ی ۵) بایستی در محدوده‌ی نیاز آبی گیاه در آبیاری کامل برای حصول عملکرد بالقوه(ETp) و کمینه‌ی آب مورد نیاز گیاه برای ادامه‌ی حیات و عدم قرار گرفتن در تنش‌های معنی دار آبی (ETm)، قرار گیرد. این محدودیت به شکل رابطه‌ی زیر در شبیه لحاظ شد:

$$ETm_i\le ETa_i\le ETp_i \qquad (۶)$$

در فرایند تامین نیاز آبی گیاهان، بخش چشمگیری از آب به صورت فرونشت و تبخیر در مراحل انتقال، توزیع و

---

[1] Gross Margin
[2] Crop-Water Production Function (CWPF)
[3] Initial Growth
[4] Crop Development
[5] Mid-Growth Season
[6] Late Growth Season

کاربرد از دسترس گیاه خارج می‌گردد. علاوه بر آن، در شرایط اعمال کم آبیاری، میزان آب مصرفی گیاه از شرایط آبیاری کامل کمتراست، بنابراین، آب مصرف شده برای آبیاری گیاهان به صورت ناخالص می‌باشد. بر این اساس، لازم است که در روابط ۵ و ۶ مصارف خالص با لحاظ بازده‌ی کاربرد آب و درصد کم آبیاری اعمال شده مطابق رابطه‌ی زیر به مصرف ناخالص واقعی آب تبدیل گردند:

$$TW_i = \left(\frac{ETa_i}{EF_i} \right) D_i \qquad (۷)$$

$$D_i = \left(\frac{ETa_i}{ETp_i} \right) \qquad (۸)$$

در روابط ۷ و ۸، TWi کل آب مصرفی، EF بازده‌ی آبیاری و D درصد میزان آب خالص مصرفی نسبت به نیاز آبی خالص برای محصول i است. رابطه‌ی ۹، مجموع آب مصرفی محصولهای در ماه t را بر موجودی منابع آب در آن ماه (TW)، محدود می‌نماید.

$$\sum_{i}^{n} TW_{it} X_i \le TW_t \qquad (۹)$$

به منظور پاسخگویی به نیازهای خود مصرفی محصولهای مختلف به وسیله‌ی مزرعه‌ی نماینده، رابطه‌ی ۱۰ مجموع تولیدهای حاصل از حل شبیه برنامه ریزی را به نیاز به تولید محصول (SC) محدود می‌کند:

$$Y_i X_i \ge SC_i \qquad (۱۰)$$

در مجموع، روابط مربوط به شبیه مطالعه‌ی جاری، قیود و اطلاعات تکمیلی زیر نیز در نظر گرفته شده اند:

$$x_i \ge 0$$
$$\text{i= 1, 2, … , 5}$$
$$\text{j= 1,2, … , 5} \qquad (۱۱)$$
$$\text{t = 1, 2, …. , 12}$$

داده‌ها و اطلاعات موردنیاز این مطالعه، براساس آنچه متضمن رسیدن به اهداف آن بود، جمع‌آوری شدند. طبقه‌بندی اطلاعات جمع‌آوری شده به‌صورت زیر می‌باشد:

۱- الگوی کشت جاری محصولات: با استفاده از آمار سطح زیر کشت محصولات بر مبنای اطلاعات سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶(بی نام، ۲۰۰۸ الف) برای محصول عمده‌ی مورد کشت در شهرستان، به‌دست آمد.

۲- هزینه تولید و درآمد محصولات: اطلاعات متغیرهای برون‌زای مصرف نهاده‌ها، قیمت نهاده‌ها، عملکرد محصول و قیمت محصول با کاربرد روش نمونه‌گیری خوشه‌ای چندمرحله‌ای طبقه‌بندی شده[1] در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ و با استفاده از ابزار پرسشنامه، با مصاحبه‌ی حضوری با بهره‌برداران وارد شده در جمعیت نمونه‌ی مناطق مورد مطالعه، جمع‌آوری شدند.

۳- نیاز آبی و بازده‌ی مصرف آب برای محصولات مختلف: مبنای لحاظ این اطلاعات در الگوهای موردنظر، مطالعه‌ی علیزاده و کمالی(۲۰۰۷) در مناطق موردمطالعه و سند ملی آب کشور قرار داده شد.

۴- ضرایب حساسیت گیاهان نسبت به آب (Ky): از آن‌جا که این ضرایب در تحقیقات منطقه‌ای صورت گرفته تاکنون محاسبه نگردیده‌اند، اطلاعات موردنظر از نتایج تحقیقات دورنباس و کاساسم(۱۹۷۹) که قابل تعمیم به مناطق مختلف می‌باشند، به‌دست آمد.

۵- سابقه‌ی عملکرد و قیمت محصولات: این بخش بر اساس اطلاعات حاصله از وزارت جهاد کشاورزی، مرکز آمار ایران و سایر پایگاه‌های مرتبط و همچنین مطالعات میدانی در منطقه، جمع‌آوری گردید.

با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده، الگوریتم‌های لازم برای رسیدن به نتایج الگوی این مطالعه در بسته‌ی نرم‌افزاریGAMS نوشته شد(بروک و همکاران،۱۹۸۸). به دلیل غیرخطی بودن بعضی از روابط در شبیه مورد استفاده، از روش برنامه‌ریزی غیرخطی(NLP)[2] برای حل متغیرهای تصمیم، شامل حجم آب مورد استفاده، عملکرد و سطح زیرکشت محصولات مورد نظر در الگو استفاده شد. این شبیه به شیوه‌ی CONOPT برای ۳ راهبرد تامین ۱۰۰،۷۰ و۵۰٪ موجودی آب مزرعه‌ی نماینده، حل گردید.

نتایج

سطح زیر کشت کل محصولات زراعی شهرستان فسا در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ برابر با ۳۷۳۶۴ هکتار بود که از این مقدار ۳۷۲۴۴ هکتار به‌صورت آبی و ۱۲۰ هکتار به‌صورت دیم کشت شدند. محصول‌های مورد کشت در این اراضی

[1] Stratified Multi-Stage Cluster Sampling

[2] Nonlinear Programming

شامل گندم، جو، ذرت دانه‌ای، نخود، لوبیا، پنبه، کنجد، چغندرقند، بادمجان، پیاز، گوجه فرنگی، باقلا تازه، اسفناج، گشنیز، شود، کاهو، خربزه، هندوانه و یونجه با تولید کل ۲۸۲۸۴۳ تن محصول بودند. با این وجود، از کل سطح زیرکشت اراضی آبی، که حدود ۹۹/۷٪ از کشتزارهای این شهرستان را شامل می‌شدند، ۹۷/۱۵٪ در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ به کشت ۵ محصول گندم، جو، پنبه، ذرت و گوجه فرنگی اختصاص یافته بود(جدول ۱).

با توجه به اطلاعات عرضه شده در جدول ۱، فعالیت مزرعه‌ی نماینده‌ی مطالعه‌ی جاری بایستی در برگیرنده‌ی محصولات عمده‌ی کشت شده در منطقه باشد. بر این اساس، مجموع سطح محصولات گندم، جو، پنبه و گوجه فرنگی که از نظر زمان کشت و استفاده از منابع زمین و آب در رقابت با یکدیگر بودند، به‌عنوان بیشترین موجودی زمین قابل برنامه‌ریزی در نظر گرفته شد و سهم هریک از محصولات به‌صورت درصدی از این موجودی محاسبه گردید. از آن‌جا که ذرت به‌عنوان کشت جایگزین بعد از محصولاتی مانند گندم و جو در منطقه می‌باشد، سهم این محصول هم از موجودی زمین به‌صورت جداگانه حساب شد. به این ترتیب، نتایج ارائه شده برای متغیر تصمیم سطح زیرکشت در الگوهای زراعی پیشنهادی نیز به درصد بیان می‌شود. اطلاعات الگوی کشت جاری برای مزرعه‌ی نماینده‌ی در نظر گرفته شده در محدوده‌ی مطالعاتی در جدول ۲ مشاهده می‌شوند. بر اساس این جدول، تراکم کشت در مزرعه‌ی نماینده برابر با ۱۳۹٪ بود، که ۱۰۰٪ آن به کشت چهار محصول گندم، جو، پنبه و گوجه فرنگی و ۳۹٪ آن به کشت ذرت اختصاص داده شده بود. با در نظر گرفتن موجودی زمین معادل ۱ هکتار برای مزرعه‌ی نماینده و سهم سطح زیرکشت هر یک از محصولات نسبت به این مقدار زمین، درآمد خالص در حدود ۱۳۱۷۳ هزار ریال در هکتار با لحاظ عملکرد جاری محصول‌ها در جدول، به‌دست آمد.

درآمد حاصله برای مزرعه‌ی نماینده، در چارچوب محدودیت‌های حاکم بر آن، به‌خصوص محدودیت آب، قابل دستیابی بود. جدول ۳، اطلاعات مربوط به مصرف و موجودی منابع آب برای این مزرعه را نشان می‌دهد. براساس این جدول، کشاورز نماینده با اعمال کم آبیاری برای محصول‌های مختلف و داشتن بازده‌ی کاربرد آب معادل ۴۶٪، سعی در بیشینه کردن استفاده از ۲۲۶۷۸ مترمکعب آب در دسترس برای یک هکتار موجودی زمین در الگو می‌باشد. اطلاعات این جدول نشان می‌دهد که محصول‌های در نظر گرفته شده در الگو، قابلیت افزایش عملکرد تا سطح عملکرد را بالقوه، با فرض ثابت بودن سایر شرایط و تامین نیاز آبی کامل گیاهان، دارا می‌باشند.

با اجرای الگوی برنامه‌ریزی مطالعه‌ی جاری، الگوی بهینه‌ی مزرعه با فرض امکان تامین ۱۰۰٪ موجودی آب مزرعه نسبت به شرایط جاری مطابق جدول ۴ به‌دست آمد. براساس جدول مزبور در این شرایط، الگوی برنامه‌ریزی کاهش سطح محصولات گندم، جو و پنبه و ثبات سطح گوجه فرنگی در کشت اول و همچنین کاهش کمی در سطح زیر کشت، گوجه‌فرنگی را به‌عنوان الگوی بهینه درنظر گرفته است. از آن‌جا که هدف بیشینه کردن منافع خالص مزرعه بود، الگوی بهینه‌ی کاهش سطح محصولات را با حذف کم آبیاری و انجام آبیاری کامل و در نتیجه رساندن الگو به عملکرد بالقوه، جبران کرده است. حاصل این عمل افزایش ۲۰٪ در درآمد خالص منطقه توام با کاهش ۳۵ درصدی در تراکم کشت محصول‌ها به دلیل شرایط وجود محدودیت آب برای شبیه بوده است.

جدول ۱ – سطح زیرکشت، عملکرد و فراوانی سطح محصولهای زراعی شهرستان فسا.

محصول	سطح زیر کشت(هکتار)	عملکرد(کیلوگرم)	فراوانی از کل (درصد)	فراوانی تجمعی(درصد)
گندم	۲۲۹۷۲	۵۱۱۹	۶۱/۶۸	۶۱/۶۸
جو	۱۵۱۳	۲۹۹۲	۴/۰۶	۶۵/۷۴
پنبه	۶۵۳	۳۴۳۵	۱/۷۵	۶۷/۵۰
ذرت دانه ای	۱۰۱۵۳	۹۰۵۴	۲۷/۷۶	۹۴/۷۶
گوجه فرنگی	۸۹۱	۵۶۸۱۴	۲/۳۹	۹۷/۱۵
سایر محصولها	۱۰۶۲	-	۲/۸۵	۱۰۰/۰۰
جمع کل	۳۷۲۴۴		۱۰۰/۰۰	

جدول ۲ – الگوی کشت و درآمد خالص مزرعه‌ی نماینده در وضعیت جاری.

محصول	گندم	جو	پنبه	ذرت	گوجه فرنگی	کل
سطح زیر کشت (درصد)	۸۸	۶	۳	۳۹	۳	۱۳۹
عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	۵,۱۱۹	۲,۹۹۲	۳,۴۳۵	۹,۰۵۴	۵۶,۸۱۴	-
تولید (کیلوگرم)	۴,۵۱۸	۱۷۴	۸۶	۳,۵۳۲	۱,۹۴۵	۱۰,۲۵۴
قیمت (ریال در کیلوگرم)	۲,۸۸۱	۱,۹۶۴	۶,۹۲۷	۲,۲۰۹	۱,۰۲۶	-
هزینه (ریال در هکتار)	۵,۲۹۱,۵۴۰	۴,۴۴۹,۴۰۰	۱۳,۵۱۰,۴۴۰	۱۰,۰۳۸,۴۹۰	۴۰,۶۸۴,۳۳۰	-
درآمد ناخالص در الگو(۱۰۰۰ ریال در هکتار)	۱۳,۰۱۴	۳۴۲	۵۹۷	۷,۸۰۱	۱,۹۹۶	۲۳,۷۴۹
هزینه در الگو (۱۰۰۰ ریال در هکتار)	۴,۶۷۰	۲۵۹	۳۳۹	۳,۹۱۶	۱,۳۹۳	۱۰,۵۷۶
در آمد خالص در الگو (۱۰۰۰ ریال در هکتار)	۸,۳۴۴	۸۳	۲۵۸	۳,۸۸۵	۶۰۳	۱۳,۱۷۳

جدول ۳ – اطلاعات مربوط به تابع عمکرد محصول نسبت به آب و مصرف آب در الگوی کشت جاری.

محصول	شاخص	گندم	جو	پنبه	ذرت	گوجه فرنگی
عملکرد بالقوه (کیلوگرم)	Yp	۷۸۰۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۹۸۰۰	۷۰۰۰۰
عملکرد واقعی (کیلوگرم)	Ya	۵۱۱۹	۲۹۹۲	۳۴۳۵	۹۰۵۴	۵۶۸۱۴
ضریب حساسیت گیاه به آب	Ky	۱/۰۵	۱/۰۵	۰/۸۵	۱/۲۵	۱/۰۵
نیاز آبی خالص در عملکرد بالقوه (متر مکعب در هکتار)	Etp	۷۸۴۰	۵۹۲۰	۲۰۰۱۰	۱۲۹۷۰	۱۵۱۲۰
آب مصرفی در عملکرد واقعی (مترمکعب در هکتار)	Eta	۵۲۴۹	۴۴۹۰	۱۴۵۶۳	۱۲۱۷۴	۱۲۳۹۴
بازده ی کاربرد آب (درصد)	E	٪۴۶	٪۴۶	٪۴۶	٪۴۶	٪۴۶
کم آبیاری نسبت به سطح آبیاری کامل (درصد)	D	٪۶۷	٪۷۶	٪۷۳	٪۹۴	٪۸۲
آب نا خالص مصرفی (مترمکعب در هکتار)	TW	۱۱۴۱۱	۹۷۶۱	۳۱۶۵۸	۲۶۴۶۵	۲۶۹۴۴
سطح زیر کشت (هکتار)	X	۰/۸۸	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۳۹	۰/۰۳
آب مصرفی ناخالص در الگو (مترمکعب)۱	X*TW	۱۰۰۷۱	۵۶۷	۷۹۴	۱۰۳۲۳	۹۲۲

۱- با احتساب سطح زیر کشت، کل آب مصرفی در مزرعه‌ی نماینده برابربا ۲۲,۶۷۸ مترمکعب می‌باشد.

جدول ۴ – اطلاعات الگوی کشت بهینه و مصرف آب آن در شرایط سطح تامین ۱۰۰ درصد موجودی آب مزرعه‌ی نماینده.

محصول	گندم	جو	پنبه	ذرت	گوجه فرنگی	کل
سطح زیر کشت (درصد)	۵۹	۴	۱	۳۷	۳	۱۰۴
عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	۷,۸۰۰	۴,۰۰۰	۴,۵۰۰	۹,۸۰۰	۷۰,۰۰۰	-
تولید (کیلوگرم)	۴,۶۰۹	۱۴۸	۵۶	۳,۶۰۳	۲,۲۹۸	۱۰,۷۱۴
قیمت (ریال در کیلوگرم)	۲,۸۸۱	۱,۹۶۴	۶,۹۲۷	۲,۲۰۹	۱,۰۲۶	-
هزینه (ریال در هکتار)	۵,۲۹۱,۵۴۰	۴,۴۴۹,۴۰۰	۱۳,۵۱۰,۴۴۰	۱۰,۰۳۸,۴۹۰	۴۰,۶۸۴,۳۳۰	-
درآمد ناخالص در الگو (۱۰۰۰ ریال)	۱۳,۲۷۸	۲۹۲	۳۹۱	۷,۹۵۸	۲,۳۵۸	۲۴,۲۷۵
هزینه در الگو (۱۰۰۰ ریال)	۳,۱۲۷	۱۶۵	۱۶۹	۳,۶۹۰	۱,۳۳۵	۸,۴۸۷
در آمد خالص در الگو (۱۰۰۰ ریال)	۱۰,۱۵۱	۱۲۶	۲۲۲	۴,۲۶۷	۱,۰۲۲	۱۵,۷۸۸
عملکرد واقعی (کیلوگرم)	۷۸۰۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۹۸۰۰	۷۰۰۰۰	-
آب مصرفی در عملکرد بالقوه (مترمکعب در هکتار)	۷۸۴۰	۵۹۲۰	۲۰۰۱۰	۱۲۹۷۰	۱۵۱۲۰	-
کم آبیاری نسبت به سطح آبیاری کامل (درصد)	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	-
آب نا خالص مصرفی (مترمکعب در هکتار)	۱۷۰۴۳	۱۲۸۷۰	۴۳۵۰۰	۲۸۱۹۶	۳۲۸۷۰	-
آب مصرفی ناخالص در الگو (مترمکعب)	۱۰۰۷۱	۴۷۸	۵۴۶	۱۰۳۶۵	۱۰۷۹	۲۲,۵۳۸

در صورتی که احتمال تامین تنها ۷۰٪ موجودی آب مزرعه نسبت به شرایط جاری وجود داشته باشد، الگوی بهینه‌ی مزرعه مبتنی بر اجرای الگوی برنامه‌ریزی مطالعه‌ی جاری، مطابق جدول ۵ به‌دست آمد. بر اساس جدول مزبور، در این شرایط الگوی برنامه‌ریزی تراکم کشت محصولات را به ۷۶٪ کاهش داده و اجازه‌ی اعمال کم آبیاری را برای تولید محصول گندم داده است، ولی همچنان، اعمال آبیاری کامل برای محصولات جو، پنبه، ذرت و گوجه فرنگی در شبیه لحاظ شده است. در این شرایط درآمد خالص در حدود ۲۱٪ کاهش یافته است.

مطالعات میدانی و اسنادی صورت گرفته نشان داد که در شرایط بحرانی‌تر از نظر تامین موجودی آب مزرعه‌ی نماینده، امکان کاهش این موجودی به نصف یا حتی کمتر نیز وجود دارد. از این رو، با اعمال یک راهبرد دیگر بر شبیه، الگوی بهینه‌ی مزرعه‌ی نماینده در شرایط امکان تامین ۵۰٪ موجودی آب نسبت به وضعیت جاری به دست آمد. جدول ۶ اطلاعات این الگو را نشان می‌دهد. مطابق این جدول، شرایط مزبور با حفظ تراکم ۷۰ درصدی محصولات و تنها کاهش ۶٪ نسبت به وضعیت تأمین ۷۰٪ موجودی آب، امکان بیشینه شدن درآمد خالص مزرعه وجود دارد. تمامی این ۶٪ کاهش در خصوص ذرت رخ داده است. در عین حال، به‌منظور حفظ این تراکم و لحاظ محدودیت آب، اعمال کم‌آبیاری برای تمامی محصولات درنظر گرفته شده است. در این شرایط، با لحاظ عملکرد حاصله، درآمد خالص مزرعه در الگوی بهینه‌ی پیشنهادی نسبت به شرایط جاری تقریباً نصف خواهد شد.

جدول ۵ – اطلاعات الگوی کشت بهینه و مصرف آب آن در شرایط سطح تامین ۷۰ درصد موجودی آب مزرعه‌ی نماینده.

محصول	گندم	جو	پنبه	ذرت	گوجه فرنگی	کل
سطح زیر کشت (هکتار)	۴۴	۳	۱	۲۶	۲	۷۶
عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	۷,۲۸۸	۴,۰۰۰	۴,۵۰۰	۹,۸۰۰	۷۰,۰۰۰	-
تولید (کیلوگرم)	۳,۲۱۶	۱۲۲	۵۶	۲,۵۱۲	۱,۳۸۹	۷,۲۹۶
قیمت (ریال در کیلوگرم)	۲,۸۸۱	۱,۹۶۴	۶,۹۲۷	۲,۲۰۹	۱,۰۲۶	-
هزینه (ریال در هکتار)	۵,۲۹۱,۵۴۰	۴,۴۴۹,۴۰۰	۱۳,۵۱۰,۴۴۰	۱۰,۰۳۸,۴۹۰	۴۰,۶۸۴,۳۳۰	-
درآمد ناخالص در الگو (۱۰۰۰ ریال)	۹,۲۶۴	۲۴۰	۳۹۱	۵,۵۴۹	۱,۴۲۵	۱۶,۸۶۹
هزینه در الگو (۱۰۰۰ ریال)	۲,۳۳۵	۱۳۶	۱۶۹	۲,۵۷۳	۸۰۷	۶,۰۲۱
در آمد خالص در الگو (۱۰۰۰ ریال)	۶,۹۲۹	۱۰۴	۲۲۲	۲,۹۷۶	۶۱۸	۱۰,۸۴۸
عملکرد واقعی (کیلوگرم)	۷۲۸۸	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۹۸۰۰	۷۰۰۰۰	-
آب مصرفی در عملکرد واقعی (مترمکعب در هکتار)	۷۳۴۹	۵۹۲۰	۲۰۰۱۰	۱۲۹۷۰	۱۵۱۲۰	-
کم آبیاری نسبت به سطح آبیاری کامل (درصد)	٪۹۴	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	-
آب نا خالص مصرفی (مترمکعب در هکتار)	۱۵۹۷۶	۱۲۸۷۰	۴۳۵۰۰	۲۸۱۹۶	۳۲۸۷۰	-
آب مصرفی ناخالص در الگو (مترمکعب)	۷۰۵۰	۳۹۳	۵۴۶	۷۲۲۸	۶۵۲	۱۵,۸۶۹

جدول ۶ – اطلاعات الگوی کشت بهینه و مصرف آب آن در شرایط سطح تامین ۵۰ درصد موجودی آب مزرعه‌ی نماینده.

محصول	گندم	جو	پنبه	ذرت	گوجه فرنگی	کل
سطح زیر کشت (هکتار)	۴۴	۳	۱	۲۰	۲	۷۰
عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	۵,۱۱۹	۲,۹۳۲	۳,۳۲۳	۹,۰۵۹	۵۸,۰۵۰	-
تولید (کیلوگرم)	۲,۲۵۹	۸۵	۴۲	۱,۷۶۷	۹۹۴	۵,۱۴۶
قیمت (ریال در کیلوگرم)	۲,۸۸۱	۱,۹۶۴	۶,۹۲۷	۲,۲۰۹	۱,۰۲۶	-
هزینه (ریال در هکتار)	۵,۲۹۱,۵۴۰	۴,۴۴۹,۴۰۰	۱۳,۵۱۰,۴۴۰	۱۰,۰۳۸,۴۹۰	۴۰,۶۸۴,۳۳۰	-
درآمد ناخالص در الگو (۱۰۰۰ ریال)	۶,۵۰۷	۱۶۷	۲۸۹	۳,۹۰۳	۱,۰۲۰	۱۱,۸۸۵
هزینه در الگو (۱۰۰۰ ریال)	۲,۳۳۵	۱۲۹	۱۶۹	۱,۹۵۸	۶۹۶	۵,۲۸۸
در آمد خالص در الگو (۱۰۰۰ ریال)	۴,۱۷۲	۳۸	۱۱۹	۱,۹۴۵	۳۲۳	۶,۵۹۷
عملکرد واقعی (کیلوگرم)	۵۱۱۹	۲۹۳۲	۳۳۲۳	۹۰۵۹	۵۸۰۵۰	-
آب مصرفی در عملکرد واقعی (مترمکعب در هکتار)	۵۲۴۹	۴۴۰۳	۱۴۰۰۷	۱۲۱۸۰	۱۲۶۵۱	-
کم آبیاری نسبت به سطح آبیاری کامل (درصد)	٪۶۷	٪۷۴	٪۷۰	٪۹۴	٪۸۴	-
آب نا خالص مصرفی (مترمکعب در هکتار)	۱۱۴۱۱	۹۵۷۳	۳۰۴۵۰	۲۶۴۷۸	۲۷۵۰۲	-
آب مصرفی ناخالص در الگو (مترمکعب)	۵۰۳۶	۲۷۸	۳۸۲	۵۱۶۴	۴۷۱	۱۱,۳۳۰

براساس اطلاعات جداول قبل، تعیین حجم کم آبیاری برای فرآورده‌های گوناگون متفاوت است. تعیین این حجم علاوه بر در نظر گرفتن محدودیت و حساسیت محصولات به کمبود آب، به درآمد نهایی و متعاقب آن قیمت سایه‌ای حاصل از اضافه شدن یک واحد آب و تغییر سطح زیرکشت محصول مورد نظر، بستگی دارد. در خصوص محدودیت آب، با مقایسه‌ی قیمت سایه‌ای آن در ماه‌های مختلف بین راهبردهای گوناگون تامین آب در جدول ۷، مشاهده می‌شود که عامل اصلی محدودکننده‌ی کشت محصولات، محدودیت آب در چهار ماه فروردین، خرداد، تیر و آبان است که این محدودیت در آبان، بیش از سایر ماه‌ها می‌باشد. با کاهش سطح تأمین موجودی آب به ۷۰٪ اولیه، قیمت سایه‌ای در فروردین، خرداد و تیر همچنان ثابت می‌ماند، ولی قیمت سایه‌ای آب در آبان افزایش می‌یابد، به این معنی که در آبان، در صورت امکان اضافه شدن هر مترمکعب آب، بازده‌ی برنامه‌ای در شرایط تامین ۱۰۰٪ موجودی اولیه، ۸۳۷۱ ریال افزایش یافته که این مبلغ در حالت تامین ۷۰٪ به ۱۲۴۷۸ ریال می‌رسد. با این وجود، در راهبرد تامین ۵۰٪ سطح موجودی آب شرایط الگوی کشت بهینه با تعیین متغیرهای تصمیم آب مصرفی و سطح زیرکشت به گونه‌ای تغییر می‌یابد که در آبان مجدداً قیمت سایه‌ای به ۸۵۲۸ ریال بر مترمکعب کاهش می‌یابد. این درحالی است که قیمت سایه‌ای آب در فروردین، خرداد و تیر نسبت به راهبرد ۵۰٪ سطح تامین افزایش می‌یابد.

همان‌گونه که گفته شد، تغییرات سطح زیرکشت محصولات به واکنش عملکرد آنها به مقدار آب مصرفی و درآمد نهایی حاصله از یک واحد آب مصرفی، نیز بستگی دارد. تحلیل این مقدار با بررسی قیمت سایه‌ای محدودیت‌های تابع واکنش محصول‌های مختلف به آب مطابق جدول ۸ صورت پذیرفت. براساس این جدول، در راهبردهای ۱۰۰ و ۷۰٪ سطح تامین آب عامل اصلی محدود کننده‌ی عملکرد محصولات جو، تا حدودی پنبه و به‌خصوص ذرت، حد بالای نیاز آبی این محصولات می‌باشد. در جداول گذشته مشخص شد که در این راهبردها، تامین نیاز آبی کامل (آبیاری کامل) محصولات در الگوی کشت بهینه پیشنهاد شده است. این مقدار درخصوص محصول ذرت نشان می‌دهد که درآمد نهایی حاصل از اضافه شدن هر مترمکعب به محدودیت حد بالای نیاز آبی در راهبردهای ۱۰۰ و ۷۰ به ترتیب، حدود ۴۳۸ و ۳۰۵ ریال می‌باشد. با توجه به این که در حالت سطح تأمین ۵۰٪، برای تمامی محصولات توصیه به کم

آبیاری صورت گرفته است، قیمت سایه‌ای این محدودیت در این راهبرد برای تمامی محصولات صفر است. بررسی قیمت سایه‌ای حد پایین تأمین آب نشان از این دارد که در اکثر موارد به جز در خصوص پنبه، در راهبرد ۵۰٪ سطح تامین آب، حجم مصرف آب توصیه شده در الگو تا پایین‌ترین سطح تامین آب از نظر آستانه‌ی تحمل گیاه توصیه نشده است.

اطلاعات جدول ۸ همچنین نشان می‌دهد درصورتی‌که امکان افزایش عملکرد بالقوه برای گندم وجود داشته باشد، به ازای هرکیلوگرم افزایش عملکرد در هکتار، بازده‌ی برنامه‌ای در حدود ۴۶۳ ریال افزایش خواهد یافت. این میزان برای گوجه فرنگی در راهبردهای ۱۰۰ و ۷۰ به ترتیب در حدود ۲۰ و ۱۲ ریال و برای سایر محصول‌های در شرایط راهبردهای در نظر گرفته شده در مزرعه‌ی نماینده برابر با صفر است.

جدول ۷ – مقایسه‌ی قیمت سایه‌ای آب در راهبردهای مختلف سطح تامین موجودی آب مزرعه‌ی نماینده.

(واحد : ریال بر مترمکعب)

ماه	سطح تامین موجودی آب		
	۱۰۰	۷۰	۵۰
فرودین	۶۵۵	۶۵۵	۱۵۳۳
اردیبهشت	۰	۰	۰
خرداد	۱۳۵۷	۱۳۵۷	۳۴۳۰
تیر	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۳۴۴۲
مرداد	۰	۰	۰
شهریور	۰	۰	۰
مهر	۰	۰	۰
آبان	۸۳۷۱	۱۲۴۷۸	۸۵۲۸
آذر	۰	۰	۰
دی	۰	۰	۰
بهمن	۰	۰	۰
اسفند	۰	۰	۰

جدول ۸ – مقایسه‌ی قیمت سایه‌ای محدودیت‌های تابع واکنش عملکرد محصول به آب در راهبردهای مختلف سطح تامین موجودی آب مزرعه‌ی نماینده.

محدودیت	سطح تامین آب (درصد)	گندم	جو	پنبه	ذرت	گوجه فرنگی
حد بالای نیاز آبی (ریال بر مترمکعب)	۱۰۰	۰.۰۰	۳۰.۳۶	۱.۰۳	۴۳۷.۹۱	۰.۰۰
	۷۰	۰.۰۰	۲۵.۰۱	۱.۰۳	۳۰۵.۳۶	۰.۰۰
	۵۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
حد پایین نیاز آبی (ریال بر مترمکعب)	۱۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
	۷۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
	۵۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۱۹.۷۱	۰.۰۰	۰.۰۰
عملکرد بالقوه (ریال بر کیلوگرم)	۱۰۰	۴۶۲.۸۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۱۹.۷۷
	۷۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۱۱.۹۵
	۵۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰

همچنین، برآوردهای دگرگونی بارش در دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نشانگر کم شدن اندازه‌ی بارندگی در نمایشنامه‌ی 20C3M به‌اندازه‌ی ۱۴٪ و زیاد شدن آن در نمایشنامه‌ی 1PTO2X به‌اندازه‌ی ۱۹٪ نسبت به دوره‌ی

گذشته می‌باشد. در این پیش‌بینی‌ها پراکنش باران سالانه در هر فصل، ناسازگاری چندانی با این سال‌ها ندارد، به گونه‌ای که بارش زمستان، پاییز و بهار همچنان در رسته‌های نخست، دوم و سوم هستند. افزایش بارش بیشتر در نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه رخ خواهد داد. بارش در فصل بهار بر روال کنونی خواهد بود و تابستان‌ها همچنان با بی‌بارانی روبرو است. گرم شدن تابستان و نبودن بارش در این فصل، نیاز آبی گیاهان مصرف آب در شهرها را افزایش خواهد داد. از این رو، برای فراهم ساختن آب در گستره‌های شهری و روستایی باید برنامه‌ریزی‌های همه‌سویه‌ای را به انجام رسانید.

نتیجه گیری و پیشنهادها

براساس نتایج به‌دست آمده از مقایسه‌ی الگوی زراعی جاری و بهینه در شرایط تامین آب برابر، می‌توان نتیجه گرفت که کشاورزان مزرعه‌ی نماینده در شهرستان فسا در انتخاب الگوی زراعی، ناکارا عمل می‌کنند. این مقایسه همچنین نشان داد که تصور کشاورزان بر استفاده از بیشینه‌ی زمین قابل کشت برای افزایش درآمد، به‌دلیل محدودیت موجودی آب اشتباه بوده و با اعمال آبیاری کامل و کاهش سطح زیرکشت برای رعایت محدودیت موجودی آب، امکان افزایش درآمد برای مزرعه‌ی نماینده وجود دارد. علاوه براین، می‌توان گفت که در زمان‌هایی که منطقه‌ی موردمطالعه مواجه با خشکسالی و بحران آب می‌شود که نتیجه‌ی آن محدودیت آب برای بخش کشاورزی است، بسته به شدت بحران و میزان محدودیت آب، نحوه‌ی تصمیم‌گیری برای تعیین راهبرد آبیاری و الگوی کشت متفاوت است. در شرایطی که این بحران تا کاهش سطح تامین آب به بیش از نصف آب موجود برسد، اتخاذ راهبرد کم آبیاری بهترین گزینه برای استفاده‌ی بهینه از زمین و کمینه‌ی آب موجود خواهد بود. در این خصوص، با تقبل کاهش عملکرد برای بعضی از محصول‌ها، و تغییرات سطح زیرکشت آنها، منطبق با قیمت سایه‌ای آنها می‌توان به کمینه‌ی کاهش در بازده‌ی برنامه‌ای منطقه دست یافت. در این حالت، تغییرات عملکرد ناشی از تنش‌های آبیاری متناسب و در پی آن، درآمد نهایی حاصل از واکنش محصول به مصرف هر واحد آب، تعیین کننده‌ی الگوی بهینه‌ی واقعی است که کمینه‌ی کاهش بازده برنامه‌ای را در پی داشته باشد.

بنابراین، پیشنهاد می‌شود که در تصمیم‌گیری برای تعیین الگوی کشت و اعمال راهبرد آبیاری در شرایط بحران آب، قبل از هرگونه اقدامی به تجزیه و تحلیل روش‌های کمینه کردن آثار منفی اقتصادی بحران آب، منطبق با روش اجرایی این مطالعه، پرداخته شود. این گونه اقدامات می‌توانند به‌عنوان سیاست مدیریت بحران خشکسالی در کوتاه‌مدت برای کشاورزان به‌شمار روند. درحالی که در بلندمدت می‌توان با برنامه‌ریزی‌های جامع‌تری به‌سوی کاربرد روش‌های آب‌اندوز و افزایش بازده‌ی آبیاری گام برداشته و با بیشینه کردن بهره‌وری استفاده از منابع آب موجود، زیان‌های ناشی از خشکسالی را به کمینه‌ی ممکن کاهش داد.

References:

1. Alizadeh, A. and Gh. Kamali, 2007. Crops Water Requirments in Iran. Emam Reza University, Mashhad. (in Persian).
2. Anonymous, 2005. National documents of Fars Province development in 4th 5-years development plan. Agricultural Planning, Economic and Rural Development Research Institute, Tehran. (in Persian)
3. Anonymous, 2008a. Crops Data Bank, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran. (in Persian)
4. Anonymous, 2008b. Regional Water Company of Fars Province, http:// www.frrw.ir. (in Persian)
5. Ansari, H., S.M. Mirlatifi, and A.A. Farshi, 2006. The Effect of Deficit Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Early Corn. Soil and Water Science, 20 (2): 338-348. (in Persian)
6. Arabzadeh, B. and A. Tavakoli, 2005. Optimal management of deficit irrigation for rice in transplanted (TP) farming. Journal of Agricultural Science and Natural Resources, 12(4): 11-20. (in Persian)
7. Brooke, A., D. Kendrick, and A. Meeraus 1988. GAMS: A users's guide. The Scientific Press, Redwood City, California.
8. Doorenbos, J., and A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. FAO Irrig. and Drain Paper No. 33, FAO, Rome, Italy.
9. English, M., and S.N. Raja 1996. Review perspective on deficit irrigation. Agricultural Water Management 32: 1-14.
10. Esmaeili, M. and A. Golchin, 2005. Economic analysis of deficit irrigation and its impact on seed yield and oil amount of two sunflower variety. Agricultural Science, 15(1): 121-135. (in Persian)
11. Haiati, D. 1995. Economic-Social and Farming-Producing Factors affecting the Technical Knowledge, Sustainable Agricultural Knowledge, Sustainability of Farming System among Wheat Farmers in Fars Province. M.sc thesis, Agricultural College, Shiraz University. (in Persian)
12. Hazell, P.B.R., and R.D. Norton. 1986. Mathematical programming for economic analysis in agriculture. McMillan, New York.
13. Jalilian, A., A. Shirvanian, A. Nemati, and J. Basati, 2001. Effects of deficit irrigation on the production and economy of sugar beet in Kermanshah region. Journal of Sugar Beet, 17(1): 1-14. (in Persian)
14. Sabouhi, M., Gh. Soltani, M. Zibaei, and J. Torkamani, 2006. Specifying the proper deficit irrigation strategy in the goal of maximizing social benefits. Agricultural Economic and Development, 56:167-202. (in Persian)
15. Salemi, H. and D. Afiouni, 2005. The impact of deficit irrigation on grain yiled and yield components of several new wheat variety. Journal of Agricultural Science and Natural Resources, 12(3): 11-20. (in Persian)
16. Soltani, G.R., S. Pandey, and W.F. Musgrave. 1992. Problems of transferring crop-water production function Knowledge to developing countries. Water Resources Research 32: 95- 101.
17. Tavakoli, A. 2003. The impact of deficit irrigation and nitrogen on yield and yiled components of wheat. Scientific Journal of Agriculture, 26(2): 75-87. (in Persian)
18. Tavakoli, A. 2006. Estimation of wheat production function and optimization of deficit irrigation and nitrogen. Pajouhesh & Sazandegi 71: 25-33. (in Persian)
19. Zhang, X., and D. Pci 1999. Management of supplemeatal irrigation of winter wheat for maximum profit. In: Kirda, C., Moutonnet, P., Hera, C. and Nielsen, D. R. (Eds.) Crop yield response to deficit irrigation. Kluwer Academic Pub. Dordrecht, The Netherlands. 57-65.