نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال دهم، شماره چهار، تابستان ۱۴۰۰

ISSN 2251-7480

بهینه سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی در دشت شبستر تحت شرایط محدودیت آب

علی پناهی[۱] و آزاده فلسفیان[۲*]

۱) دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مدیریت کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران.

۲*) استادیار، گروه مدیریت کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران.

*. نویسنده مسئول مکاتبات، ایمیل: Falsafian@iaut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۵

چکیده:

پایداری کشاورزی دشت شبستر به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی استان آذربایجان شرقی بواسطه برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی تحت تاثیر قرار گرفته است. تعیین الگوی بهینه کشت متناسب با منابع و محدودیت‌های منطقه به عنوان یکی از راهکارهای تحول در نظام کشاورزی و حرکت به سمت پایداری تعریف می‌شود. در این راستا، هدف از مطالعه حاضر بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی در دشت شبستر با توجه به محدودیت آب می‌باشد. برای این منظور از الگوهای برنامه ریزی خطی و آرمانی تحت سناریوهای مختلف حداکثرسازی سود و حداقل سازی مصرف آب بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که اجرای الگوی بهینه کشت با هدف حداکثرسازی سود باعث گردید که میزان سود کشاورز و مصرف آب به ترتیب ۳۸۲/۲ و ۴۴/۳ درصد افزایش و تحت هدف حداقل‌سازی مصرف آب، میزان سود کشاورز و مصرف آب به ترتیب ۹۰/۶ و ۲۲/۸۷ درصد کاهش یابد. اما در اجرای الگوی بهینه کشت با هدف دستیابی همزمان به حداکثر سود و حداقل مصرف آب، ملاحظه شد که میزان سود ۱/۱ درصد افزایش و میزان مصرف آب ۴/۷۱ درصد کاهش می‌یابد. نتایج الگوی بهینه کشت آرمانی با دستیابی همزمان به حداکثر سود و حداقل مصرف آب حکایت از آن دارد که سطح زیرکشت جو آبی و دیم و کلزا افزایش یافته که در این میان، بیشترین افزایش سطح زیرکشت مربوط به محصول کلزا که یک محصول استراتژیک است، بوده و همچنان کشت گندم دیم نیز در منطقه حفظ شده که این امر در راستایی تامین امنیت غذایی کشور حاضر اهمیت می‌باشد.

کلید واژه‌ها: الگوی کشت؛ برنامه‌ریزی ریاضی؛ محدودیت آب؛ دشت شبستر

مقدمه

صیانت از منابع آب در بخش کشاورزی به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در کنار تامین درآمد زارعین نقش مهمی در مدیریت این منابع ایفا خواهد نمود. در شرایط کم آبی، در نظر گرفتن الگوهای کشت مناسب و به عبارتی مدیریت مناسب آب بین محصولات مختلف منطقه، روشی بسیار موثر و اساسی برای استفاده بهینه از آب به شمار می‌رود. در سال‌های اخیر کاهش سطح دریاچه ارومیه و شوری آب در حوضه آبریز این دریاچه و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی آن، کشاورزی منطقه را تحت الشعاع قرار داده و مشکلات اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی را برای مردم منطقه به همراه آورده است. در این میان دشت شبستر واقع در شرق و شمال شرقی دریاچه ی ارومیه به عنوان یکی از قطب‌های

کشاورزی این حوضه آبریز دارای مشکلات متعددی در این زمینه بوده است. در کل منطقه دشت شبستر تعداد زیادی چاه‌های بهره‌برداری و قنات برای استفاده در مصارف کشاورزی، شرب و صنعت و تعداد محدودی چاه مشاهداتی برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی وجود دارد که در چند سال اخیر به علت برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی از این دشت، تعداد زیادی از چاه‌های آبکشی منطقه شور و بسیاری نیز خشک شده‌اند. به علت نزدیکی این سفره به دریاچه‌ی نمکی ارومیه، دریاچه مزبور مهمترین عامل شور کننده این آبخوان ساحلی متصور می‌گردد. برداشت بی رویه آب بدون توجه به میزان ذخایر زیرزمینی موجب تشدید بحران شده است. فعالیت‌های کشاورزی این شهرستان به دلیل پسروی آب دریاچه ارومیه و کاهش آب‌های زیرزمینی به مخاطره افتاده است (بی‌نام، ۱۳۸٦). در چنین شرایطی اصلاح الگوی کشت محصولات کشاورزی با توجه به بحران آب و اتخاذ تدابیر مناسب جهت بهبود استفاده از منابع آبی در این منطقه لازم و ضروری است. به عبارتی، تعیین الگوی کشت مناسب به نحوی که براساس آن بتوان حداکثر بهره‌وری را به‌ویژه از عامل محدودکننده آب بدست آورد، از راهکارهای عملی و علمی می‌باشد. همچنین، حفظ درآمد کشاورزان بویژه در شرایط اقتصادی کنونی از مسایل مهمی است که در کنار ارائه راهکار برای حل معضل کم آبی می‌بایست مورد توجه قرار گیرد. زیرا راهکار ارائه شده در تصمیمات اصلی کشاورزی منطقه زمانی بهینه خواهد بود که بتواند در اصلاح الگوی کشت محصولات کشاورزی منطقه علاوه بر محدودیت آب، به صورت توام بحث حداکثر سازی سود تولیدکنندگان را نیز در نظر بگیرد.

در خصوص بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی پیش از این نیز در داخل و خارج مطالعاتی انجام شده است. از جمله، مختاری مطلق و همکاران (۱۳۹۲) به تعیین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی در منطقه حنا-سمیرم پرداختند. هدف آن‌ها استفاده کمتر از نهاده‌های آب و زمین، کمینه کردن هزینه‌های متغییر تولید و بیشینه کردن سود ناخالص مزرعه توسط برنامه بهینه-سازی Lingo بود. براساس نتایج، در الگوی بهینه دو محصول یونجه در کشت ابتدایی و آفتابگردان در کشت دوم سال زراعی جای گرفتند و محصولات دیگر نظیر گندم، جو و ذرت علوفه‌ای از الگوی بهینه حذف شدند. تقی زاده و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی تغییر الگوی کشت بهینه با توجه به ریسک و محدودیت های جدید اعمالی از سوی شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان در دشت دهگلان، نشان دادند در صورتی که زارع از الگوی کشت بهینه در زمان اعمال محدودیت آب استفاده کند در حداکثر ریسک تنها دو هزار ریال نسبت به حالتی که محدودیت آب اعمال نشده است، زیان خواهد دید. خاشعی و همکاران (۱۳۹۳) اقدام به تعیین الگوی کشت بهینه برای جلوگیری از افت آب زیرزمینی با الگوریتم PSO نموده و بیان نمودند برای به حداقل رساندن افت سطح آب، در صورت وقوع بارش برابر میانگین بارش سالانه منطقه، کشاورزان فقط مجاز به برداشت ۳۵۹ میلیون مترمکعب از آبخوان دشت نیشابور بوده که با این حجم آب باید ۵۹۷۰٦ هکتار از اراضی دشت را فاریاب کرد که ٤٨٧٨٩ هکتار کمتر از وضع موجود است. مجیدی و همکاران (۱۳۹٤) به بررسی تاثیر تقاضای آب بر الگوی کشت بهینه، درآمد کشاورزان و استفاده پایدار از منابع آب در مشهد (چناران) پرداخته و نتایج مدل حکایت از آن دارد که سطح درآمد کشاورزان نسبت به وضعیت فعلی در الگوی بهینه با کاربرد استراتژی های کم آبیاری در گروه کم‌مصرف و پرمصرف به ترتیب ۱۵/۲ و ٦/۲ درصد افزایش می‌یابد. میرزایی و همکاران (۱۳۹٦) با بهره‌گیری از مدل برنامه‌ریزی خطی ساده و چند هدفه با استفاده از روش مقید تعمیم‌یافته[1] و روش TOPSIS، اقدام به تعیین الگوهای کشت بهینه محصولات کشاورزی بخش مرکزی

[1] Augmented e-constraint

شهرستان سیرجان نمودند. یافته‌های مطالعه حکایت از آن دارد که الگو بهینه کشت در مزارع کوچک‌تر از پنج هکتار، با اهداف کمینه‌سازی مصرف آب و کود شیمیایی، به سمت کاهش سطح زیرکشت محصول یونجه و افزایش محصول جو حرکت کرده و با در نظر گرفتن هدف بیشینه‌سازی بازده ناخالص، محصول پیاز جایگزین آنها می‌گردد. عوض‌یار و همکاران (۱۳۹۷) اقدام به بهینه-سازی الگوی کشت محصولات در اراضی پایاب سد ملاصدرا در استان فارس به منظور افزایش بازده آبیاری با بهره‌گیری از روش‌های برنامه‌ریزی خطی قطعی (DLP) و با محدودیت‌های تصادفی (CCLP) نمودند. نتایج نشان داد که با اعمال برنامه‌ریزی‌های بلندمدت جهت افزایش ۳۰ درصدی بازده آبیاری در مزرعه، سود ناخالص سالانه زارعین ٥٤/٣٥ درصد افزایش یافته و سالانه بیش از ۱ میلیون مترمکعب نیز در مصرف آبهای زیرزمینی صرفه-جویی خواهد شد.

شاکری و همکاران (۱۳۹۸) اقدام به بهینه‌سازی الگوی کشت و منابع آبی در مناطق گرم و خشک ایلام با هدف صرفه جویی در منابع آب با رویکرد تکنیک‌های کم آبیاری با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی برای یازده محصول آبی غالب دراراضی پایاب سد مخزنی دویرج دهلران واقع در جنوب غرب کشور انجام دادند. نتایج مطالعه موید آن است که الگوی کشت همراه با تکنیک کم‌آبیاری علاوه بر افزایش سود خالص و صرفه‌جویی مصرف آب کشاورزی نسبت به شرایط کشت موجود، می‌تواند در حفظ و پایداری منابع آب سطحی و زیرزمینی موثر واقع شود. اسعدی و نجفی علمدارلو (۱۳۹۸) الگوی بهینه کشت محصولات زراعی (گندم، جو، یونجه، پیاز، سیب‌زمینی، شبدر و اسپرس) را تحت شرایط کم‌آبی به‌منظور ارائه برنامه بهینه آبیاری و حصول بیشینه‌سازی سود ناخالص مزرعه بررسی نمودند. نتایج نشان داد که با تدوین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی، مقدار صرفه‌جویی آب در سناریوی اول تا سوم به ترتیب به میزان ۲۲/۱، ۳۰/۵ و ۳۵/۵ درصد و سود ناخالص مزرعه به ترتیب ٤/٦، ۹/۳ و ١٤/٨ درصد کاهش می یابد.

در خارج از کشور نیز Adeyemo و همکاران (۲۰۱۰) به منظور حداکثرسازی سود خالص کل و میزان تولید محصولات کشاورزی با هدف حداقل نمودن مصرف آب آبیاری در آفریقای جنوبی، از مدل برنامه‌ریزی کشت بهینه چند منظوره و تک منظوره استفاده نموده و نشان دادند که استفاده از مدل کشت بهینه تک‌منظوره می‌تواند نتایج بهتری نسبت به بکارگیری مدل کشت چندمنظوره ارائه دهد. XieTing و همکاران (۲۰۱۰) در خصوص مدیریت منابع آب کشاورزی لیانگژو در استان گانسو (در شمال غرب چین) با استفاده از برنامه‌ریزی خطی چندمنظوره فازی، اقدام به تعیین الگوی کشت بهینه نمودند. یافته‌ها بیانگر آن است که راه‌حل‌های ارائه شده توسط برنامه-ریزی خطی چندمنظوره فازی در مقایسه با برنامه‌ریزی خطی چندمنظوره می‌تواند رضایت بیشتری در تصمیم گیران با در نظر گرفتن اولویت‌های مدیریت در برنامه ایجاد نموده و راه‌حل‌های جایگزین برای پشتیبانی تصمیم گیری بهتر مورد استفاده قرار گیرد. Safari and Alijanian (۲۰۱۱) به‌منظور طراحی الگوی کشت مطلوب محصولات با توجه به محدودیت منابع آب سطحی و زیرزمینی، اقدام به تدوین یک مدل برنامه‌ریزی دینامیک فازی در دشت نجف آباد اصفهان نمودند. در این مدل، مقدار کمبود آب در نیازهای آبیاری محصولات با توجه به کنترل برداشت آب زیرزمینی و ظرفیت سیستم های آبیاری مد نظر قرار گرفته است. کالیبره نمودن مدل بیانگر آن است می‌تواند در مناطق خشک و نیمه خشک با توجه به شرایط آب و هوایی مورد استفاده قرار گیرد. Alabdulkader و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی نشان دادند که عربستان سعودی توانایی بهینه‌سازی الگوی کشت خود را دارد و سود خالص برآورد شده برای کشت محصولات مورد نظر برابر با ۲/٤۲ میلیارد دلار در سال با صرفه‌جویی ۵۳ درصدی در مصرف آب و کاهش ٤٨

درصدی در کاهش سطح زیرکشت زراعی نسبت به الگوی کشت پایه همراه شده است. Grag and Dadhich (۲۰۱٤) اقدام به بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات زراعی با روش برنامه‌ریزی غیرخطی یکپارچه تحت شرایط کمبود آبیاری با هدف به حداکثر رساندن درآمد خالص با توجه به محدودیت‌های منابع آب در دسترس نمودند. نتایج حاکی از آن بود که درآمد خالص کشاورزان حدود ۹۲/۵ درصد افزایش و سطح زیرکشت بهینه نهایی در حالت کم آبیاری ۱۰۹/۷ درصد افزایش داشته است اگرچه درآمد خالص به ازای هر هکتار از زمین‌های تحت آبیاری کاهش داشته است. Osman و همکاران (۲۰۱۷) با بهره‌گیری از روش برنامه‌ریزی خطی اقدام به حداکثرسازی بازده خالص سالانه کشت محصولات زراعی در سه منطقه قدیمی مصر نمودند. نتایج موید آن است که سطح زیرکشت محصولات غیراستراتژیک مانند پیاز، سیر، جو، کتان، شنبلیله، نخود، عدس دچار کاهش سطح زیرکشت قابل توجهی شده و برای محصولات استراتژیک مانند گندم، ذرت، شبدر، برنج، فرآورده های قند و پنبه تقریباً ثابت یا رو به افزایش می‌باشند. Rath و همکاران (۲۰۱۹) به بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از روش جستجوی فاخته در ایالت اودیشای هند پرداخته و نشان دادند که الگوی کشت پیشنهادی، سود خالص ۱/۰۷ میلیون دلار در سال را به همراه دارد و الگوی بهینه محصول از تکنیک جستجوی فاخته ۱/۲۹٦ میلیون دلار سود خالص دارد. Dayananda و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی الگوی کشت بهینه محصولات به در نظر گرفتن میزان دسترسی به آب و سوداوری مزارع در استان ماهاکان‌مولا هندوستان پرداختند. نتایج حاصل از روش برنامه‌ریزی خطی تحت سناریوهای متفاوت میزان بارندگی موید آن است که واریته برنج با طول عمر کوتاه[1] بیشتر در فصول خشکسالی و واریته برنج سنتی بیشتر در فصول ترسالی، در الگوی کشت منطقه پیشنهاده شده و دارای سودآوری بیشتری برای کشاورزان با توجه به وضعیت منابع آبی آن منطقه می‌باشد.

با توجه به مطالب ذکر شده در خصوص پیشینه تحقیق، ملاحظه می‌گردد که مسله اصلاح و بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی چه در داخل کشور چه در خارج از کشور، به‌ویژه در مناطقی که محدودیت منابع آب بیشتر به چشم می‌آید، همواره در کانون توجهات مطالعات اقتصاد آب بوده است. اما نکته قابل توجه اینکه علارغم حساسیت منابع آبی موجود در حوضه دشت شبستر با توجه به خشک شدن دریاچه ارومیه، برداشت بی‌رویه از منابع آبی در کنار پدیده تغییر اقلیم، تاکنون مطالعاتی محدودی در حوضه دشت شبستر انجام شده و این محدود مطالعات نیز بیشتر بر مسله کاهش مصرف آب تاکیده داشته و کمتر به مسله حداکثرسازی سود کشاورزان که همواره یک فاکتورهای کلیدی در تصمیم به کشت محصولات از سوی کشاورزان و به طور کلی الگوی کشت محصولات محسوب می‌گردد، به طور توام و همزمان توجه شده باشد. از طرف دیگر، در این مطالعات نیز کمتر از برنامه‌ریزی آرمانی چند هدفه بهره‌گرفته شده است. از این حیث مطالعه حاضر می‌تواند بر پرشدن این خلا تحقیقاتی در منطقه دشت شبستر با توجه به محدودیتهای ذکر شده کمک نماید و زمینه‌های بهره‌برداری اصولی از این منابع آبی و بهینه‌سازی الگوی کشت را در این منطقه فراهم نماید. براین اساس، هدف پژوهش حاضر ارائه الگوی بهینه کشت محصولات کشاورزی در حوضه دشت شبستر با اولویت قرار دادن محدودیت آبی منطقه و حفظ درآمد کشاورزان تحت سناریوهای مختلف می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در ادبیات مدیریت و اقتصاد، نیل به اهداف توام با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی میسر می‌باشد. برنامه‌ریزی ریاضی روشی است برای رسیدن به هدف تعیین شده، با توجه به قیدها و محدودیت‌هایی که اعمال می‌شود. زمانی که هدف مدیر یا برنامه‌ریز تنها رسیدن به

[1] Short-aged rice

یک هدف است، مدل‌های برنامه‌ریزی خطی متعارف بهترین الگو را پیشنهاد می‌دهند. به طور معمول هدف کشاورزان حداکثرسازی سود است اما در محیط کشاورزی معمولا اهداف مختلفی دنبال می‌شود و مسئولان کشاورزی و مدیران بخش زراعی نیز علاوه بر رسیدن به سود مورد نظر در پی اهداف دیگری از جمله کاهش مصرف آب نیز می‌باشند. بنابراین بایستی به سراغ مدل‌های برنامه‌ریزی چند هدفه رفت که یکی از روش‌های حل آن برنامه‌ریزی آرمانی است.

برنامه‌ریزی خطی قدیمی‌ترین تکنیک مورد استفاده در تحقیقات مدیریت مزرعه می‌باشد و به عنوان مبنا و پایه تمام روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی شناخته می‌شود. به طور کلی هر مدل برنامه‌ریزی ریاضی از دو قسمت اساسی تشکیل شده است: تابع هدف و محدودیت‌ها. بر این اساس ساختار الگوی برنامه‌ریزی خطی اولیه استاندارد به صورت رابطه ۱ می‌باشد (مهرگان، ۱۳۸۰):

$$\text{Max(Min)} \quad Z = \sum_{J=1}^{n} C_j X_j \qquad (۱)$$

$$\text{Subject to:} \quad i = 1,2,3,\ldots,m$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} X_j \begin{matrix} < \\ > \end{matrix} b_i$$

$$X_j \geq 0 \qquad j = 1,2,3,\ldots,n$$

در تابع هدف Z عبارتست از بازده برنامه‌ای کل یا بازده عوامل ثابت تولید که در حقیقت از کسر هزینه‌ها از درآمد ناخالص برنامه‌ای پیشنهادی به دست می‌اید. C_j بازده برنامه‌ای هر واحد فعالیت و X_j فعالیت‌های مربوط به تولید محصولات مختلف زراعی می‌باشد. در محدودیت اول a_{ij} مقدار مورد نیاز منابع را برای تولید هر واحد فعالیت (ضرایب فنی) و b_i مقدار کل نهاده یا منابع در دسترس را نشان می‌دهد. محدودیت دوم ($X_j \geq 0$) محدودیت غیرمنفی است یا به عبارتی هیچ فعالیتی منفی نخواهد بود.

به علت برخی محدودیت های مدل برنامه ریزی خطی، برخی از محققین ساختن مدل‌های ریاضی گسترده را پیشنهاد می‌کنند. یکی از مدل‌های پیشنهادی، مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی است. رهیافت برنامه‌ریزی آرمانی، روشی مبتنی بر اصول بهینه‌سازی ریاضی است که به منظور تجزیه و تحلیل تصمیم‌های نهایی و مطلوب مدیران و مسئولان به شکل نامعادلات خطی ظاهر می‌شود. این مدل به دلیل لحاظ کردن دستیابی همزمان به چند هدف بر مبنای اولویت، انعطاف-پذیری بیشتری در تصمیم‌گیری‌های واقعی مدیران واحدهای اقتصادی دارد. در این روش برای هر یک از اهداف یک مقدار مشخص عددی و سپس یک تابع هدف تعیین می‌شود. آنگاه مدل در جستجوی جوابی است که بتواند مجموع انحرافات از اهداف و اولویت‌ها را با در نظر گرفتن محدودیت‌های مختلف موجود، به حداقل برساند (Belaid and Torre, 2010). برخی از مزیت های استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی را می توان وجود اهداف غیرقابل جمع در بخش تولید توسط کشاورزان و دولت، تغییر در اهداف در طول زمان و امکان لحاظ آن در مدل، عدم دسترسی به اقلام واقعی هزینه و درآمد و امکان لحاظ سطوح آرمانی در مدل و نهایتا امکان اولویت‌گذاری اهداف و آرمانی در مدل بیان نمود (اسدپور و همکاران، ۱۳۸٤).

در برنامه‌ریزی آرمانی برای هر یک از اهداف ابتدا یک آرمان عددی برقرار می‌شود. سپس باید در جستجوی جوابی بود که جمع موزون انحراف اهداف از آرمان‌های مربوطه را کمینه سازد. به عبارت ریاضی، متغیرها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

X_j = متغیرهای تصمیم مساله، C_{jk} = ضریب X_j برای هدف kام در تابع هدف و G_k = آرمان هدف kام و در نتیجه:

$$\sum_{j=1}^{n} C_{j1} X_j - g_1 \qquad \text{(۲ الف)} \qquad \text{(آرمان اول)}$$

$$\sum_{j=1}^{n} C_{j2} X_j - g_2 \qquad \text{(۲ ب)} \qquad \text{(آرمان دوم)}$$

:

$$\sum_{j=1}^{n} C_{jk} X_j - g_k \qquad \text{(۲ ج)} \qquad \text{(آرمان kام)}$$

از آنجایی که دستیابی همزمان به کلیه آرمان‌ها امکان-پذیر نمی‌باشد، تابع هدف تلفیقی برای مدل برنامه‌ریزی آرمانی تعیین می‌شود. با این فرض که انحرافات مثبت و منفی از آرمان‌ها از اهمیت یکسانی برخوردار هستند، تابع هدف تلفیقی برای مدل برنامه‌ریزی آرمانی به صورت زیر خواهد بود (Seamus and Surendra, 2008 ؛ Stephen *et al*, 2009).

$$\text{Min} \quad Z = \sum_{k=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} C_{jk}X_j - g_k \qquad (۳)$$

حال اگر عبارت $\sum_{j=1}^{n} C_{jk}X_j - g_k$ معادل d_k تعریف گردد، در این صورت رابطه ٤ حاصل خواهد شد.

$$\text{Min} \quad Z = \sum_{k=1}^{n} d_k \qquad (٤)$$

از آنجایی که d_k می‌تواند مقدار مثبت یا منفی باشد می‌توان آن را با تفاضل دو متغیر غیر منفی جدید d_k^+ و d_k^- جایگزین نمود. در نتیجه خواهیم داشت:

$$d_k = d_k^+ - d_k^- \quad ،d_k^- \geq 0 \quad k = 1,2,...,k \qquad (٥)$$
$$d_k^+ \geq 0$$

مدل برنامه‌ریزی آرمانی ارائه شده می‌تواند با استفاده از روش سیمپلکس حل شود. جواب بدست آمده برای تمام متغیرها شامل (X_j) مقادیر d_k^+ و d_k^- برای تعیین مقادیر $d_k = d_k^+ - d_k^-$ مورد استفاده قرار گرفته و سپس کنار گذاشته می‌شوند.

در اکثر موارد یک محدودیت هدف شامل متغیر انحرافی موفقیت کمتر از حد (d_k^-) و متغیر انحرافی بیش از حد (d_k^+) می‌باشد، اما در شرایطی نیز ممکن است یکی از این دو متغیر در محدودیت هدف ظاهر نشود. اگر d_k^+ در محدودیت هدف ظاهر نشود بیانگر این واقعیت است که موفقیت بیش از حد این سطح از آرمان امکان-پذیر نیست. این نمونه‌ای از آرمان کران بالا است و مشابه نامعادله $\geq$ در مدل برنامه‌ریزی خطی است. در این حالت محدودیت هدف به صورت رابطه ٦ خواهد بود:

$$\sum_{j=1}^{n} C_{jk}X_j - d_k^- = g_k \Rightarrow \sum_{j=1}^{n} C_{jk}X_j \geq g_k \qquad (٦)$$

همچنین ممکن است انحرافات از برخی از آرمان‌ها مهم‌تر از انحراف از سایر آرمان‌ها باشد و یا برای یک آرمان مشخص، انحراف در یک جهت اهمیت بیشتری نسبت به جهت مخالف آن داشته باشد (Seamus and Surendra, 2008).

$$\text{Min} \quad Z = \sum_{k=1}^{n}(w_k^+ d_k^+ + w_k^- d_k^-) \qquad (٧)$$

S.t.:

$$\sum_{j=1}^{n} C_{jk}x_j - (d_k^+ - d_k^-) = g_k \Rightarrow k = 1,2,...,k$$

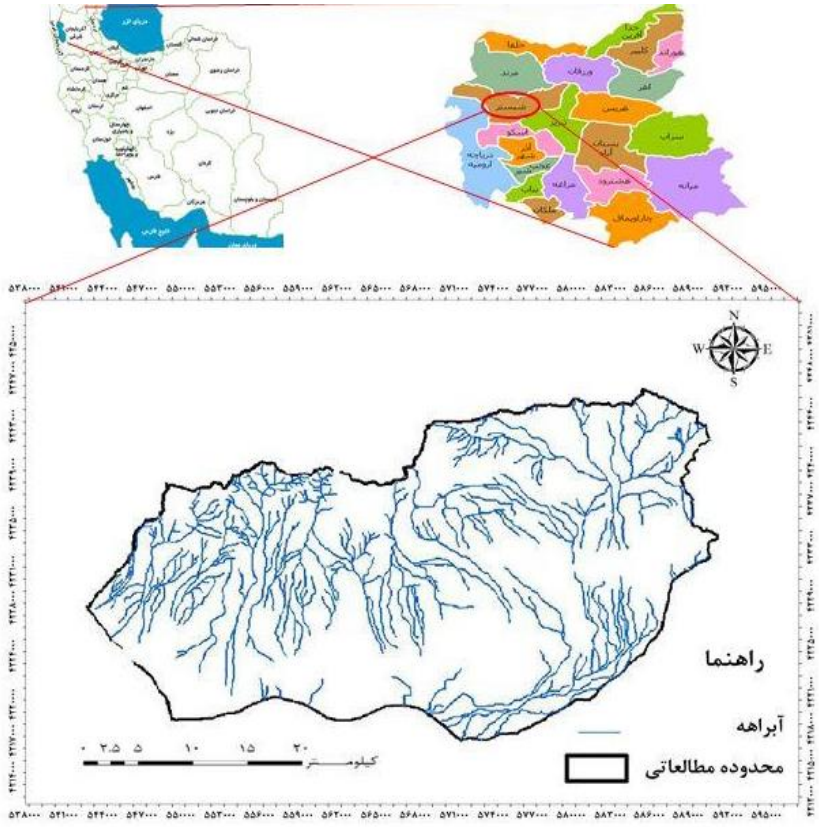
$$d_k^+ \geq 0 \qquad d_k^- \geq 0, \qquad x \geq 0$$

$$j = 1,2,...,n$$

در این تحقیق جهت بهینه‌سازی دو هدف در نظر گرفته شده است که می‌توان به حداکثرسازی سود کشاورزان و حداقل‌سازی استفاده از آب اشاره نمود. این اهداف در تضاد هم می‌باشند. به عبارت دیگر حداقل سازی آب در تضاد با حداکثرسازی سود است. به همین دلیل از برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شد تا این مساله حل گردد. لازم به ذکر است که بر اساس اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی، در بین محصولات زراعی تولیدی در منطقه مورد مطالعه، گندم آبی، گندم دیم، جو آبی، جو دیم، گوجه فرنگی و کلزا در مجموع ۷۸/۳٤ درصد از سطح زیر کشت اراضی زراعی شهرستان شبستر را تشکیل می‌دهند و بر این اساس در این مطالعه به این شش محصول پرداخته شد. برای بدست آوردن الگوی بهینه کشت با توجه به محدودیت آب و حداکثر کردن سود، سود (بازده خالص) هر کدام از محصولات محاسبه

گردید. برای محاسبه سود محصولات مختلف مقدار نهاده‌های مصرفی و همین طور قیمت آن‌ها (به عبارتی هزینه تولید) از پرسشنامه‌های هزینه تولید محصولات کشاورزی برای شهرستان شبستر استفاده شد. همچنین آمار و اطلاعات مربوط به میزان تولید کل، سطح زیرکشت، عملکرد در هکتار نیز از پرسشنامه‌هایی که هرساله به وسیله جهاد کشاورزی شهرستان شبستر جمع-آوری می‌شوند، بدست آمد[1]. کلیه اطلاعات مآخوذه مربوط به سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ بوده و جهت برآورد مدل، نرم‌افزار LINGO مورد استفاده قرار گرفت.

منطقه مطالعاتی دشت شبستر با وسعت ۱۲۹۰/۱۳٤ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی "٤۲، ' ۲٦، °٤٥ تا "۲۲، '۰٥، °٤٦ شرقی و عرض‌های جغرافیایی '۰٤، °۳۸ تا "۱۳، '۲۳، °۳۸ شمالی در ۳۵ کیلومتری مرکز استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است. عرضه مطالعاتی از شمال به ارتفاعات میشو داغ، از شرق به کوه مورو، از غرب به دشت تسوج و از جنوب به حاشیه ی دریاچه ارومیه محدود می‌گردد. این منطقه شامل ۱۰ زیرحوضه بوده که مشرف به شهرهای صوفیان، سیس، شبستر، خامنه، شرفخانه و روستاهای نعمت الله، سفیدکمر، گل آباد، نوجه ده، دریان، کوزه کنان، مشنق و هریس می‌باشد، که از این زیرحوضه‌ها ٤ حوضه آبخیز شامل صوفیان چای، علی چای سیس و دریان چای نقش موثری در تغییران ژئومورفولوژی منطقه دارد. حداکثر ارتفاع منطقه ۳۱٤۰ متر در قله کوه علمدار و حداقل آن ۱۲۸۰ متر از سطح دریا در ناحیه دشت می‌باشد (شکل ۱). آبخوان شبستر یک آبخوان ساحلی است که در ٦۰ کیلومتری غرب شهرستان تبریز و در ساحل دریاچه روبه افول ارومیه قرار گرفته است.



شکل ۱. محدوده مطالعاتی پژوهش[1]

[1] طبیعی است جمع آوری داده‌ها در طول سالهای متفاوت کمک شایانی بر تحلیل‌ها و نتایج بهتر خواهد نمود که در مطالعه این امکان مقدور نبود که به عنوان یکی از محدودیت‌های مطالعه حاضر تلقی می‌گردد.

نتایج و بحث

برای استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی در گام اول، ضرایب فنی تولید محصولات زراعی مختلف در منطقه محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. در این جدول، PM، قیمت بازاری هر کیلوگرم محصول در زمان برداشت بر حسب میلیون ریال، RA، عملکرد هر هکتار محصول بر حسب کیلوگرم، B، درآمد هر هکتار محصول برحسب میلیون ریال، G، سود خالص هر هکتار محصول بر حسب کیلوگرم، L، نیروی کار مورد نیاز هر هکتار محصول برحسب نفر روز کار، MA، میانگین ساعات کار ماشین‌آلات مورد نیاز برای کشت و کار در هر هکتار زمین بر حسب هکتار/ ساعت، W، میانگین مصرف آب هر هکتار محصول بر حسب متر مکعب، FE، کود شیمیایی مورد نیاز هر هکتار محصول بر حسب کیلوگرم و SE، سموم شیمیایی مورد نیاز هر هکتار محصول بر حسب لیتر می‌باشند. جهت دستیابی به اهداف مطالعه پس از تعیین کلیه محدودیت‌ها شامل آب، کود، کارگر، ماشین‌آلات، کود، سم و سایر محدودیت‌های دیگر مدل مربوط به این مطالعه، در نرم افزار مربوطه وارد گردید. در ادامه نتایج حاصل از برآورد الگوی بهینه کشت تحت سه سناریوی مختلف شامل ۱- حداکثرسازی سود خالص، ۲- حداقل‌سازی مصرف آب و ۳- دستیابی همزمان به حداکثرسازی سود خالص و حداقل‌سازی مصرف آب ارائه شد.

سناریوی اول: الگوی پیشنهادی برنامه‌ریزی خطی متعارف تک هدفه با هدف حداکثر سازی سود خالص

نتایج بدست آمده الگوی کشت بهینه با هدف حداکثر کردن سود خالص با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی در جدول ۲ فراهم آمده است. در این جدول الگوی بهینه با هدف حداکثرسازی سود با الگوی موجود مقایسه می‌شود. انتظار می‌رود با توجه به اینکه هدف تنها حداکثر کردن سود خالص است، محصولات پیشنهادی، محصولاتی با سود بالا در هکتار با توجه به محدودیت‌ها باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود سطح زیر کشت وضعیت فعلی در صورت اجرای الگوی بهینه تغییر کرده است. محصولات پیشنهادی این الگو تحت هدف حداکثر کردن سود سه محصول گندم دیم، گوجه فرنگی و کلزا می‌باشند. افزایش سطح زیرکشت گندم دیم، گوجه‌فرنگی و کلزا به ترتیب به میزان ۱٤/۳۳، ۵۷۹/۵ و ۸۰۰۱/۳ درصد می‌باشد. در بین محصولات زراعی انتخابی گوجه‌فرنگی بیشترین افزایش سطح زیرکشت را داشته و به عبارتی یک محصول حائز اهمیت در افزایش سود خالص می‌باشد. نتایج حاصل با یافته‌های خاشعی و همکاران (۱۳۹۳)، میرزایی و همکاران (۱۳۹٦) و Osman و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد؛ در این مطالعات نیز تنها زمانیکه حداکثرسازی سود مد نظر قرار می‌گرفت محصولات آب-بر ولی در عین حال پرسود وارد الگوی کشت شده و محصولات کم آب با سود کم حذف می‌گردد. بنابراین می‌توان گفت که الگوی کشت منطقه مورد نظر در مطالعه حاضر با توجه به بیشینه‌سازی سود یک الگوی بهینه نیست. در این الگو، هدف حداکثر سازی سود در جهت مطلوب و هدف حداقل‌سازی مصرف آب در جهت نامطلوب پیش رفته است.

نتایج بیشتر نشان می‌دهد بر خلاف اینکه گندم آبی و جو آبی بیشترین سطح زیر کشت را در الگوی وضع موجود داشتند، اما با اجرای الگوی بهینه از مدل حذف شدند. از دیگر نتایج جدول ۲ این است که با مدنظر داشتن هدف واحد افزایش سود خالص، ارائه الگوی بهینه کشت این هدف را به میزان ۳۸۲/۲ درصد افزایش می‌دهد. بطوریکه سود خالص که تحت الگوی کشت فعلی ۲٦۳/۱ میلیارد ریال برآورد شده است، تحت هدف افزایش سود خالص و الگوی بهینه مربوطه به رقم قابل توجه ۱۲٦۸/۷ میلیارد ریال افزایش می‌یابد. همچنین در نتیجه الگوی بهینه مذکور، مصرف آب نیز به اندازه ٤٤/۳ درصد افزایش داشته است که طبیعتا مطلوب هدف برنامه-ریزی در شرایط فعلی نیست.

جدول ۱. ضرایب فنی تولید محصولات زراعی دشت شبستر

محصول	PM	RA	B	C	G	L	MA	W	FE	SE
گندم آبی	٤٢٢٠	۰/۰۱۷	۷۱/۷	۵۵	۱٦/۷	۲۰	۲۱/۵	۵۰۰۰	۳۳۰	۳
گندم دیم	۱۲۰۰	۰/۰۱۷	۲۰/٤	۲۰	۰/٤	۱۰	۱٤/۵	۰	۱۲۵	۲
جو آبی	۳۵۰۰	۰/۰۱۱٦	٤۰/۹۲	۳۸	۲/۹۲	۲۰	۲۱/۵	٤۰۰۰	۲۰۰	۳
جو دیم	۱۱۰۰	۰/۰۱۱٦	۱۲/۸٦	۱۲/۵٤	۰/۳۲	۱۰	۱۵	۰	۱۰۰	۲
گوجه فرنگی	٤۲۰۰۰	۰/۰۲	۸٤۰	۲۵۰	۵۹۰	۱۵۰	۸	۱۷۰۰۰	٦۵۰	٦
کلزا	۲۱۰۰	۰/۰۳۲۳	٦۸/۰۱	۲۷	٤۱/۰۱	۲۵	۱۳/۵	۵۰۰۰	۵۵۰	٤

منبع: سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی، ۱۳۹٦

جدول ۲. نتایج حاصل از الگوی بهینه کشت در دشت شبستر با هدف حداکثر سازی سود

محصول	سطح زیر کشت موجود (هکتار)	سطح زیر کشت با هدف حداکثر کردن سود (هکتار)	درصد تغییرات نسبت به وضع موجود
گندم آبی	٦٤۳۰	۰	-۱۰۰
گندم دیم	۱۳٦۰	۱۵۵۵	۱٤/۳۳
جو آبی	۱٤۲۰	۰	-۱۰۰
جو دیم	۱۹۵	۰	-۱۰۰
گوجه فرنگی	۲۵۰	۱٦۹۸/۸٤	۵۷۹/۵
کلزا	۸۰	٦٤۸۱/۱	۸۰۰۱/۳
کل	۹۷۳۵	۹۷۳۵	-
سود خالص (میلیارد ریال)	۲٦۳/۱	۱۲٦۸/۷	۳۸۲/۲
آب (میلیون متر مکعب)	٤۲/٤	٦۱/۲	٤٤/۳

سناریوی دوم: الگوی پیشنهادی برنامه‌ریزی خطی متعارف تک هدفه با هدف حداقل سازی مصرف آب

زمانی که هدف برنامه ریز در مدل برنامه‌ریزی خطی؛ تنها حداقل کردن مصرف آب است، مطابق با جدول ۳ مشاهده می‌شود که کشت محصولات گندم دیم و جو آبی به ترتیب به میزان ۱٤ و ٤۷٦/۰۵ درصد افزایش خواهد یافت. سطح زیر کشت محصولات گندم آبی، جو دیم، گوجه‌فرنگی و کلزا با کاهش ۱۰۰ درصدی نسبت به وضعیت موجود به صفر می‌رسد. مشاهده می‌شود که محصولات پیشنهادی در این الگو که شامل جو آبی و گندم دیم می‌باشد، به ترتیب از کمترین میزان مصرف و عدم استفاده از آب زراعی مطابق با محدودیت‌های اعمال شده، برخوردار می‌باشند. کشت محصولات آب‌بر مانند گوجه فرنگی در این الگو پیشنهاد نشده است. مطابق جدول، زمانی که هدف برنامه‌ریز تنها کاهش مصرف آب باشد، آب مصرفی به میزان ۲۲/۸۷ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین در اثر اجرای الگوی بهینه تحت هدف حداقل سازی مصرف آب، سود خالص نیز به اندازه ۹۰/٦ درصد کاهش خواهد یافت. Adeyemo و همکاران (۲۰۱۰) و XieTing و همکاران (۲۰۱۰)، نیز نشان دادند که زمانی‌که هدف حداقل‌سازی مصرف آب بوده، تاکید الگوی کشت بهینه حاصل بیشتر بر روی محصولات با نیاز آبی کم می باشد؛ لذا این یافته تحقیق حاضر نیز هم-راستا با نتایج این مطالعات یاد شده می‌باشد.

سناریوی سوم: الگوی پیشنهادی برنامه‌ریزی آرمانی جهت دستیابی همزمان به اهداف حداکثرسازی سود و حداقل سازی مصرف آب

نتایج بدست آمده از حل الگوی برنامه‌ریزی آرمانی در جدول ٤ نشان داده شده است. در این الگو هدف اصلی پژوهش به‌دست آوردن سطح زیر کشت بهینه جهت دستیابی همزمان به اهداف حداکثر سازی سود و حداقل سازی آب می‌باشد. براساس نتایج این الگو گندم آبی با کاهش ۵۵/۱ درصدی نسبت به وضع موجود بایستی به مقدار ۲۸۸۱/۷٤ هکتار کشت شود و همین‌طور گندم دیم با کاهش ۳٤/٦ درصدی به مقدار ۸۸۸/۵ هکتار، جو آبی با رشد ۷۸/۵ درصدی به مقدار ۲۵۳۵/۸ هکتار، جو دیم با رشد ۲٤۱/۸ درصدی به مقدار ٦٦٦/٤ هکتار، گوجه فرنگی با کاهش ۲۹/۷ درصدی به مقدار ۱۷۵/٦ هکتار و کلزا با رشد ۳۱۳۳/۳ درصدی به مقدار ۲۵۸٦/۷ هکتار کشت شوند. همچنین مطابق جدول ٤ مقادیر سود خالص و مقدار مصرف آب در الگوی برنامه‌ریزی آرمانی و درصد تغییرات نسبت به وضعیت موجود مقایسه شده است. بر اساس این نتایج، سود خالص با ۱/۱ درصد رشد نسبت به وضعیت کنونی از ۲٦۳/۱ میلیون ریال به ۲٦۵/۹ میلیون ریال رسیده است. در این الگوی بهینه نیز مصرف آب با کاهش ٤/۷۱ درصدی از ٤۲/٤ میلیون متر مکعب به ٤۰/٤ میلیون متر مکعب رسیده است. اسعدی و نجفی علمدارلو (۱۳۹۸) و Rath و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان دادند که مد نظر قرار گرفتن توام حداکثرسازی سود و مصرف آب کمتر، منجر به ارایه الگوی کشت با محصولاتی با کاهش مصرف نسبی منابع آبی و در عین حال افزایش نسبی سود کشاورزان بوده و محصولاتی که این ویژگی‌ها را دارند وارد الگو کشت بهینه منطقه می‌گردند که این نتایج با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی دارد.

جدول ۳. نتایج حاصل از الگوی بهینه کشت در دشت شبستر با هدف حداقل سازی مصرف آب

محصول	سطح زیر کشت موجود (هکتار)	سطح زیر کشت با هدف حداقل کردن آب (هکتار)	درصد تغییرات نسبت به وضع موجود
گندم آبی	٦٤۳۰	۰	-۱۰۰
گندم دیم	۱۳٦۰	۱۵۵۰	۱٤
جو آبی	۱٤۲۰	۸۱۸۰	٤۷٦/۰۵
جو دیم	۱۹۵	۰	-۱۰۰
گوجه فرنگی	۲۵۰	۰	-۱۰۰
کلزا	۸۰	۰	-۱۰۰
کل	۹۷۳۵	۹۷۳۵	-
سود خالص (میلیارد ریال)	۲٦۳/۱	۲٤/۵	-۹۰/٦
آب (میلیون متر مکعب)	٤۲/٤	۳۲/۷	-۲۲/۸۷

جدول ٤. نتایج حاصل از الگوی بهینه کشت در دشت شبستر تحت مدل برنامه‌ریزی آرمانی

محصول	سطح زیر کشت موجود (هکتار)	سطح زیرکشت جهت دستیابی به اهداف حداکثرسازی سود و حداقل کردن آب (هکتار)	درصد تغییرات نسبت به وضع موجود
گندم آبی	٦٤۳۰	۲۸۸۱/۷٤	-۵۵/۱
گندم دیم	۱۳٦۰	۸۸۸/۵	-۳٤/٦
جو آبی	۱٤۲۰	۲۵۳۵/۸	۷۸/۵۷
جو دیم	۱۹۵	٦٦٦/٤	۲٤۱/۸
گوجه فرنگی	۲۵۰	۱۷۵/٦	-۲۹/۷
کلزا	۸۰	۲۵۸٦/۷	۳۱۳۳/۳

کل	۹۷۳۵	۹۷۳۵	–
سود خالص (میلیارد ریال)	۲۶۳/۱	۲۶۵/۹	۱/۱
آب (میلیون متر مکعب)	٤۲/٤	٤۰/٤	-٤/۷۱

مقایسه نتایج الگوی بهینه کشت محصولات کشاورزی بر اساس مدل‌های برنامه ریزی خطی و برنامه ریزی آرمانی

	وضعیت فعلی	نتایج سناریوی اول	نتایج سناریوی دوم	نتایج سناریوی سوم
	سطح زیر کشت موجود	سطح زیرکشت پیشنهادی تحت هدف حداکثرسازی سود	سطح زیر کشت پیشنهادی تحت هدف حداقل‌سازی آب	سطح زیرکشت پیشنهادی تحت هدف دستیابی همزمان به حداکثر سود و حداقل مصرف آب
گندم آبی	٦٤۳۰	۰	۰	۲۸۸۱/۷٤
گندم دیم	۱۳٦۰	۱۵۵۵	۱۵۵۰	۸۸۸/۵
جو آبی	۱٤۲۰	۰	۸۱۸۰	۲۵۳۵/۸
جو دیم	۱۹۵	۰	۰	٦٦٦/٤
گوجه فرنگی	۲۵۰	۱٦۹۸/۸٤	۰	۱۷۵/٦
کلزا	۸۰	٦٤۸۱/۱	۰	۲۵۸٦/۷
کل	۹۷۳۵	۹۷۳۵	۹۷۳۵	۹۷۳۵
سود خالص (میلیارد ریال)	۲٦۳/۱	۱۲٦۸/۷	۲٤/۵	۲٦۵/۹
آب (میلیون متر مکعب)	٤۲/٤	٦۱/۲	۳۲/۷	٤۰/٤

جهت انجام مقایسه، در جدول ۵، نتایج مربوط به سطح زیر کشت برآورد شده محصولات مختلف، سود خالص و میزان آب مصرف شده تحت سه سناریوی مطرح شده ارائه شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد در نظر گرفتن دو هدف در الگوی برنامه‌ریزی آرمانی باعث انعطاف‌پذیری بالای مدل شده و مدل را دچار تغییراتی نسبت به الگوی برنامه‌ریزی خطی متعارف (تک هدفه) در هر یک از اهداف مختلف کرده است. می توان گفت مهمترین نتیجه مربوط به محصول کلزا می باشد، بطوریکه سطح زیر کشت محصول کلزا در الگوی کشت بهینه نسبت به الگوی کشت فعلی به دلایل کم بودن نیاز آبی و بالا بودن نسبی سود، افزایش چشمگیری در سطح زیر کشت داشته است. همچنین کاهش سطح زیرکشت گوجه فرنگی به بالا بودن نیاز آبی این محصول ارتباط پیدا می‌کند که با یافته‌های میرزایی و همکاران (۱۳۹٦) تطابق دارد. در جدول ۵، مقایسه سود کل محصولات زراعی تحت وضعیت موجود و اهداف در نظر گرفته شده نیز فراهم شده است. بر اساس نتایج، بیشترین سود کل تحت هدف حداکثرسازی سود بدست آمده که برابر ۱۲٦۸/۷ میلیون ریال بوده و کمترین میزان سود حاصل از کشت محصولات زراعی با اجرای هدف حداقل سازی مصرف آب حاصل گردیده است. سود حاصل از دستیابی همزمان به اهداف حداکثر سود و حداقل مصرف آب بیشتر از وضعیت موجود و کمتر از سود هدف حداکثرسازی سود بوده است. همچنین در جدول ۵ نتایج مربوط به میزان مصرف آب محصولات زراعی منتخب تحت اهداف مورد نظر و نیز وضعیت موجود گزارش شده است. طبق نتایج جدول، کمترین میزان مصرف آب زراعی تحت هدف حداقل‌سازی مصرف آب بدست آمده و بیشترین آن در اثر اجرای الگوی کشت با هدف حداکثر سازی سود بدست آمده است. مقدار مصرف آب زراعی با هدف دستیابی همزمان به حداکثر سود و حداقل مصرف آب، کمتر از وضعیت موجود ولی بیشتر از مصرف آب تحت هدف حداقل‌سازی آب مصرفی بوده است. نتایج حاصل از مطالعات عوض‌یار و همکاران (۱۳۹۷)، شاکری و همکاران (۱۳۹۸) و Grag and Dadhich (۲۰۱٤) نیز تاییدکننده یافته-های حاضر بوده و در راستای هم می‌باشند.

نتیجه‌گیری

این پژوهش به ارائه الگوی بهینه کشت در حوضه دشت شبستر با استفاده از مدل‌های برنامه ریزی ریاضی خطی و آرمانی پرداخت. برای این منظور سه سناریو بررسی شد که سناریوی اول هدف حداکثرسازی سود خالص، سناریوی دوم هدف حداقل سازی مصرف آب و سناریوی سوم دستیابی همزمان به اهداف حداکثرسازی سود و حداقل سازی مصرف آب را دنبال کرد. لازم به ذکر است با توجه به اینکه کشاورزان عموما در قبال تغییرات عمده از خود مقاومت نشان می دهند، لذا جهت نتیجه گیری بهتر و سریع‌تر سعی شد در اعمال محدودیت‌های مدل بحث تعدیل با کمترین تغییرات در الگوی فعلی کشت در منطقه و نه تغییر الگوی کشت فعلی منطقه مورد نظر باشد. بدین ترتیب پذیرش تغییرات پیشنهادی در الگوی کشت برای کشاورزان منطقه امکان‌پذیر خواهد بود. همچنین، تحت الگوی کشت جاری، محصولات عمده زراعی منطقه شامل گندم آبی، گندم دیم، جو آبی، گوجه‌فرنگی و کلزا بودند. مقایسه الگوی کشت فعلی و الگوی کشت بهینه بیانگر این موضوع است که الگوی فعلی بهینه نبوده و باید نسبت به بهینه کردن الگوی کشت اقدام کرد. با توجه به اینکه مطابق نتایج حاصله اجرای سناریوی دستیابی همزمان به حداکثر سود و حداقل مصرف آب، ضمن افزایش سود خالص کشاورزان به میزان ۱/۱ درصد، از مصرف منابع آبی منطقه به اندازه ٤/٧١ درصد کاسته می‌شود و با توجه به ضرورت حفظ منابع آبی کشور در برنامه‌ریزی‌های توسعه، الگوی منتخب منطقه می‌تواند به‌عنوان یک نمونه اجرایی و با در نظر گرفتن قیود و محدودیت‌های منطقه‌ای توسط امور آب منطقه‌ای اعمال شود. طبیعتا، آموزش کشاورزان در خصوص آگاهی از مزایا و معایب الگوهای موجود و پیشنهادی به منظور بالا بردن قابلیت اجرایی مطالعه ضروری است.

مطابق نتایج حاصله، در الگوی بهینه کشت تحت الگوی برنامه‌ریزی آرمانی، کلزا محصول حائز اهمیت بوده و بایستی در این منطقه نسبت به کشت این محصول در حجم بیشتر متناسب با تقاضای بازار اقدام شود. این در حالی است که کلزا یک محصول استراتژیک بوده و توصیه وزارت جهاد کشاورزی نیز بر توسعه کشت این محصول می باشد. بر این اساس توصیه می‌شود با توجه به کمبود آب، برنامه های ترغیب کشت کلزا در منطقه با همت و جدیت بیشتر دنبال گردد. همچنین مطابق نتایج حاصله، در تمامی الگوهای پیشنهادی، محصول گندم دیم بیشترین میزان تامین‌کننده اهداف مختلف بوده و مهم‌ترین محصول می‌باشد. به عبارتی بر خلاف سایر محصولات که حداقل در یکی از اهداف سطح زیر کشت پیشنهادی برای آن صفر بوده است، در مورد محصول گندم دیم در هیچ کدام از اهداف، سطح زیر کشت آن صفر نبوده و توصیه بر کشت این محصول می باشد. این نتیجه مطابق برنامه های راهبردی دولت می‌باشد و لذا با در نظر گرفتن محدودیت منابع آب و جهت تامین امنیت غذایی کشور، کشت این محصول برای کشاورزان منطقه توصیه می‌گردد. همچنین، با توجه به نتایج حاصل از برآورد سناریوی حداقل سازی مصرف آب که باعث کاهش سود خالص کشاورزان از ۲٦۳/۱ میلیون ریال در الگوی کشت فعلی به ۲٤/۵ میلیون ریال در الگوی بهینه می‌شود، حمایت بیشتر دولت از کشاورزان به کار گیرنده الگوی کشت بهینه الزامی است. حمایت‌هایی از قبیل تامین به موقع اعتبارات کم-بهره، اعمال قیمت‌های تضمینی متفاوت، در نظر گرفتن یارانه برای نهاده‌هایی از قبیل ماشین‌آلات و بذرهای اصلاح شده و ترویج کشاورزی علمی و پیشرفته برای الگوی کشت حاصله در این مطالعه مانند کشت کلزا و گندم دیم می‌توانند گام‌های موثر برای مقابله با کم‌آبی تلقی شوند. همانطوریکه ملاحظه گردید مطالعه حاضر نیز همانند سایر مطالعات مشابه در این زمینه، تنها یک راهنمای ارزنده در خصوص الگوی کشت بهینه محصولات در منطقه مورد مطالعه در اختیار سازمان جهاد کشاورزی قرار می‌دهد. طبیعی است که در صورت عدم رعایت و تبعیت کشاورزان از این الگو، عملا نتیجه خاص حاصلی نخواهد داشت که البته این مسله یکی از محدودیت‌های جدی این چنین مطالعاتی است و بایستی اقداماتی از سوی دولت و نهادهای مربوطه در راستای تشویق و هدایت کشاورزان به این سمت اتخاذ گردد. لذا توصیه می‌شود در مطالعاتی آتی بیشتر بر روی راهکارها، سیاست‌ها و برنامه‌های کاربردی دولت جهت دستیابی به این هدف طراحی و انجام پذیرد.

منابع مورد استفاده

اسدپور، ح.، خلیلیان، ص. و پیکانی، غ. ۱۳۸٤. نظریه و کاربرد مدل برنامه‌ریزی خطی آرمانی فازی در بهینه‌سازی الگوی کشت. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۳: ۳۲۸-۳۰۷.

اسعدی، م.ع. و نجفی علمدارلو، ح. ۱۳۹۸. ارزیابی اقتصادی الگوی بهینه کشت در راستای کاهش استفاده از منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان. مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۵۰: ٤۳-۲۹.

بی نام، ۱۳۸٦. گزارش ارائه مطالعه و وضعیت هیدروژئولوژیکی دشت‌های اداری شبکه پیزومتریک. دفتر مطالعات آب‌های زیرزمینی، معاونت مطالعات و پژوهش منابع آب، وزارت نیرو، تهران.

تقی زاده.، س.، نوید، ح.، فعله گری، ر. و فاخری فرد، ا. ۱۳۹۲. تغییر الگوی کشت بهینه با توجه به ریسک و محدودیت‌های جدید اعمالی شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان (مطالعه موردی مزرعه ۲۰۰ هکتاری در دشت دهگلان). نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۳ (۱): ۷۱-۸٤.

خاشعی سیوکی، ع.، قهرمان، ب. و کوچک زاده، م. ۱۳۹۳. تعیین الگوی کشت بهینه برای جلوگیری از افت آب زیرزمینی با الگوریتم PSO. نشریه پژوهش آب ایران، ۱٤: ۱۳۷-۱٤٦.

شکری، ح.، نجارچی، م.، جعفری‌نیا، ر.، مختاری، ش. و علیزاده، ح. ۱۳۹۸. بهینه‌سازی الگوی کشت و منابع آب در سطوح مختلف آبیاری برای مناطق گرم و خشک (مطالعه ی موردی، دشت‌های دهلران استان ایلام). تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰(٦): ۵۲-۱۳٦۰.

عوض‌یار، م. ر.، احمدپور، م. و ضیایی، س. ۱۳۹۷. بهینه‌سازی الگوی کشت جهت افزایش بازده آبیاری در اراضی پایاب سد ملاصدرا در استان فارس. مجله مهندسی منابع آب، ۱۱ (۱): ۲۱- ۳۲.

مجیدی، ن.، علیزاده، ا.، قربانی، م.، انصاری، ح. و بنایان اول، م. ۱۳۹٤. بررسی تأثیر بخش تقاضای بازار آب بر الگوی کشت بهینه، درآمد کشاورزان و استفاده پایدار از منابع آب (محدوده مطالعاتی مشهد-چناران). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۹ (۵): ۸۲۰-۸۲۹.

مختاری مطلق، پ. شریفان، ح. ۱۳۹۲. تعیین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی با نرم افزار Lingo (مطالعه موردی: منطقه حنا-سمیرم). اولین همایش ملی انجمن آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه آزاد خوزستان.

مهرگان، م. ۱۳۸۰. پژوهش عملیاتی نشر کتاب دانشگاهی برنامه‌ریزی خطی. تالیف هیلیر و لیبرمن، تهران، انتشارات نشر تندر.

میرزایی، ع.، لیانی، ق.، آزرم، ح. و جمشیدی، س.. تعیین الگوی کشت بهینه بخش مرکزی شهرستان سیرجان با توجه به پایداری منابع آب و محیط زیست. مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۹ (۳٦): ۲۸۳-۳۰٤.

Adeyemo, J., Bux, F. and Otieno, F. 2010. Differential evolution algorithm for crop planning: Single and multi-objective optimization model. International Journal of the Physical Sciences, 5(10): 1592-1599.

Alabdulkader, A. M., Al-Amoud, A. I., and Awad, F. S. 2012. Optimization of the cropping pattern in Saudi Arabia using a mathematical programming sector model. Agricultural Economics, 58(2): 56-60.

Belaid, A. and Torre, D.L. 2010. A generalized stochastic goal programming model. Applied Mathematics and Computation, 215(12): 4347-4357.

Dayananda, D., Weerahewa, J. and Weerasooriya, S. A. 2021. Water Availability, Crop Choices and Profitability of Farming: A Case Study of Mahakanumulla Tank Village. Tropical Agricultural Research, 32(1): 81-94

Grag, N.K., Dadhich, S. M. 2014. Integrated non-linear model for optimal cropping pattern and irrigation scheduling under deficit irrigation. Agricultural Water Management, 140: 1-13

Osama, S., Elkholy, M., & Kansoh, R. M. 2017. Optimization of the cropping pattern in Egypt. Alexandria Engineering Journal, 56(4): 557-566.

Rath, A., Samantaray, S., and Swain, P. C. 2019. Optimization of the Cropping Pattern Using Cuckoo Search Technique. In Smart Techniques for a Smarter Planet (pp. 19-35). Springer, Cham.

Safavi, H.R., Alijanian, M.A. 2011. Optimal crop planning and conjunctive use of surface water and groundwater resources using fuzzy dynamic programming. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 137(6): 383-397.

Seamus, M. and Surendra, M. 2008. Lexicographic Goal Programming and Assessment Tools for a Combinatorial Production Problem, Available Instant access upon order completion, 116 pp.

Stephen, C., Leung, H. and Shirley, S.W. 2009. A goal programming model for aggregate production planning with resource utilization constraint. Computers and Industrial engineering, 56: 1053-1065.

XieTing, Z., ShaoZhong, K., FuSheng, L., Lu, Z.h. and Ping, G. 2010. Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. Agricultural Water Management, 98 (1): 134-142.

ISSN 2251-7480

Optimization of the crop cultivation in the *Shabestar* plain under water constraint

Ali Panahi[1] and Azadeh Falsafian[2*]

1) MSc., Department of Agricultural Management, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
2*) Assistant Professor, Department of Agricultural Management, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
*Corresponding author email: Falsafian@iaut.ac.ir

Received: 30-09-2020 Accepted: 05-05-2021

Abstract

According to Iran's semi-arid and dry climate, water as one of the limiting factors of production plays an important role in determining the type and combination of farming activities. Adverse effects of reduction of Water Resources in many areas of Iran's agriculture are considerable. It seems that these undesirable effects are so evident in *Shabestar* plain as one of the agricultural poles of the *West Azerbayjan* province and excessive underground water harvesting have affected the agricultural sustainability of the case study region. Determining optimal cropping pattern according to the resources and constraints of each region is considered as one approaches to the evolution in the agricultural system and moving towards sustainability. The main purpose of this study is to determine the optimal cropping pattern in the *Shabestar* plain subject to the water constraint. For this purpose, linear programming and goal programming methods were used, under some scenarios in order to achieve maximum profit and minimum water consumption. The results of optimal pattern under profit maximization goal show that the profit and water consumption increase by 382.2 and 44.3 percent respectively and also minimizing water consumption objective associates with decreasing 90.6 and 22.78 percent framing profit and water consumption, respectively. However, considering the optimal cropping pattern under the scenario of achieving profit maximization and minimum water consumption simultaneously, shows profit increase by 1.1 percent and water consumption decrease by 4.71 percent. Under this situation, the acreage of irrigated barley, rained barley and rapeseed had increased and also the highest increase in the acreage was related to the rapeseed, which is the strategic crop and the rained wheat also keep in the cropping pattern, which is more important in the nation food security.

Keywords: Crop Pattern; Goal Programming; *Shabestar* plain; Water Constraint.