تدوین ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی با تأکید بر افزایش کارایی مصرف آب (مطالعه موردی: مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین)

علیرضا علی‌پور، سید حبیب‌الله موسوی* و امین ارجمندی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲۳)

چکیده

تقویت جایگاه بهره‌وری و حفاظت از منابع محدود آب در زمینه تولیدات بخش کشاورزی به‌ویژه در زیربخش‌های زراعی وابستگی تنگاتنگی با تجدید نظر در رویکردهای سنتی نظام تولیدی در بخش کشاورزی کشورهای در حال توسعه دارد. این مطالعه با هدف تدوین ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین به‌عنوان یکی از واحدهای کشاورزی پیشتاز در بخش کشاورزی شهرستان ورامین با تأکید بر افزایش کارایی مصرف آب طراحی و اجرا شد. به این منظور، از آمار و اطلاعات دفتری این مجتمع کشاورزی در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در قالب تدوین الگوی برنامه‌ریزی ریاضی چندمعیاره استفاده شد. نتایج نشان داد که در شرایط بهینه تولید محصولات زراعی در این واحد، آرمان‌های حداکثر خالص انرژی تولیدی و افزایش سود سالیانه به‌عنوان آرمان‌های اقتصادی تا حد قابل توجهی با آرمان افزایش کارایی مصرف آب قابل جمع خواهد بود. بر این اساس، در شرایط بهینه خالص انرژی تولیدی به‌میزان ۱۰ درصد، سود ناخالص به‌میزان ۴ درصد و کارایی مصرف آب به‌میزان ۱۵ درصد افزایش می‌یابد. لذا، با توجه به نتایج به‌دست آمده پیشنهاد شد که به‌منظور دستیابی به آرمان‌های اقتصادی در مزارع مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین همزمان با تأکید بر افزایش کارایی مصرف آب، محصولات گندم، یونجه، قصیل جو و ذرت علوفه‌ای بر اساس مقادیر بهینه محاسبه شده در این مطالعه ترکیب اصلی الگوی کشت محصولات زراعی این واحد کشاورزی را تشکیل دهند.

واژه‌های کلیدی: ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی، کارایی مصرف آب، مدل برنامه‌ریزی چندمعیاره، مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین

۱. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
*:مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: shamosavi@modares.ac.i

مقدمه

تولید محصولات کشاورزی همواره در کشورهای مختلف دنیا دارای اهمیت قابل توجهی بوده است. قبل از وقوع انقلاب صنعتی، سهم کالاهای کشاورزی در کل کالاهای قابل مبادله در سطح جهان بسیار چشمگیر بود؛ با وقوع انقلاب صنعتی و ظهور دستاوردهای آن، نسبت مبادله کالاهای صنعتی به تولیدات کشاورزی افزایش یافت. با این حال، پس از گذشت سالیان متمادی از وقوع انقلاب صنعتی و پیشرفت‌های صنعتی در جهان، همچنان در بسیاری از کشورها به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، بسیاری از فعالیت‌های اقتصادی در بخش کشاورزی متمرکز شده است. علاوه بر این، کمبود مواد غذایی و محصولات کشاورزی از یک طرف و رشد جمعیت از طرف دیگر در این کشورها لزوم توجه ویژه آنان به بخش کشاورزی را مورد تأکید قرار داده است (۱۱).

لذا، مواردی همچون افزایش جمعیت، توسعه شهرنشینی، رشد بازده و تغییر الگوی مصرف غذایی از جمله عواملی هستند که لزوم توجه بیش از پیش به افزایش بهره‌وری تولیدات بخش کشاورزی کشورهای در حال توسعه و پایداری عوامل و منابع تولید کشاورزی را دو چندان کرده است. در بین منابع تولید محصولات کشاورزی، ارتقای بهره‌وری نهاده آب در تولید این محصولات از مسائل اساسی در کشورهای مختلف جهان و به‌خصوص کشورهای کم‌آب نظیر ایران محسوب می‌شود. ارتقای بهره‌وری نهاده آب علاوه بر اهمیت ذاتی خود سهم بسیار زیادی در بهبود بهره‌وری تولیدات کشاورزی و استفاده بهینه از سایر منابع تولید کشاورزی ایفا می‌کند (۱۳). با توجه به رشد جمعیت و محدود بودن آب‌های قابل استحصال از یک سو و از سوی دیگر اختصاص بخش قابل توجهی از منابع آبی قابل استفاده به بخش کشاورزی، تولید محصولات کشاورزی و تأمین امنیت غذایی در جهان با چالش تولید بیشتر محصولات به‌ازای مصرف آب کمتر مواجه است (۱). از این‌رو، به‌نظر می‌رسد که تقویت جایگاه بهره‌وری و حفاظت از منابع محدود آب در زمینه تولیدات بخش کشاورزی به‌ویژه در زیربخش‌های زراعی وابستگی تنگاتنگی با تجدید نظر در رویکردهای سنتی نظام تولیدی در بخش کشاورزی کشورهای در حال توسعه دارد. در این میان، مدیران واحدهای کشاورزی به‌عنوان بازوهای اجرایی سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی نیازمند دسترسی بیش از پیش به الگوهای برنامه‌ریزی نوین و روش‌های بهینه تولید محصولات هستند. علاوه بر این، توجه به محدودیت‌های مرتبط با موجودی منابع آبی در کنار محدودیت‌های اقتصادی در جریان تولیدات بخش کشاورزی از دیگر الزامات پیش روی مدیران واحدهای کشاورزی است (۲۸). با نگاهی نظام‌مند به بخش کشاورزی لزوم استفاده از روش‌های نوین و کارای برنامه‌ریزی، به‌گونه‌ای که بتوان کلیه عوامل مشابه و متضاد اثرگذار بر سیاست‌های بخش و آثار مختلف اقتصادی و غیراقتصادی آن را در مدل‌های مجزا برای زیر بخش‌های مختلف مورد ارزیابی قرار داد، مشخص می‌شود. با تلفیق این روش‌ها و ارجاع به آنها می‌توان الگوهای برنامه‌ریزی در بخش کشاورزی را به طریقی شبیه‌سازی کرد که تصمیم‌گیری در طول زمان و به‌ویژه در مواقع وقوع بحران همچون کمبود منابع آبی، سیل، تنزل‌های زیست‌محیطی، شوک‌های بازار و سایر مسائل مشابه تسهیل شود. لذا، به این منظور باید روشی را برای برنامه‌ریزی‌های بخش کشاورزی برگزید که بتواند روابط و آثار موجود میان کلیه فعالیت‌های درون‌بخشی را به‌طور همزمان و پویا در نظر گیرد. علاوه بر این، روش‌های برنامه‌ریزی در بخش کشاورزی بایستی در ضمن لحاظ کردن محدودیت‌های گوناگون بیرونی در زمینه تولیدات بخش کشاورزی همانند تأکیدات کشاورزی پایدار، بهینه‌ترین راه رسیدن به اهداف مختلف تولید را برای برنامه‌ریزان مشخص سازد (۹). یکی از مهم‌ترین منابع هدررفت ذخایر آبی در زمینه تولیدات زیربخش‌های کشاورزی به‌ویژه در زیربخش زراعت مرتبط با انتخاب و تعیین الگوهای نامتناسب تولید و استفاده از روش‌های مدیریت سنتی در این حوزه است؛ عبارت بالا از منظر علم اقتصاد بدان مفهوم است که بازده ناشی از تولید و عملکرد مدیران واحدهای زراعی در سطح مزارع آنان دارای تفاوت قابل ملاحظه‌ای از بیشینه تولید و عملکرد قابل استحصال

باشد و محدودیت‌های مرتبط با میزان مصرف آب در الگوهای برنامه‌ریزی آنان اعمال نشود. به بیان دیگر، در زمینه مصرف آب در جریان تولیدات کشاورزی عدم کارایی و نقصان عملکرد اقتصادی هنگامی اتفاق می‌افتد که در استفاده از روش‌های تولیدی موجود و در انتخاب ترکیبات تجاری، زیستی و فناوری تولید به‌صورت غیربهینه عمل شود. لذا، توجه بیش از پیش به روش‌های بهینه برنامه‌ریزی در مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی به‌ویژه در زیربخش زراعت نیازمند مراجعه به منابع تحقیقاتی مرتبط و انجام مطالعات موردی در مناطق مختلف و بحث و بررسی عالمانه در حوزه‌های مورد نیاز است (۲۶).

بهره‌گیری از روش‌های بهینه‌سازی تولید یکی از مؤثرترین روش‌های علمی در زمینه انجام برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با حوزه تولیدات بخش کشاورزی به‌شمار می‌رود. استفاده از روش‌های بهینه‌سازی محصولات کشاورزی علاوه بر تعیین و برآورد اهداف اقتصادی مورد نظر مدیران واحدهای کشاورزی، زمینه پرداخت مناسب و همزمان به اولویت‌های مربوط به بهره‌وری مصرف آب برای آنان را فراهم می‌کند. در این زمینه، استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی به روش ریاضی (Mathematical Programming Methods) یکی از گسترده‌ترین روش‌های علمی موجود در حوزه بهینه‌یابی‌های مورد نیاز برنامه‌ریزان در هنگام انتخاب و تعیین ترکیب مناسب محصولات زراعی تولیدی و تأمین دیدگاه‌های مختلف آنان محسوب می‌شود (۳). الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی از دیرباز مورد توجه مدیران و پژوهشگران و به‌ویژه اقتصاددانان در هنگام مواجهه با اهداف و محدودیت‌های گوناگون بر سر راه سیاست‌گذاری‌های مختلف بخش کشاورزی قرار داشته است. از این‌رو، استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی در تصمیم‌گیری‌های زیربخش زراعت کارکردهای فراوانی داشته است. با توجه به‌وجود محدودیت‌های متعدد و بعضاً متقابل و متضاد در موعد انجام برنامه‌ریزی‌های زیربخش زراعت، استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی چندمعیاره (Multiple-Criteria Decision Analysis) به‌منظور تسهیل بهره‌وری و دست‌یابی هدف‌مند به اهداف متنوع اقتصادی و غیراقتصادی از سوی بسیاری از پژوهشگران مورد توصیه و تأکید قرار داشته است. افزایش سودآوری و ارتقای پایداری منابع آبی تولیدات کشاورزی از جمله مهم‌ترین اهداف مورد توجه پژوهشگران در این زمینه بوده است (۴). لذا، با توجه به آنچه اشاره شد، مسئله تحقیق مطالعه حاضر عبارت از طراحی ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی با تأکید بر اولویت افزایش کارایی مصرف آب در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین است، در شرایطی که اولویت‌های اقتصادی نیز به‌صورت همزمان مورد توجه قرار گیرد. بدین منظور، در این مطالعه استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی چندمعیاره به سبب امکان هم‌پوشانی اولویت‌های اشاره شده مورد تأکید قرار گرفته است. در زمینه طراحی ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی با در نظر قرار دادن اهداف مختلف اقتصادی و کشاورزی پایدار و به‌صورت خاص اهداف مرتبط با کارایی و راندمان مصرف آب، تاکنون مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور انجام شده است که در بسیاری از آنها با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی چندمعیاره نتایج قابل توجهی گزارش شده است.

استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی با تأکید بر محدودیت مصرف آب به‌منظور بررسی ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی در حوزه زیر سد کوگا در کشور اتیوپی نشان داد که با در نظر گرفتن محدودیت منابع آبی و استفاده کارا از آب، سطح زیر کشت محصولات بیش از ۳۶ درصد افزایش خواهد یافت (۵).

همچنین، کاربرد برنامه‌ریزی خطی چندمنظوره فازی (Fuzzy Multiple-Criteria Linear Programming) به‌منظور مدیریت منابع آب کشاورزی استان گانسو (در شمال غرب چین) نشان داد که با تدوین الگوی بهینه کاشت محصولات زراعی در شرایط پایداری بیشتر منابع آبی، میزان سودآوری تولید این محصولات افزایش خواهد یافت (۲۷).

علاوه بر این، به‌کارگیری برنامه‌ریزی فازی کسری با اهداف چندگانه (Fuzzy Multiple-Criteria Fractional Programming) با هدف کاهش مخاطرات محیطی برای کشاورزی ایران نشان داد که نسبت خالص بازدهی درون‌مصرفی نهاده‌ها و نسبت مصرف

نهاده‌ها در مزرعه با استفاده از الگوی خروجی برنامه‌ریزی فازی کسری با اهداف چندگانه بهبود می‌یابد (۷). استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی (Goal Programming) به‌منظور تعیین ترکیب محصولات زراعی در روستاهای شمال شرقی هند که همزمان دارای بیشترین انرژی خالص تولیدی و بیشترین درآمد نقدی هستند، نیز نشان داد که اگر تأکید بر حداکثر کردن تولید محصولاتی باشد که بیشتر انرژی مورد نیاز آنها در خود روستا تأمین می‌شود، باید به سمت تولید محصولاتی که نهاده‌های آنها در خود روستا تهیه می‌شود، حرکت کرد (۲۶).

کاربرد رهیافت برنامه‌ریزی ریسکی موتاد (Motad Risk Programming) برای ارائه الگوی بهینه تولید محصولات زراعی با تخصیص آب برای دره اردن نشان داد که اگر ملاحظات ریسکی وارد مدل شود، به‌دلیل نبود نوسان‌های قیمت غلات در الگوی ریسکی سهم غلات افزایش می‌یابد (۸).

استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی اولویتی (Lexicographic Goal Programming (LGP)) برای بهینه‌سازی ترکیب محصولات زراعی با حفظ و پایداری محیط زیست در منطقهٔ الموت غربی نشان داد که با استفاده از روش مذکور می‌توان علاوه بر انتخاب الگوی مناسب و استفادهٔ بهینه از منابع این منطقه، در راستای افزایش درآمد کشاورزان و کاهش تخریب محیط زیست گام‌های مؤثری برداشت (۲۴).

تعیین ترکیب بهینه محصولات زراعی شهرستان سقز در سه ساختار و دو سطح اولویت اقتصادی و زیست‌محیطی با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی آرمانی نیز نشان داد که با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی، الگوی کشت با اولویت اقتصادی بیشترین درآمد ناخالص را ایجاد و بیشترین نیروی کار را مورد استفاده قرار می‌دهد (۳۰).

کاربرد روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای مقایسه الگوهای کشت بهینه محصولات زراعی در استان خراسان رضوی نشان داد که استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی و به‌ویژه الگوهای با اولویت‌های چندگانه دارای بازده‌های بیشتری نسبت به بازده موجود در الگوهای کشت معمول بوده است (۱۸).

استفاده از روش‌های مختلف برنامه‌ریزی آرمانی با لحاظ کردن منابع آب زیرزمینی به‌عنوان شاخص پایداری زیست‌محیطی به‌منظور تدوین ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی در شهرستان فریمان نشان داد که در ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی میزان مصرف آب را تا ۱/۲ میلیون مترمکعب در این شهرستان کاهش خواهد یافت (۲۲).

تعیین ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی شهرستان پیرانشهر با استفاده از برنامه‌ریزی کسری چندمعیاره فازی و اهداف کشاورزی نیز نشان داد که ترکیب بهینه کشت با استفاده از برنامه‌ریزی کسری چندهدفه فازی برای دست‌یابی به پایداری با ترکیب فعلی کشت اختلاف زیادی دارد. افزون بر این، استفاده از شاخص‌های پایداری (نسبت درآمد ناخالص به استفاده از کودهای شیمیایی و سموم مختلف) در تدوین الگوی بهینه کشت در این پژوهش نشان داد که لحاظ کردن ابعاد مختلف پایداری زیست‌محیطی در تدوین ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی دارای اهمیت قابل توجهی است (۳۰).

بررسی نتایج مطالعات انجام شده پیشین نشان می‌دهد که استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی و به‌ویژه کاربرد مدل‌های برنامه‌ریزی با اهداف چندگانه در زمینه طراحی و تدوین ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی در مناطق مختلف داخل و خارج از کشور کارایی قابل توجهی داشته است. با این وجود، نتایج بررسی ادبیات تحقیق در این زمینه نشان می‌دهد که حوزه اصلی مطالعات انجام شده در ارتباط با معرفی الگوهای بهینه کشت محصولات زراعی در بخش زراعت عمدتاً حول محور الگوهای بهینه برنامه‌ریزی در سطح دشت‌های وسیع و شهرستان‌ها و یا در سطح استان‌های مختلف متمرکز شده است؛ در عین حال، به‌نظر می‌رسد که ترویج و به‌کارگیری الگوهای بهینه برنامه‌ریزی تولید که به‌صورت همزمان به اولویت‌های اقتصادی و اولویت‌های مرتبط با کارایی مصرف آب و حرکت به سمت کشاورزی اقتصادی و پایدار بپردازد، نیازمند انجام مطالعات موردی در ابعاد ظریف‌تر برنامه‌ریزی و در سطح بنگاه‌های اقتصادی خرد و مقایسه تجارب آنها با یکدیگر است.

مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین از زیرمجموعه‌های سازمان اتکا است که به‌عنوان یکی از با قدمت‌ترین بنگاه‌های کشاورزی در سطح شهرستان ورامین محسوب می‌شود. این مجموعه بزرگ کشاورزی همه ساله با فعالیت در سطح وسیعی از اراضی زراعی شهرستان ورامین اقدام به انجام فعالیت‌های اقتصادی و اشتغال‌زا می‌کند. این مجموعه به‌دلیل وجود نیروهای انسانی آموزش‌دیده دانشگاهی و مجرب، همواره به‌عنوان منبع مراجعات ترویجی سایر کشاورزان در سطح شهرستان ورامین به‌شمار می‌رود. لذا، در این مطالعه با توجه به اهمیت پایداری منابع آب در زمینه طراحی الگوهای برنامه‌ریزی تولیدات زراعی، از مدل‌های برنامه‌ریزی چندمعیاره به‌منظور طراحی ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

روش برنامه‌ریزی ریاضی چندمعیاره در سال ۱۹۶۱ به‌وسیله چارنز و کوپر ابداع شد. در این روش فرض می‌شود که برنامه‌ریزان می‌توانند به‌طور صریح همه آرمان‌هایی که مربوط به یک برنامه‌ریزی آتی هستند را تعریف کنند. همچنین، در روش برنامه‌ریزی چندمعیاره اهداف مورد نظر به‌صورت کمی از طرف تصمیم‌گیرنده مطرح می‌شود و تمام قیدها و تابع هدف در قالب محدودیت‌ها بیان می‌شود. در این رویکرد، تابع هدف عبارت از به حداقل رساندن انحرافات از این آرمان‌ها و مقادیر موجود برای آن محدودیت‌ها است (۲۰).

یکی از کاربردی‌ترین رهیافت‌های موجود در اجرای روش برنامه‌ریزی چندمعیاره رهیافت برنامه‌ریزی آرمانی خطی با امکان تعیین اولویت برای اهداف، موسوم به روش برنامه‌ریزی آرمانی اولویتی (LGP) است. روش برنامه‌ریزی آرمانی اولویتی به برنامه‌ریز این امکان را می‌دهد که نه فقط برای اهداف تقدم در نظر بگیرد، بلکه تحقق یک هدف و سپس تحقق هدف دیگر را نیز انجام دهد (۲۵). در ساختار روش برنامه‌ریزی ریاضی آرمانی اولویتی، در ابتدا اهداف با تقدم بالاتر مورد توجه قرار گرفته و سپس اهداف دیگر با اهمیت پایین‌تر مورد توجه قرار می‌گیرند. با توجه به اهداف انجام مطالعات، چندین رویکرد مختلف برای حل مدل LGP وجود دارد. در این مطالعه از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی وزنی (Weighted Goal Programming (WGP)) برای برآورد مدل برنامه‌ریزی آرمانی اولویتی استفاده شده است. این رویکرد به سبب وجود آزادی عمل بیشتر برای تصمیم‌گیران در زمان تعیین تقدم نسبی اهداف، در میان پژوهشگران از مقبولیت بیشتری نسبت به سایر رویکردها برخوردار است. در رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی وزنی همه آرمان‌ها در یک تابع هدف توافقی قرار می‌گیرند و انحرافات ناخواسته بر اساس اهمیت نسبی هر اولویت نزد تصمیم گیرنده (در اینجا مدیران مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین) وزن داده شده و مدل مورد نظر به‌منظور دستیابی به اولویت‌های موجود حل می‌شود. شکل عمومی مدل برنامه‌ریزی چندمعیاره به‌صورت رابطه (۱) است (۲۵):

$$\begin{aligned} &\underset{\text{St.}}{\text{Min}} \\ &h_j(x_i) \le b_j \\ &f_i(x_i) + d_j^- - d_j^+ = w_j \\ &x, d_j^-, d_j^+ \ge ۰ \qquad , \quad d_j^- . d_j^+ = ۰ \end{aligned}$$

$$Z = \left\{ g_۱(d^+ d^-), g_۲(d^+ d^-), ..., g_n(d^+ d^-) \right\} \qquad (۱)$$

$$i = ۱,۲,۳,...,m$$
$$j = ۱,۲,۳,...,k$$

که در آن، g_n معرف آرمان n ام، b_j میزان موجودی عامل تولید j ام، $h_j(x_i)$ تابع منابع استفاده شده برای فعالیت‌های مختلف تولیدی، x_i متغیر تصمیم i ام (در اینجا سطح زیر کشت محصول)، w_j میزان آرمان مرتبط با عامل تولید j ام، $f_i(x_i)$ تابع هدف i ام حاصل از فعالیت‌های تولیدی و d_j^+ و d_j^- نیز به‌ترتیب متغیرهای انحراف مثبت و منفی از آرمان‌های مورد نظر هستند که مقصود تصمیم گیرنده بر حداقل‌کردن آنها است ولی در عمل ممکن است که به‌صورت کامل به سطح تمایل تعیین شده برای اهداف دست نیابد (۲۹). در مدل برنامه‌ریزی آرمانی دو دسته محدودیت شامل محدودیت ساختاری و محدودیت آرمانی وجود دارد. محدودیت ساختاری که در مدل بالا با عبارت $h_j(x_i) \le b_j$ نشان داده شده است، بر

محدودیت موجودی عوامل و نهاده‌های تولید در جریان تولیدات زراعی مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین اشاره می‌کند. محدودیت آرمانی که در مدل بالا با عبارت $f_i(x_i)+d_j^- - d_j^+ = w_j$ نشان داده شده است نیز به آرمان‌های مدنظر مدیران مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین با توجه به اولویت‌های بیان شده در این مطالعه اشاره می‌کند.

با توجه به اهداف مطالعه حاضر، آرمان‌های اقتصادی و کارایی مصرف آب در مدل مورد نظر با توجه به اهداف سالیانه مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین در روابط (۲) تا (۵) ذکر شده است:

الف) آرمان حداکثرسازی بازده برنامه‌ای (بازده ناخالص):

$$\sum c_i x_i + d_1^- - d_1^+ = g_1 \qquad (۲)$$

ب) آرمان حداکثرسازی به‌کارگیری زمین‌های زراعی در دسترس:

$$\sum x_i + d_2^- - d_2^+ = g_2 \qquad (۳)$$

پ) آرمان حداکثرسازی جریان خالص انرژی تولیدی:

$$\sum e_i x_i + d_3^- - d_3^+ = g_3 \qquad (۴)$$

ت) آرمان حداکثر کارایی مصرف آب:

$$\sum w_i x_i + d_4^- - d_4^+ = g_4 \qquad (۵)$$

در روابط بالا، آرمان‌های بند (الف) تا (پ) معرف اولویت‌های اقتصادی مدنظر مدیران مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین است که به‌ترتیب بر حداکثر کردن بازده ناخالص تولید محصولات زراعی، حداکثر کردن استفاده از زمین‌های زراعی قابل استفاده در این شرکت و حداکثر کردن جریان خالص انرژی تولید شده از محصولات زراعی این واحد کشاورزی تأکید می‌کند. در روابط فوق، ضرایب c_i و e_i به‌ترتیب بر میزان بازده ناخالص و میزان خالص انرژی تولیدی محصول زراعی i ام در هر هکتار تولید محصولات اشاره می‌کنند. علاوه بر این، آرمان بند (ت) نیز بر حداکثر کردن کارایی مصرف آب تأکید می‌کند. در رابطه (۵) ضریب w_i معرف شاخص شدت مصرف آب (Water Use Intensity) محصول زراعی i ام در هر هکتار تولید محصولات است که بر اساس رابطه (۶) از تقسیم میزان مصرف آب بر ارزش افزوده تولید هر محصول در هر هکتار به‌دست می‌آید (۱۷):

$$w_i = \frac{W_i}{V_i} \qquad (۶)$$

در رابطه (۶)، w_i نشان‌دهنده میزان آب مصرفی در هر هکتار تولید محصول زراعی i ام است و V_i نیز ارزش افزوده هر هکتار تولید هر محصول را نشان می‌دهد. این شاخص یکی از مهم‌ترین شاخص‌های محاسبه کارایی مصرف انواع انرژی از جمله آب محسوب می‌شود. لذا، هر چه این ضریب کمتر باشد، کارایی مصرف آب در هر هکتار تولید محصولات بالاتر خواهد بود (۱۷). به بیان دیگر، رابطه (۶) بیان می‌کند که هر واحد از ارزش افزوده تولید محصولات زراعی در هر هکتار از مزارع مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین به چه میزان مصرف آب نیازمند است. با توجه به عبارت بالا، افزایش ارزش تولید محصولات به‌ازای هر واحد آب مصرفی به مفهوم افزایش کارایی مصرف آب خواهد بود. همچنین، کاهش مصرف آب به‌ازای میزان مشخصی از ارزش افزوده تولید محصولات زراعی نیز به مفهوم افزایش کارایی مصرف آب خواهد بود. به‌صورت کلی در رابطه با ارزیابی تغییرات کارایی مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی دو رویکرد محاسباتی وجود دارد. در رویکرد اول که به رویکرد نهاده‌گرا (Input Oriented) موسوم است، افزایش کارایی مصرف آب به مفهوم کاهش مصرف آب به‌ازای تولید میزان مشخصی از محصولات است. در رویکرد دوم که به رویکرد محصول‌گرا (Output Oriented) موسوم است، افزایش کارایی مصرف آب به مفهوم افزایش تولید محصولات به‌ازای میزان مشخصی از نهاده آب است (۲۳). در رابطه با شاخص شدت مصرف آب بایستی اشاره کرد که این شاخص بیانگر ارتباط بین میزان آب مصرفی و بازده ناخالص ایجاد شده ناشی از هر واحد مصرف آب است. بنابراین، شاخص شدت مصرف آب به معنای مقدار آب مصرف شده به‌ازای هر واحد بازده اقتصادی ایجاد شده است. لذا، هر چه این شاخص در رابطه با محصولات زراعی مورد نظر مقدار کوچک‌تری داشته باشد، کارایی مصرف آب

در تولید آن محصولات بیشتر خواهد بود. در ادبیات تحقیق کارایی مصرف آب به معکوس شاخص شدت مصرف آب شاخص بهره‌وری آب (Water Productivity (WP)) اطلاق می‌شود. بنابراین، کوچک‌تر بودن شاخص شدت مصرف آب معادل با بزرگ‌تر بودن شاخص بهره‌وری آب بوده و درنهایت به مفهوم بزرگ‌تر بودن شاخص کارایی مصرف آب است (۱۵). از این‌رو، همان‌طور که اشاره شد به‌منظور افزایش کارایی مصرف آب یا بایستی میزان آب مصرفی به‌ازای هر واحد بازده ناخالص به‌دست آمده حداقل شود و یا میزان بازده ناخالص ایجاد شده به‌ازای هر واحد آب مصرف حداکثر شود. لذا، در این مطالعه، به‌منظور تأکید بر حداقل‌سازی شدت مصرف میزان آب در دسترس و بهینه‌سازی این فرایند با توجه به اولویت‌های سالیانه سازمان اتکا در طراحی ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین مبنی بر افزایش بهره‌وری از منابع آبی در دسترس و امکان مقایسه آن با شرایط معمول این واحد کشاورزی، رویکرد محصول‌گرا در دستور کار قرار گرفته است. درنهایت، با استفاده از رابطه (۵) آرمان میزان کارایی مصرف آب در الگوی بهینه تولید محصولات زراعی مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین با حداقل کردن شاخص کل شدت مصرف آب برای کلیه محصولات زراعی ($g_۴$) مورد تأکید قرار می‌گیرد. محدودیت‌های ساختاری مدل استفاده شده در این مطالعه نیز در قالب روابط (۷) تا (۱۱) معرفی شده است که بر محدودیت موجودی عوامل متغیر تولید اشاره می‌کند:

ج) محدودیت موجودی آب در دسترس:

$$\sum h_w x_i \le b_w \qquad (۷)$$

د) محدودیت موجودی ماشین‌آلات:

$$\sum h_m x_i \le b_m \qquad (۸)$$

و) محدودیت موجودی کودهای شیمیایی:

$$\sum h_f x_i \le b_f \qquad (۹)$$

هـ) محدودیت موجودی سموم علف‌کش:

$$\sum h_h x_i \le b_h \qquad (۱۰)$$

ی) محدودیت موجودی سموم آفت‌کش:

$$\sum h_p x_i \le b_p \qquad (۱۱)$$

در روابط بالا، h معرف میزان مصرف هر عامل تولید در هر هکتار و b معرف میزان موجودی هر عامل تولید است. با توجه به مطالب ارائه شده، در این مطالعه مدل برنامه‌ریزی چندمعیاره با ترکیب اولویت‌های اقتصادی و کارایی مصرف آب به روش WGP حل شد و نتایج به‌دست آمده مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اولویت‌های مدنظر مدیران مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین، مهم‌ترین هدف اقتصادی آنان عبارت از حداکثرسازی بازده برنامه‌ای تولید محصولات زراعی در این واحد کشاورزی بوده است. لذا، برای حداکثرسازی بازده ناخالص، بایستی انحراف منفی از این آرمان ($d_۱^-$) در مدل مورد نظر حداقل شود. همچنین، در آرمان به‌کارگیری زمین‌های زراعی در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین بایستی انحراف منفی از آرمان حداکثر زیر کشت بردن زمین‌های زراعی ($d_۲^-$) حداقل شود. آرمان مهم اقتصادی دیگر شامل حداکثرسازی جریان خالص انرژی تولیدی است. در این مورد بایستی اشاره کرد که هر کدام از نهاده‌های متغیر مورد استفاده در تولید محصولات زراعی حاوی میزان ثابتی انرژی هستند که در جریان تولید، مصرف آنها منجر به محصول نهایی می‌شود. به عبارت بهتر، با مصرف هرکدام از نهاده‌های تولید میزان مشخصی انرژی در جریان تولید محصولات زراعی مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین مصرف می‌شود که در مجموع سبد انرژی ورودی برای تولید محصولات زراعی این واحد را تشکیل می‌دهند. از طرف دیگر، محصولات زراعی تولیدی نیز هرکدام حاوی میزان مشخصی از انرژی هستند که تجمیع آنها سبد انرژی خروجی ناشی از تولید این محصولات را تشکیل می‌دهند. از این‌رو، جریان خالص انرژی تولیدی عبارت از تفاضل مجموع انرژی ورودی از مجموع انرژی خروجی در جریان تولید محصولات زراعی است. برای تبدیل واحد محصولات زراعی تولید شده به واحد انرژی از ضرایب تبدیل انرژی معرفی شده در مطالعه هاتیرلی و همکاران (۱۴) و برای

جدول ۱. اطلاعات آماری مربوط به محصولات زراعی مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین در هر هکتار

متغیر / محصول	گندم	کلزا	قصیل جو	یونجه	ذرت علوفه‌ای
بازده ناخالص (ریال)	۳۳۷۳۵۲۰۰	۱۰۸۷۵۰۰۰	۹۳۳۵۵۰۰	۳۰۰۰۳۸۸۹	۴۰۷۳۷۱۰۵
انرژی خالص (مگاژول)	۴۶۲۰۶	۲۱۶۰۹	۲۲۲۴۹۷	-۱۵۶۳۹	۴۳۹۶۱۸
شدت مصرف آب (مترمکعب بر ریال)	$۷/۳\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۰۰۱	$۷/۰۵\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲
مصرف آب (مترمکعب)	۵۴۷۲	۴۷۵۲	۲۵۹۲	۸۰۶۴	۱۷۲۸۰
مصرف کودهای شیمیایی (کیلوگرم)	۴۴۳	۳۱۵	۳۱۲	۳۵۰	۶۱۸
مصرف سم آفت‌کش (سی‌سی)	۵۰۰	۲۵۰	۰	۰	۰
مصرف سم علف‌کش (گرم)	۲۹	۱۹	۰	۳۲	۲۱
مصرف ماشین‌آلات (ساعت)	۱۲	۱۳/۲	۱۲	۳۵/۵	۴

مأخذ: مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین؛ یافته‌های پژوهش

تبدیل واحد نهاده‌های مورد استفاده به واحد انرژی نیز از ضرایب تبدیل انرژی معرفی شده در مطالعه کاظمی و زارع (۱۶) استفاده شده است. بنابراین، برای حداکثرسازی این آرمان اقتصادی بایستی انحراف منفی از آرمان انرژی خالص تولیدی ($d_۳^-$) حداقل شود.

به‌منظور دستیابی به آرمان حداکثر کردن کارایی مصرف آب بایستی انحراف از این آرمان ($d_۴^+$) نیز حداقل شود. لازم به‌ذکر است که میزان مشخص آرمان‌های مورد نظر نیز با توجه به الزامات مدیران مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین و با در نظر گرفتن موجودی کل عوامل در دسترس آنان و با توجه به اهداف و اولویت‌های برنامه‌ریزی سالیانه سازمان اتکا تعیین شده است. آرمان‌های مورد نظر عبارت از افزایش ۱۵ درصدی کارایی مصرف آب، افزایش ۱۰ درصدی سود سالیانه، افزایش ۲۰ درصدی خالص انرژی تولیدی و استفاده کامل از اراضی زراعی قابل کشت هستند. مزارع مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین در مناطق شرقی شهرستان ورامین قرار دارد. در مطالعهٔ حاضر از اطلاعات مربوط به پنج محصول زراعی عمده مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین استفاده شد. لذا، داده‌های مورد نیاز با مراجعه به آمار و اطلاعات دفتری این واحد کشاورزی برای سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ جمع‌آوری شد. همچنین، به‌منظور برآورد نتایج مدل مورد نظر از نرم‌افزار Gams استفاده شد. نرم‌افزار Gams نرم‌افزاری بسیار کاربردی است که برای حل مسائل بهینه‌سازی اعم از بهینه‌سازی‌های خطی و غیرخطی طراحی شده است. این نرم‌افزار به کاربر امکان تمرکز بر روی مسائل مدل‌سازی و تصمیم‌گیری عددی را می‌دهد. کاربر با این نرم‌افزار می‌تواند فرمول‌نویسی مسئله تحت بحث را با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی انجام دهد. در واقع می‌توان از Gams به‌عنوان یکی از بهترین نرم‌افزارهای حل مسائل برنامه‌ریزی به روش ریاضی نام برد. در مدل‌سازی مسائل برنامه‌ریزی ریاضی در نرم‌افزار Gams، ابتدا متغیرها و پارامترهای مورد نظر با استفاده از علائم و نشان‌های زبان برنامه‌نویسی به این نرم‌افزار معرفی می‌شود و پس از آن نسبت به کدنویسی معادلات مدل مورد نظر اقدام می‌شود. سپس، با استفاده از الگوریتم‌های حل (Solvers) متناسب با روش برنامه‌ریزی ریاضی مورد استفاده نسبت به اجرای مدل و استخراج نتایج اقدام می‌شود.

نتایج

به‌منظور تشریح مناسب‌تر نتایج به‌دست آمده در ارتباط با ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین، آمار توصیفی مربوط به داده‌های جمع‌آوری شده از این واحد کشاورزی به‌صورت تفکیک شده در جدول (۱) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در هر هکتار از اراضی

مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین، محصولات ذرت علوفه‌ای و گندم به‌ترتیب بیشترین بازده ناخالص را به‌خود اختصاص می‌دهند. همچنین، در میان محصولات عمده زراعی قابل کشت در اراضی واحد ورامین، محصولات ذرت علوفه‌ای و قصیل جو (جو برداشت شده به‌صورت سبز) دارای بیشترین انرژی خالص تولیدی در هر هکتار هستند.

علاوه‌بر این، همان‌طور که از مشاهده جدول (۱) استنباط می‌شود، در میان محصولات مورد نظر، محصولات قصیل جو و گندم کمترین ضریب شدت مصرف آب در هکتار را به‌خود اختصاص می‌دهند که به مفهوم کارایی مصرف آب بالاتر برای آنها است. شاخص شدت مصرف آب که از تقسیم میزان آب مصرفی بر میزان بازده ناخالص تولیدی برای هر محصول به‌دست می‌آید، بیانگر این مطلب است که هرچه میزان بازده ناخالص و ارزش افزوده محصولات زراعی به‌ازای آب مصرفی در واحد سطح بیشتر باشد، کارایی مصرف آب آن محصول بیشتر است (۱۹). لذا، محصولات قصیل جو و گندم در مقایسه با دیگر محصولات زراعی تولید شده در این واحد کشاورزی به‌ازای هر واحد مصرف آب در هکتار، ارزش افزوده بیشتری ایجاد می‌کنند. بنابراین، مشاهده می‌شود که محصولات قصیل جو و گندم در مقایسه با دیگر محصولات از کارایی مصرف آب بیشتری برخوردارند. لذا، آرمان حداکثر کردن کارایی مصرف آب در تدوین الگوی کشت محصولات زراعی واحد کشاورزی ورامین بر زیر کشت بردن محصولاتی تأکید دارد که علاوه بر تأمین آرمان‌های اقتصادی مورد نظر، در مقایسه با دیگر محصولات زراعی کارایی مصرف آب بیشتری داشته باشند.

اضافه بر این، محصولات ذرت علوفه‌ای و گندم بیشترین مصرف کودهای شیمیایی را در هر هکتار به‌خود اختصاص می‌دهند. محصولات گندم و کلزا نیز بیشترین مصرف سموم آفت‌کش را در واحد سطح به‌خود اختصاص می‌دهند. علاوه بر این، محصولات یونجه و گندم بیشترین مصرف سموم علف‌کش در هر هکتار را به‌خود اختصاص می‌دهند. محصولات یونجه و کلزا نیز بیشترین کاربرد ماشین‌آلات در واحد سطح را به‌خود اختصاص می‌دهند. همان‌گونه که اشاره شد، در رویکرد ارتقای کارایی مصرف آب در طراحی ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی در این مطالعه، بایستی مجموع شاخص شدت مصرف آب تمامی محصولات مورد نظر در کل اراضی زراعی در دسترس حداقل شود. بر این اساس، در مدل برنامه‌ریزی چندمعیاره طراحی شده برای تدوین ترکیب بهینه کشت محصولات زراعی، ارتقای ۱۵ درصدی میزان کارایی مصرف آب در مزارع مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین بر اساس آرمان‌های مدنظر مدیران، در دستور کار قرار گرفت. جزئیات تدوین ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی با رویکرد افزایش کارایی مصرف آب در مزارع این واحد کشاورزی در جدول (۲) ذکر شده است.

با توجه به نتایج جدول (۲) مشاهده می‌شود که با وارد کردن آرمان ارتقای کارایی مصرف آب در اولویت‌های مورد نظر در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین، امکان دستیابی به آرمان ۱۵ درصدی افزایش کارایی مصرف آب وجود خواهد داشت. نتایج مربوط به شاخص شدت مصرف آب در شرایط معمول و بهینه الگوی کشت مجتمع کشاورزی دامپروری ورامین نشان می‌دهد که میزان این شاخص در شرایط بهینه از مقدار ۰/۰۳۳ مترمکعب بر ریال به مقدار ۰/۰۲۸ مترمکعب بر ریال کاهش می‌یابد. لذا، این کاهش که نشان‌دهنده افزایش بازده ناخالص به‌ازای میزان آب مصرفی در این واحد کشاورزی است به مفهوم افزایش ۱۵ درصدی میزان کارایی مصرف آب در تولید محصولات زراعی این مجموعه کشاورزی است. لذا، افزایش کارایی مصرف آب در الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در این مطالعه به این مفهوم است که با میزان مشخص آب در دسترس در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین، مجموعه محصولات زراعی با ارزش بیشتر نسبت به شرایط معمول تولید خواهد شد. بر اساس نتایج جدول (۲)، در ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی با تأکید بر افزایش کارایی مصرف آب بر میزان سطح زیر کشت محصولات گندم، ذرت علوفه‌ای و قصیل جو افزوده شده است. با توجه به مندرجات جدول (۱)

جدول ۲. ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی با تأکید بر افزایش کارایی مصرف آب در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین

	محصول	ترکیب فعلی	ترکیب بهینه تولید	تغییرات (درصد)
سطح زیر کشت (هکتار)	گندم	۱۴۱	۱۴۹/۵	+۶
	کلزا	۱۷	۰	−۱۰۰
	قصیل جو	۴۵	۴۸/۶	+۸
	یونجه	۱۰۰	۹۲/۷	−۸
	ذرت علوفه‌ای	۳۵	۳۹/۸	+۱۳
	مجموع سطح کشت	۳۳۸	۳۳۰/۷	−۳
وضعیت سودآوری	سود کل (ریال)	۹۷۸۷۸۲۳۲۷۳	۱۰۱۷۰۷۰۰۰۰۰	+۴
وضعیت انرژی	خالص انرژی کل (مگاژول)	۳۰۷۱۷۵۴۲	۳۳۷۸۹۳۰۰	+۱۰
وضعیت کارایی مصرف آب	شدت مصرف آب کل (مترمکعب بر کیلوگرم)	۰/۰۳۳	۰/۰۲۸	−۱۵
مصرف نهاده‌ها	مصرف آب (مترمکعب)	۲۳۸۰۱۷۶	۲۳۸۰۱۷۶	۰
	مصرف کود شیمیایی (کیلوگرم)	۱۳۸۵۱۶	۱۳۸۵۱۶	۰
	مصرف سم آفت‌کش (سی‌سی)	۷۴۷۵۰	۷۴۷۵۰	۰
	مصرف سم علف‌کش (گرم)	۸۳۴۷	۸۱۳۹	−۲/۵
	مصرف ماشین‌آلات (ساعت)	۶۰۹۳	۵۷۸۳	−۵

مأخذ: یافته‌های پژوهش

به‌نظر می‌رسد که افزایش سطح زیر کشت محصولات گندم و ذرت علوفه‌ای علیرغم مصرف قابل توجه نهاده آب به‌دلیل ارزش اقتصادی بالاتر و در نتیجه شدت مصرف آب کمتر و همچنین به‌دلیل خالص انرژی تولیدی بیشتر افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر، سطح زیر کشت محصول قصیل جو نیز علیرغم ارزش اقتصادی کمتر به‌دلیل مصرف آب کمتر و نیز تولید انرژی خالص قابل توجه در ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی افزایش خواهد یافت. علاوه بر این، نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که محصول کلزا از ترکیب بهینه کشت حذف شده است. با توجه به نتایج جدول (۱)، به‌نظر می‌رسد که محصول کلزا به‌دلیل بازده اقتصادی و خالص خروجی انرژی کمتر نسبت به محصولات دیگر و همچنین مصرف آب بیشتر نسبت به محصولاتی مانند قصیل جو از ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی حذف می‌شود. همچنین، علت کاهش سطح زیر کشت محصول یونجه را بایستی در مصرف قابل توجه آب و تولید انرژی خالص منفی جستجو کرد. درنهایت، در ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی با رویکرد ارتقای کارایی مصرف آب در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین، مجموع سطح زیر کشت محصولات مورد نظر در حدود سه درصد کاهش خواهد یافت. در رابطه با علت عدم افزایش سطح زیر کشت زمین‌های زراعی در دسترس به‌نظر می‌رسد که چون با افزایش سطح زیر کشت، به‌علت محدودیت منابع تولیدی مورد نیاز، آرمان سود حداکثری دچار چالش می‌شود، لذا، آرمان حداکثرسازی به‌کارگیری زمین‌های زراعی در دسترس با آرمان حداکثرسازی سود در تضاد و تقابل قرار دارد. بنابراین، با توجه به اولویت‌های مورد نظر مدیران این واحد کشاورزی به‌نظر می‌رسد که آرمان حداکثر کردن به‌کارگیری زمین‌های زراعی دور از دسترس قرار دارد. لذا، به‌نظر می‌رسد که علت این امر را

بایستی بیش از هر چیز در محدودیت دسترسی به عوامل تولید به‌منظور تحقق اهداف اقتصادی مدیران این واحد کشاورزی دانست. با توجه به نتایج به‌دست آمده، نهاده‌های آب، کود شیمیایی و سم آفت‌کش جزو عوامل و نهاده‌های محدود کننده تولید محصولات زراعی محسوب می‌شوند. در ارتباط با تغییرات مصرف نهاده‌های مورد استفاده در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین که در جدول (۲) گزارش شده است، بایستی اشاره کرد که به‌دلیل وجود محدودیت‌های ساختاری در مدل در رویکرد ارتقای کارایی مصرف آب، میزان مصرف نهاده‌های مورد نظر دچار تغییرات شده‌اند.

با توجه به نتایج جدول (۲) همچنین مشاهده می‌شود که از میان آرمان‌های اقتصادی تعریف شده از سوی مدیران مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین، در شرایط بهینه و با تأکید بر افزایش کارایی مصرف آب، آرمان افزایش انرژی خالص تولیدی با آرمان افزایش کارایی مصرف آب در این واحد کشاورزی به‌صورت کامل قابل جمع است و آرمان افزایش سود سالیانه در این مجتمع نیز در حدود چهار درصد محقق خواهد شد. لذا، در رابطه با علت عدم تحقق برخی از آرمان‌ها همچون آرمان حداکثرسازی سود سالیانه به‌میزان مورد نظر بایستی اشاره کرد که به‌علت وجود آرمان‌های اقتصادی متعدد در کنار آرمان افزایش کارایی مصرف آب، بی‌تردید تحقق همزمان همه آرمان‌ها با دشواری همراه است. بنابراین، الگوی بهینه کشت طراحی شده با توجه به اولویت‌های مد نظر مدیران و اهمیت نسبی این اولویت‌ها میزان سطح زیر کشت محصولات زراعی را تعیین می‌کند. در رابطه با آرمان حداکثرسازی سود به‌صورت مشخص بایستی اشاره کرد که علت عدم تحقق کامل این آرمان به‌سبب وجود آرمان حداکثرسازی خالص انرژی تولیدی است که منجر به افزایش تولید محصولاتی با انرژی بیشتر می‌شود که ممکن است ارزش اقتصادی کمتری در مقایسه با دیگر محصولات داشته باشند. افزایش سطح زیر کشت قصیل جو و کاهش سطح زیر کشت یونجه از جمله این موارد است. بنابراین، با توجه به‌وجود تضاد مابین برخی از آرمان‌ها تحقق همزمان تمامی آنها به سختی امکان‌پذیر می‌شود. در عین حال، در شرایط بهینه عمده آرمان‌های مورد نظر مدیران به‌صورت نسبی تحقق می‌یابد.

بحث

این مطالعه به‌منظور تدوین ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین با تأکید بر افزایش کارایی مصرف آب طرح‌ریزی و اجرا شد. به این منظور، از آمار و اطلاعات دفتری این واحد کشاورزی در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ استفاده شد. پس از آن، به‌منظور تدوین ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی در این واحد کشاورزی، آرمان‌های اقتصادی با تأکید بر افزایش کارایی مصرف آب به‌عنوان محدودیت‌های معین و از پیش تعیین شده توسط مدیران این واحد زراعی در قالب یک مدل برنامه‌ریزی چندمعیاره طراحی شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در مجموع با تدوین ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی در رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی چندمعیاره، دستیابی به آرمان افزایش کارایی مصرف آب می‌تواند هم‌پوشانی نسبی قابل توجهی با آرمان‌های اقتصادی مدیران مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین داشته باشد. بر اساس نتایج این مطالعه، افزایش ۴ درصدی سود سالیانه، افزایش ۱۰ درصدی خالص انرژی تولیدی و افزایش ۱۵ درصدی کارایی مصرف آب به‌صورت همزمان از مزایای تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در مقایسه با شرایط معمول تولید این محصولات در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین محسوب می‌شود. بنابراین، با تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی، اهداف اقتصادی و پایداری منابع آب در تولید این محصولات علیرغم وجود بعضی از تعارض‌ها به‌صورت تقریبی در دسترس خواهد بود. لذا، به‌نظر می‌رسد که با تدوین الگوهای بهینه برنامه‌ریزی تولید محصولات زراعی و به‌منظور ایجاد ارزش افزوده بیش از پیش از منابع با ارزش و حیاتی آب در جریان تولید

محصولات کشاورزی در کشور، پرداختن همزمان به ابعاد بهره‌وری آب در فعالیت‌های اقتصادی مدیران زراعی و زارعین بخش کشاورزی، تنزیل‌های قابل اعتنایی در جهت تأمین اهداف اقتصادی آنان به‌همراه نخواهد داشت. لذا، نتایج این مطالعه به‌صورت مشخص نشان می‌دهد که می‌توان ترکیب تولید محصولات زراعی در واحدهای کشاورزی را به‌ترتیبی طراحی کرد که نهاده بسیار با ارزش و محدود آب صرف تولید محصولات با کارایی مصرف آب بیشتر شود و آرمان‌های اقتصادی مدیران نیز به‌میزان قابل توجهی به‌صورت همزمان محقق شود. نتایج مطالعه حاضر به‌خوبی نشان داد که در مقایسه با شرایط معمول تولید محصولات زراعی در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین، اهداف سودافزایی به‌میزان قابل توجهی قابلیت تجمیع با دیگر اهداف و اولویت‌های مد نظر مدیران زراعی به‌ویژه در ارتباط با آرمان بهبود کارایی مصرف آب از خود نشان می‌دهد. در عین حال، نتایج این مطالعه نشان داد که میزان سطح زیر کشت محصولات زراعی در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین در شرایط بهینه به‌دلیل محدودیت موجودی منابع تولید امکان گسترش بیش از پیش نخواهد داشت. بر این اساس، در شرایط بهینه برنامه‌ریزی تولید محصولات زراعی با ترکیب اولویت‌های اقتصادی و ارتقای کارایی مصرف آب در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین، محصولات کلیدی قابل کشت به‌ترتیب اولویت عبارت از گندم، یونجه، قصیل جو و ذرت علوفه‌ای هستند. لذا، با ترکیب آرمان‌های تعریف شده شامل افزایش کارایی مصرف آب در کنار آرمان‌های اقتصادی در جریان تولید محصولات زراعی در این واحد کشاورزی، در ترکیب کشت قرار دادن محصولات اشاره شده، به‌صورت همزمان تأمین کننده میزان خالص انرژی تولیدی حداکثر و افزایش سود سالیانه به‌عنوان آرمان‌های اقتصادی است و آرمان افزایش کارایی مصرف آب را نیز به‌همراه خواهد داشت. با توجه به آنچه گفته شد، مطالعه حاضر نتایج مطالعه اسعدی مهربانی و همکاران (۲) را تقویت می‌کند. در مطالعه آنان با تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی حوضه زرینه‌رود، میزان سودآوری تولید این محصولات در شرایط پایداری منابع آب در مقایسه با شرایط فعلی به‌میزان ۲/۵ درصد افزایش می‌یابد. همچنین، مطالعه حاضر نتایج مطالعه قاسمی و همکاران (۱۲) را تأیید می‌کند. مطالعه آنان نشان داد که با تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در شهرستان ورامین، محصولات گندم، جو، یونجه و ذرت علوفه‌ای با بیشترین میزان سطح زیر کشت، ترکیب اصلی الگوی تولید محصولات زراعی در این شهرستان را تشکیل می‌دهند. مطالعه آنان همچنین نشان داد که در شرایط بهینه در حدود ۳۰ درصد از کل سطح زیر کشت محصولات زراعی در این شهرستان کاهش می‌یابد. علاوه بر این، نتایج این مطالعه با نتایج پژوهش محمدی و همکاران (۲۱) از برای تغییرات سطح زیر کشت محصولات زراعی در الگوی بهینه تولید، دارای مشابهت است. بر اساس مطالعه آنان، با تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی شهرستان مرودشت، میزان سطح زیر کشت محصولات زراعی تغییر چندانی نمی‌کند. در عین حال، سودآوری تولید این محصولات در مقایسه با شریط معمول افزایش می‌یابد. علاوه بر این، این پژوهش نتایج مطالعه فلاحی و همکاران (۱۰) مبنی بر امکان افزایش سودآوری تولید محصولات زراعی در دشت سیدان- فاروق مرودشت همزمان با لحاظ کردن پایداری استفاده از آب را تأیید می‌کند.

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، به‌عنوان یک پیشنهاد کلی توصیه می‌شود که به‌منظور طراحی ترکیب بهینه برنامه‌ریزی تولید محصولات زراعی در مناطق مختلف کشور، اهداف و آرمان‌های مختلف مدیران واحدهای کشاورزی به‌صورت کمّی و از طریق کاربرد مدل‌های برنامه‌ریزی چندمعیاره تحلیل و بررسی شود. این موضوع به این دلیل دارای بیشترین اهمیت است که به‌دلیل تضاد و تناقض‌های موجود در هنگام پرداختن به اصول و آرمان‌های اقتصادی واحدهای کشاورزی با دیگر آرمان‌های موجود در سطح خرد یا کلان ملی همچون آرمان‌های مرتبط با بهره‌وری مصرف

آب در کشور، امکان برنامه‌ریزی به روش‌های معمول و متعارف آن دشوار و دور دسترس به‌نظر می‌رسد. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، همچنین پیشنهاد می‌شود که با اجرای موردی پروژه‌های الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در سطح بنگاه‌های اقتصادی در مناطق مختلف کشور، دستیابی همزمان به اهداف مختلف و در مواردی متضاد با آرمان‌های اقتصادی همچون آرمان‌های مرتبط با زیست‌بوم و کشاورزی پایدار نیز از طریق ترویج و آموزش یافته‌های علمی برای بهره‌برداران کشاورزی مورد هدف قرار گیرد.

درنهایت، بر اساس نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌شود که به‌منظور افزایش سودآوری در مزارع مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین همزمان با اولویت‌بخشی به آرمان ارتقای کارایی مصرف آب، محصولات گندم، یونجه، قصیل جو و ذرت علوفه‌ای ترکیب اصلی الگوی تولید محصولات زراعی در این واحد کشاورزی را تشکیل دهند.

سپاسگزاری

این مقاله از طرح مطالعاتی مصوب در مرکز تحقیقات و نوآوری سازمان اتکا استخراج شده است. نویسندگان بر خود لازم می دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از کارکنان این مرکز جناب آقایان مهندس انصاری، مهندس رستمی و مهندس رضایی و بخش مدیریت مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین جناب آقایان مهندس شلالوند و مهندس فراهانی که اینجانبان را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام کنند.

منابع مورد استفاده

1. Alipour, A., M. Vakilpoor, R. Afshartabar and M. Nikzad. 2012. Studying wheat water use efficiency in Zarghan region. *Journal of Water Research in Agriculture* 26(4): 405-414.
2. Asaadi Mehrabani, M., M. Banihabib and A. Roozbahany. 2018. Fuzzy linear programming model for the optimization of cropping pattern in Zarrinehroud basin. *The Journal of Iran-Water Resources Research* 14(1): 13-24.
3. Balali, H. 2010. Effect of price and agricultural policies on the sustainability of groundwater resources: a case study of Bahadar Plain of Hamedan. PhD. Thesis, Tarbiat Modarres University.
4. Baradaran Sirjani, F., M. Kohansal and M. Sabouhi. 2015. Application of two-stagesmulti-objective fuzzy linear programming model to develop optimal cropping pattern (case study: Central district of Mashhad). *Agricultural Economics & Development* 28(4): 368-376.
5. Birhanu, K., T. Alamirew, M. Olumana, S. Ayalew and D. Aklog. 2015. Optimizing cropping pattern using chance constraint linear programming for koga irrigation dam, Ethiopia. *Irrigation & Drainage Systems Engineering* 10(4172): 2168-9768.
6. Charnes, A. and W. Cooper. 1961. Management Models and Industrial Applications of Linear Programming. NY: Wiley, New York.
7. Daneshvar, M., N. Sahnoushi and F. Salehi Reza Abadi. 2009. The determination of optimal crop pattern with aim of reduction in hazards of environmental. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 4(4): 305- 310.
8. Doppler, W. 2002. The impact of water price strategies on the allocation of irrigation water: the case of the Jordan Valley. *Agricultural Water Management* 55:171-182.
9. Erfanifar, S., M. Zibaei and M. Kasraei. 2014. Application of multi-objective fuzzy goal programming to optimize cropping pattern with emphasis on using conservation tillage methods. *Agricultural Economics & Development* 28(2): 118-124.
10. Falahi, E., S. Khalilian and M. Ahmadian. 2013. Optimizing cropping pattern with emphasis on water resource restrictions: a case study of Seidan-Farough plain, Marvdasht townships. *Journal of Agricultural Economics Research* 5(2): 91-115.
11. Ghanbari, Y. and H. Barghi. 2008. Main challenges in sustainable Iranian agriculture development. *Development Strategy* 16: 218-234.
12. Ghasemi, A., S. Hasanlo, R. Perouz and H. Najafi Alamdarlo. 2016. The application of integrating fuzzy logic and matrix method in environmental impact assessment (case study: Golestan forest northern highway). *Environmental Researches* 6(11): 163-172.
13. Gholami, Z., H. Ebrahimian and H. Noori. 2016. Investigation of irrigation water productivity in sprinkler and

surface irrigation systems (case study: Qazvin plain). *Journal of Irrigation Sciences and Engineering* 39(3): 135-146.
14. Hatirli, S., B. Ozkan and C. Fert. 2006. Energy inputs and crop yield relationships in greenhouse winter crop tomato production. *Renewable Energy* 31: 427-438.
15. Heydari Pour, R., M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki and A. Zare Feize Abadi. 2014. The effects of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on productivity and efficiency in corn (*Zea mays* L.), sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.). *Agroecology* 6(2): 187-198.
16. Kazemi, H. and S. Zare. 2014. Investigation and comparison of energy flow in wheat fields of Gorgan and Marvdasht townships. *Journal of Cereal Research* 4(3): 211-227.
17. Kiani, GH. and N. Seydi Vand. 2013. Analysis of water consumption pattern in Iran using numeric index. *Journal of Natural Resources Economics* 2(2): 22-30.
18. Kohansal, M. R. and A. Sarvari. 2013. Determining the main appropriate crop area pattern of Khorasan Razavi province using fuzzy multiple criteria decision making and hyperbolic membership function. *Agricultural Economics and Development* 21(82): 131-151.
19. Luyanga, S., R. Miller and J. Stage. 2006. Index number analysis of Namibian water intensity. *Journal of Ecological Economics* 57: 374– 381.
20. Mehregan, M. R. 2013. Decision Making Models with Multiple Objectives. Tehran University Press, Tehran. Iran.
21. Mohammadi, H., A. Sargazi, V. Dehbashi and M. Poudineh. 2015. Optimization of cropping pattern with an emphasis on social benefits in the rational exploitation of water (a case study of Fars province). *Journal of Environmental Science and Technology* 17(4): 107-115.
22. Mohammadian, F., N. Shahnoushi, M. Ghorbani and H. Aghel. 2010. Determining sustainable cultivation pattern in Phariman-Torbat-e- Jaam plain. *Agricultural Economics* 4(2): 1-41.
23. Mortazavi, S. A., A. Alipour and M. Ghorbani. 2015. Examining factors affecting the sub-vector water efficiency in wheat production: a radial basis function artificial neural network and the Tobit model. *The Economic Research* 16(2): 117-135.
24. Parhizkari, A., M. Mozafari and M. Hoseini Khodadadi. 2015. Optimization the cropping pattern in order to protection and sustainability of environmental in Alamut western Region (An approach of lexicographic goal programming). *The Journal of Natural Environment* 68(3): 373-385.
25. Sabouhi, M. 2012. The Application of Mathematical Programming in Agricultural Economics with an Emphasis on Using Excel Software. Nooreelm Press, Hamadan. Iran.
26. Thankappan, S., P. Midmore and T. Jenkins. 2006. Conserving energy in smallholder agriculture: a multi-objective programming case-study of northwest India. *Ecological Economics* 56: 190-208.
27. XieTing, Z., K. ShaoZhong, L. FuSheng, L. Zh and G. Ping. 2010. Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. *Agricultural Water Management* 98(1): 134-142.
28. Zahedi, SH. and GH. Najafi. 2006. Conceptual expansion of sustainable development. *Human Sciences Modares* 10(4): 43-76.
29. Zamani, O., H. Ghaderzadeh and S. Mortazavi. 2014. Cropping pattern system respect to sustainable agriculture and optimum use of energy “a case of saqez county of Kurdistan province”. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 24(1): 31-43.
30. Zamani, O., M. Sabouhi Saboni and H. Nader. 2010. Determining cropping pattern corresponding sustainable agriculture by using multi-objective fuzzy fractional programming: a case of Piranshahar city. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 20(4): 101-112.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 23, No. 2, Summer 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Optimal Crop Production Pattern with Emphasis on Improving Water Use Efficiency (A Case Study of Varamin Agricultural and Animal Husbandry Complex)

A. R. Alipour, S. H. Mosavi* and A. Arjomandi[1]

(Received: November 26-2017 ; Accepted: August 14-2018)

Abstract

Increasing the productivity and conservation of limited water resources in the agricultural sector, especially in the agricultural sub-sectors, is closely related to the revision of the traditional approaches of production system in the agricultural sector of developing countries. The aim of this study was to develop the optimal combination of crop production in Varamin Agricultural and Animal Husbandry Complex as one of the leading agricultural units in the agricultural sector of Varamin County with the emphasis on increasing water use efficiency. For this purpose, the statistical data and information of the 2015-2016 crop year of the complex were used in the framework of the multi-criteria decision making model. The results showed that in the optimum crop pattern in this unit, the priorities of maximizing net energy production and the annual profit as the economic goals would be significantly aggregated with the goal of increasing water use efficiency. Accordingly, in the optimum condition, net energy production was increased by 10%, gross profit was improved by 4%, and water use efficiency was promoted by 15%. Therefore, according to the results, it is suggested that, in order to achieve the economic aspirations and increase water use efficiency in Varamin Agricultural and Animal Husbandry Complex, wheat, alfalfa, silage and maize corn, based on the values calculated in this study, constitute the main combination of the crop production pattern.

Keywords: Optimal crop production pattern, Water Use Efficiency, Multi-Criteria Programming Model, Varamin Agricultural and Animal Husbandry Complex

1. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
*: Corresponding Author, Email: shamosavi@modares.ac.ir.