

تعیین الگوی کشت بهینه سازگار با کم‌آبی تحت شرایط عدم قطعیت با رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی

استوار

فاطمه ثانی^{۱*}، قادر دشتی^۲

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۱۴

۱- دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- استاد اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبه، پست الکترونیکی: fateme.sani69@yahoo.com

چکیده

تغییر الگوی کشت با توجه به تغییر اقلیم و تداوم خشکسالی‌ها از رویکردهای اساسی سیاست‌گذاران بخش کشاورزی جهت سازگاری با کم‌آبی است و اجرای طرح تغییر الگوی کشت در شهرستان سراب به عنوان یکی از نقاط عمده تولید محصولات کشاورزی در استان آذربایجان شرقی احساس می‌شود. از آنجایی که عدم قطعیت از جمله جوانب اجتناب‌ناپذیر در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های زراعی است، لذا مطالعه حاضر به معرفی و کاربرد مدل برنامه‌ریزی آرمانی استوار (RGP) در بهینه‌سازی الگوی کشت تحت شرایط عدم قطعیت در شهرستان سراب می‌پردازد. آمار و اطلاعات مطالعه از سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی و تکمیل پرسشنامه طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ بدست آمد. علاوه بر رهیافت RGP، مدل‌های LP و GP برای تعیین الگوی بهینه کشت بکار گرفته شدند. نتایج بیانگر برتری مدل RGP بر دیگر مدل‌ها به لحاظ دستیابی همزمان به اهداف حداکثر سود و کاهش مصرف آب می‌باشد که نشان‌دهنده بهینه بودن وضعیت موجود بهره‌برداری از آب در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. اجرای الگوی بهینه کشت براساس مدل RGP باعث افزایش سود و اشتغال به ترتیب به میزان ۱/۷ و ۱/۳۲ درصد و همچنین کاهش مصرف آب، کود و سموم شیمیایی به ترتیب به مقدار ۷/۷، ۱۲/۳ و ۱۲ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی می‌گردد. در میان محصولات مورد مطالعه، گندم بیشترین افزایش سطح زیر کشت را داشته است. از این‌رو یک محصول حائز اهمیت در منطقه است و بایستی نسبت به کشت آن به عنوان یک محصول استراتژیک در مساحت بیشتر اقدام شود.

واژه‌های کلیدی: آب، الگوی بهینه کشت، بهینه‌سازی استوار، سراب، عدم قطعیت

Determining Optimal Cropping Pattern for Adaptation of Water Scarcity under Uncertainty using Robust Goal Programming Approach

F Sani^{1*}, Gh Dashti²

Received: April 11, 2020 Accepted: October 5, 2020

¹PhD Student of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

² Prof., Dept. of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

*Corresponding Author Email: fateme.sani69@yahoo.com

Abstract

Changing the cropping pattern due to the climate change and drought persistence is one of the key approaches for agricultural policy makers for adaptation of water scarcity. Also, implementation of changing the cropping pattern in Sarab County is felt as one of the major points of agricultural production in East Azerbaijan province. Since the uncertainty is one of the unavoidable aspects in agricultural planning and decision making, this study introduces and applies the robust goal programming (RGP) model as a tool for optimization of cropping pattern under uncertainty in Sarab County. The required data and information for this study were collected through Sarab County Agriculture Organization and completing the questionnaire in the period of 2017-2018. In addition to the RGP approach, the LP and GP models were solved to determine the optimal cropping pattern. The results showed RGP model in terms of achieving the goals of maximize profit and minimize water consumption was superior to other models, which indicated that the current status of the water operation in the studied area was not optimal. Implementation of optimal cropping pattern based on RGP model would increase profited and employment by 1.7 and 1.32 percent, respectively. It also could reduce water consumption, fertilizer and chemical pesticides consumptions by 7.7, 12.3 and 12 percent, respectively relative to the current cropping pattern. Among the studied crops, wheat had the highest increase regarding cultivated area. Therefore, wheat is an important crop in the region and it should be cultivated as a strategic crop in greater area.

Keywords: Optimal Cropping Pattern, Robust Optimization, Sarab, Uncertainty, Water

مقدمه

این وضعیت برای ایران نیز که در کمربند خشک آب و هوایی جهان قرار دارد، هشدار دهنده تر است. متوسط بارش بلندمدت ایران ۲۵۰ میلی‌متر است که در مقایسه با متوسط بارندگی جهان (۸۵۰ میلی‌متر) و آسیا (۷۳۰ میلی‌متر) خیلی پایین است (مجنون و اسدی ۲۰۱۳). از طرف دیگر پراکنش نامتناسب زمانی و مکانی ریزش‌های جوی (حداقل ۷۴ میلی‌متر در مناطق کویری و ۸۴۰ میلی‌متر در بعضی مناطق غرب و شمال کشور) و عدم مطابقت زمانی آن با نیازهای کشاورزی و افزایش نیاز آبی مشکل را حادتر می‌کند (حسین‌زاد و همکاران ۲۰۱۱).

افزایش روزافزون جمعیت جهان و در نتیجه تأمین نیازهای غذایی آن‌ها، سبب شده تا فعالیت‌های کشاورزی نیز رو به گسترش باشد. انجام چنین فعالیت‌هایی به منابع متناهی از آب وابسته است. از طرفی پیش‌بینی‌های سازمان ملل نشان دهنده آن است که تا سال ۲۰۵۰ میلادی محدودیت منابع آبی، اصلی‌ترین موضوع مورد بحث جهانی خواهد بود؛ زیرا تا آن زمان جمعیت جهان به مرز ۹/۴ میلیارد نفر خواهد رسید و در نتیجه تأمین آب، مواد غذایی و حفظ محیط زیست، مهم‌ترین دغدغه رهبران کشورها خواهد بود.

شده است. در بسیاری از این مطالعات از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی آرمانی^۱ و برنامه‌ریزی چندهدفه استفاده شده است. به عنوان مثال، مأنوس و همکاران (۲۰۱۰) به طراحی یک مدل برای تعیین الگوی کشت مناطق شمالی مصر پرداخته و از مدل‌های برنامه‌ریزی چندمعیاره (برنامه‌ریزی آرمانی) جهت حل آن استفاده نموده‌اند. نتایج کلی حاصل از این مطالعه بیانگر توانایی بیشتر مدل‌های چند هدفه نسبت به مدل‌های تک هدفه بود. فیلیپی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی اعداد مختلط^۲ به تعیین الگوی کشت در منطقه ونتو واقع در شمال ایتالیا پرداختند. در مطالعه‌ی آنها، دو نوع مدل برنامه‌ریزی خطی و مدل مقدار-ریسک شرطی^۳ استفاده شد. ایشان استفاده از مدل نوع دوم برای اعمال تغییرات الگوی کشت را پیشنهاد نمودند.

فلاحی و همکاران (۲۰۱۳) به بهینه‌سازی الگوی کشت با تاکید بر محدودیت منابع آب در دشت سیدان-فاروق شهرستان مرودشت پرداختند. نتایج آنها نشان داد که تمامی الگوهای پیشنهادی توسط مدل، امکان افزایش بازده ناخالص و کاهش مصرف آب را میسر نمود. اسعدی و نجفی علمدارلو (۲۰۱۹) پژوهشی با هدف تدوین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی تحت شرایط کم‌آبی به منظور ارائه برنامه بهینه آبیاری، جهت حصول بیشینه‌سازی سود ناخالص مزرعه انجام دادند. براساس یافته‌های تحقیق با تدوین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی، مقدار صرفه‌جویی آب به طور میانگین به میزان ۲۹/۳ درصد و سود ناخالص مزرعه به طور میانگین ۹/۵ درصد کاهش می‌یابد. آلابوداکرو و همکاران (۲۰۱۲) به بهینه‌سازی الگوی کشت در عربستان سعودی با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی پرداختند. نتایج تحقیق مبین آن بود که عربستان سعودی توانایی بهینه‌سازی الگوی کشت خود

افزایش تقاضا و عرضه‌ی محدود آب، عدم تعادل منابع را در بسیاری از دشت‌های کشور به دنبال داشته و ضرورت استفاده از سیاست‌های کارآمد مدیریت آب را مطرح ساخته است. این سیاست‌ها باید به‌گونه‌ای طراحی شود که نه تنها بر تولیدات کشاورزی و درآمد زارعین اثر منفی نگذارد که حتی‌الامکان با افزایش بهره‌وری آب، تولیدات بخش کشاورزی و درآمد زارعین افزایش یابد و مصرف آب تا رسیدن به تعادل منطقی، تعدیل شود (بخشوده و باغستانی ۲۰۰۸). بنابراین چالش عمده‌ای که بخش کشاورزی با آن روبروست، این است که نه تنها باید مصرف آب را کاهش دهد که هم‌زمان باید تولید بیشتری را عرضه نماید و درآمد بالاتری را برای زارعین ایجاد نماید (صیوحی و همکاران ۲۰۰۷).

یکی از راهکارهای لازم برای افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی، اصلاح الگوی کشت محصولات با توجه به معیارهای اقتصادی در مناطق مختلف و همچنین در نظر گرفتن محدودیت‌های فنی و عوامل تولید است. در بهینه‌سازی الگوی کشت فرض بر این است که الگوی کشت فعلی بهینه نمی‌باشد و با تخصیص مجدد عوامل و نهاده‌های تولید جهت تولید محصولات مختلف می‌توان به میزان درآمد بیشتری دست یافت. با توجه به عوامل و متغیرهایی نظیر ویژگی‌های خاص الگوی زراعی، تناوب زراعی، تقویم عملیات زراعی، تقویم آبیاری محصولات رایج، طیف وسیع ترکیبات کشت نباتات زراعی، محدودیت زمین‌های قابل کشت و رقابت جدی محصولات در استفاده از آب، الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی بهترین روش دربرگیرنده‌ی اطلاعات فوق برای بررسی رفتارهای زارعین و ارائه‌ی راه حل‌های بهینه‌سازی این فعالیت‌ها می‌باشد (مردانی نجف‌آبادی و همکاران ۲۰۱۹).

در زمینه‌ی بهینه‌سازی تخصیص زمین‌های قابل کشت با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی، مطالعات در خور توجهی در مناطق مختلف دنیا انجام

¹ Goal programming

² Mixed integer linear programming model

³ Conditional value-at-risk

را دارد و سود خالص برآورد شده برابر با $2/42$ میلیارد دلار در سال است. رس و همکاران (۲۰۱۹) به بهینه سازی الگوی کشت با استفاده از روش جستجوی فاخته پرداختند. نتایج حاکی از آن است که در حال حاضر کشاورزان $0/975$ میلیون دلار سود دریافت می‌کنند. الگوی کشت پیشنهادی، سود خالص $1/07$ میلیون دلار در سال را به همراه دارد. از مطالعات در زمینه کاربرد برنامه‌ریزی آرمانی می‌توان به عبدی رکنی و همکاران (۲۰۱۹) اشاره نمود که ترکیب بهینه کودهای مصرف شده در تولید محصولات کشت شده در منطقه گهرباران شهرستان ساری با استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی در شرایط مصرف کود در سطح بهینه و فعلی برای محصولات مختلف مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که مصرف کود برای محصولات در بین کشاورزان نماینده، بهینه نبوده به طوری که مصرف کود در شرایط فعلی به طور متوسط بیشتر از حد بهینه می‌باشد.

عدم قطعیت به عنوان چالشی اساسی در برنامه‌ریزی برای الگوی کشت مطرح است، به طوری که نیاز به داشتن برنامه‌ریزی که بتواند در شرایط عدم قطعیت جواب قابل اعتمادی داشته باشد رو به افزایش است. در نظر گرفتن عدم قطعیت در مسائل برنامه‌ریزی، یک فرض بسیار مهم است، از این رو می‌توان گفت مدل‌های برنامه‌ریزی که عدم قطعیت را تشخیص نمی‌دهند، می‌توانند منجر به تصمیمات اشتباه شوند.

انواع مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی در شرایط عدم قطعیت^۱ در کشاورزی به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این میان، استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی فازی، بازه‌ای، خاکستری، تصادفی^۲ و یا ترکیبی از این مدل‌ها، بیشتر به چشم می‌خورد (آناگنوستوپلاس و پتالاس ۲۰۱۱، لی و همکاران ۲۰۰۸). در اواسط دهه‌ی ۱۹۹۰ مبحث ایجاد محافظه‌کاری^۳ (در

مقابل عدم قطعیت) در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی با محدود کردن پارامترهای نامطمئن مطرح شد (بن تال و نمیروسکی ۱۹۹۹). از جمله فواید استفاده از روش بهینه‌سازی استوار^۴، گزارش پاسخ‌های بهینه‌ی نقطه‌ای و نه بازه‌ای (مقابل با بازه‌ای بودن پاسخ‌های بهینه در روش‌های برنامه‌ریزی بازه‌ای)، عدم التزام به آگاهی از توزیع داده‌ها (مقابل با مشکل نیاز به آگاهی از توزیع داده‌ها در روش‌های برنامه‌ریزی تصادفی) و عدم چشم‌پوشی از اطلاعات، بر ضرایب عدم اطمینان (غلبه بر مشکل موجود در روش‌های فازی) است (برتسیماس و سیم ۲۰۰۴). مطالعاتی در داخل و خارج از کشور در این زمینه تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم قطعیت انجام شده است که از جمله می‌توان به مورد زیر اشاره نمود. عوض‌یار و همکاران (۲۰۱۸) به بهینه‌سازی الگوی کشت به منظور افزایش بازده آبیاری با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی با محدودیت‌های تصادفی در شرایط عدم قطعیت پرداختند. نتایج نشان داد سطح زیرکشت یونجه دیم و گندم آبی به ترتیب به میزان $12/6$ و $0/3$ درصد افزایش داشته در حالی که سطح زیرکشت برنج به دلیل نیاز آبی بالا نسبت به وضعیت موجود کاهش یافته است، ولی در صورت بالا بودن بازده آبیاری، کاهش سطح زیرکشت آن کمتر خواهد بود. تان و ژانگ (۲۰۱۸) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چند هدفه استوار به بررسی مدیریت مصرف آب تحت عدم قطعیت در چین پرداختند. نتایج نشان داد که با کاهش عدم قطعیت کارآیی مصرف آب افزایش یافته و در این حالت سطح زیر کشت سبزیجات افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش حفاظت سیستم در مقابل عدم قطعیت میزان سود اقتصادی افزایش خواهد یافت.

مطالعاتی اندکی در زمینه کاربرد برنامه‌ریزی چندهدفه استوار در داخل کشور صورت گرفته است. مردانی و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی الگوی بهینه کشت با اهداف زیست‌محیطی در شبکه آبیاری استان اصفهان

¹ Uncertainty

² Fuzzy, Interval, Gray, Stochastic programming

³ Conservatism

⁴ Robust optimization approach

نوسانات پارامترهای غیرقطعی در دنیای واقعی می-باشد. در این راستا با ارائه مدل برنامه‌ریزی آرمانی با دو هدف حداکثرسازی سود و حداقل کردن مصرف آب کشاورزی تحت شرایط قطعی پرداخته می‌شود. در گام بعدی مدل استوار مساله مذکور با در نظر گرفتن عدم قطعیت برخی از پارامترهای مورد نظر در دنیای واقعی ارائه می‌گردد. بنابراین، نوآوری این مطالعه در درجه‌ی اول، پیشنهاد مدل برنامه‌ریزی آرمانی استوار^۱ (RGP) جهت بهینه‌سازی الگوی کشت با اهداف چندگانه و در درجه دوم، کاربرد این مدل برای شهرستان مذکور بوده که تاکنون مطالعه‌ای برای بهینه‌سازی الگوی کشت در آن انجام نشده است.

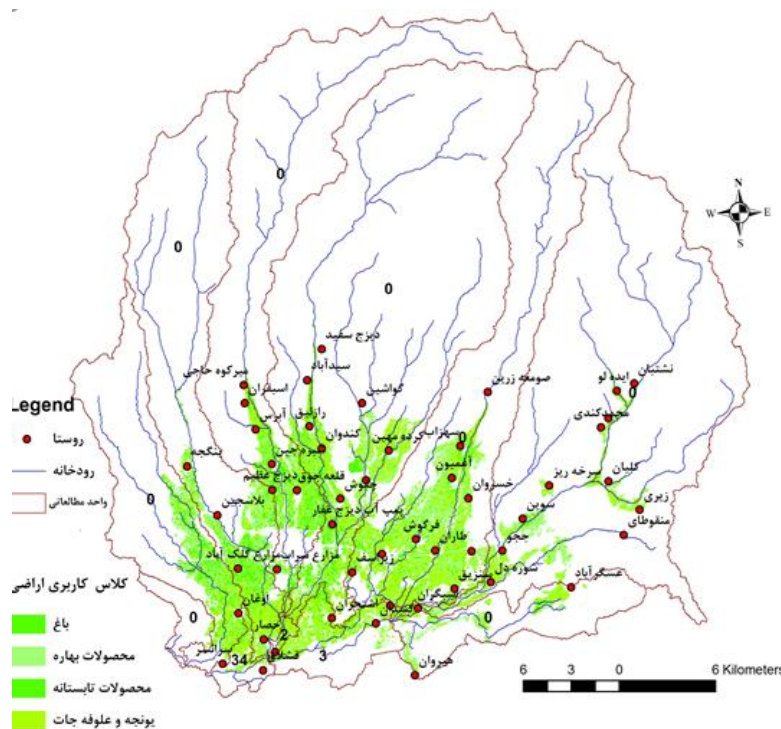
مواد و روش‌ها

دشت سراب در شمال غربی ایران در حوضه آبریز ارومیه با وسعتی حدود ۴۲۰ کیلومتر مربع در فاصله ۱۳۰ کیلومتری شرق شهرستان تبریز واقع شده است. این محدوده امتداد شرقی-غربی دارد که از شمال به ارتفاعات کوه سبلان و از جنوب به ارتفاعات بزقوش محدود می‌گردد. سراب یکی از قطب‌های کشاورزی و دامداری استان آذربایجان شرقی می‌باشد. متوسط بارش سالانه دشت سراب در یک دوره ۳۴ ساله ۳۴۰ میلی‌متر و جزو مناطق نیمه خشک سرد محسوب می-شود. منابع آب سطحی دشت را بیوک‌چای، تاجیارچای، رازلیق‌چای و واتق‌چای تشکیل می‌دهد که از ارتفاعات اطراف سرچشمه می‌گیرد و بعد از روستای اندراب بهم پیوسته و با نام آجی‌چای از شرق به غرب جریان یافته و در نهایت به دریاچه ارومیه می‌ریزد.

با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه تحت شرایط عدم قطعیت پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش عدم قطعیت میزان سود ناخالص کل کاهش می‌یابد و برای جبران ضرر و زیان کشاورزان در الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه استوار، بر سیاست‌های تقویت بهره‌وری تأکید گردید. عبدشاهی و همکاران (۲۰۱۹) جهت اعمال شرایط عدم قطعیت با استفاده از روش بهینه‌سازی استوار، الگوی بهینه کشت محصولات زراعی در شهرستان ملاثانی را در یک مدل چند هدفه تعیین نمودند. نتایج بررسی نشان داد که در شرایط عدم قطعیت سطح زیر کشت کلزا کاهش و سطح زیرکشت سبزیجات افزایش یافته است.

در سال‌های اخیر اثرات نامطلوب ناشی از تولید محصولات کشاورزی آب‌بر، بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، تغییرات مشخصی از قبیل افت شدید و مستمر سطح ایستابی، منفی شدن بیلان و افزایش کسری مخازن، تقلیل کیفیت آب از نظر کشاورزی، معکوس شدن جریان آب زیرزمینی و استفاده از کودهای شیمیایی در بسیاری از مناطق کشور به چشم می‌خورد. به نظر می‌رسد مجموعه اراضی شهرستان سراب نیز از این قاعده مستثنی نیست (اصغری مقدم و ودیعتی ۲۰۱۶، تلسچی و همکاران ۲۰۱۹) این شهرستان در سال ۱۳۹۶ حدوداً دارای ۴۸۱۰۰ هکتار اراضی زراعی آبی، ۲۶۷۰ هکتار باغ آبی و ۶۲۲۰۰ هکتار اراضی دیم بوده که از این میزان ۷۸ درصد از اراضی دیم در حالت آیش بوده و مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، در حالی که تنها ۱۵ درصد اراضی آبی در حالت آیش می‌باشد و این امر نشان از مصرف بالای آب در این شهرستان دارد. از این رو، انتخاب این منطقه برای تعیین الگوی کشتی که منجر به استفاده‌ی بهینه از نهاده کمیاب آب گردد، مناسب به نظر می‌رسد. بنابراین، هدف از مطالعه‌ی حاضر، ارائه‌ی مدل برنامه‌ریزی تعیین الگوی کشت بهینه سازگار با کم‌آبی در شهرستان سراب با در نظر گرفتن اثر

¹ Robust goal programming



شکل ۱- منطقه کشاورزی سراب به همراه واحدهای مطالعاتی مستقل و وابسته، رودخانه‌ها و روستاها.

لازم به ذکر است که داده‌ها و اطلاعات مربوط به وضعیت موجود منطقه و اطلاعات جانبی دیگر از سوی اداره جهاد کشاورزی شهرستان سراب جمع‌آوری گردید.

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، انعطاف‌پذیری 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 (بلاید و توره ۲۰۱۰).

از آنجایی که دستیابی همزمان به کلیه آرمان‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد، تابع هدف تلفیقی برای مدل برنامه-

مرز اولیه مناطق کشاورزی و دشت‌ها در شهرستان سراب براساس آمار و اطلاعات کشاورزی، در Google Earth تعیین گردید. در شکل ۱ منطقه کشاورزی سراب و موقعیت روستاهای مورد مطالعه آورده شده است. لازم به ذکر است که ۵۱ روستا در منطقه کشاورزی سراب واقع شده است که موقعیت و اسامی هر یک از روستاها در شکل ۱ نشان داده شده است. داده‌های استفاده شده در این پژوهش از طریق پرسشنامه با استفاده از روش نمونه‌گیری طبقه‌ای در سال ۱۳۹۷ جمع‌آوری گردید. طبقه‌های مورد نیاز در این مطالعه روستاهای دشت سراب می‌باشند که با تقسیم جمعیت هر روستا بر کل جمعیت دشت، سهم نسبی هر روستا در نمونه‌گیری مشخص گردید. با استفاده از فرمول کوکران، ۲۱۰ نفر از کشاورزان به عنوان حجم نمونه انتخاب شدند. در این پرسشنامه کلیه متغیرهای مورد نیاز از جمله اطلاعات مقادیر نهاده‌ها و مقادیر تولید و اطلاعات اقتصادی (از قبیل قیمت محصول، کود، سم، نیروی‌کار و ...) استخراج گردید.

تعیین شده می‌باشند که در دنیای واقعی این فرض محدود کننده و غیرواقعی به نظر می‌رسد، زیرا مسائلی چون خطای اندازه‌گیری، خطای پیش‌بینی و غیره می‌توانند قطعیت پارامترهای این مساله را تحت تاثیر قرار دهند. بنابراین نیاز به مدل‌هایی که بتوانند الگوی بهینه کشت را با فرض عدم قطعیت مدل نمایند احساس می‌شود. از این رو رویکرد بهینه‌سازی استوار به عنوان روشی قوی به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترها و کاهش نوسانات پارامترهای غیر قطعی، باعث کارایی بیشتر مدل‌های برنامه‌ریزی در دنیای واقعی می‌گردد. جهت اعمال شرایط نامطمئن در پارامترهای مدل پیشنهادی، از بهینه‌سازی استوار استفاده شده است. فرم خطی الگوی بهینه‌سازی استوار را می‌توان به صورت رابطه ۴ نوشت (برتسیماس و سیم ۲۰۰۴):

Max CX

$$\text{St } \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} x_j \leq b_i \quad \forall i, j \in J_i \quad [4]$$

$$l \leq X \leq u$$

j_i زیرمجموعه‌ای از شاخص‌های مرتبط با پارامتر نامطمئن \tilde{a}_{ij} بوده که برای هر محدودیت i مشخص می‌شود. فرض می‌شود که \tilde{a}_{ij} ‌ها مستقل، متقارن و کراندار در محدوده‌ی $[-1, 1]$ هستند. با بازنویسی مدل ۴ به صورت بهینه‌سازی استوار، قابلیت اعتماد به سیستم‌ها در شرایط عدم قطعیت بهبود می‌یابد (برتسیماس و سیم ۲۰۰۴). فرم بهینه‌سازی استوار به صورت رابطه ۵ است:

Max CX

$$\text{St } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + z_i \Gamma_i + \sum_{j \in J_i} p_{ij} \leq b_i \quad \forall i \quad [5]$$

$$z_i + p_{ij} \geq \varepsilon \hat{a}_{ij} y_j \quad \forall i, j \in J_i$$

$$-y_i \leq x_j \leq y_j \quad \forall j$$

$$l_i \leq x_j \leq u_j \quad \forall j$$

$$(p_{ij}, y_j, z_i) \geq 0 \quad \forall i, j \in J_i$$

ریزی 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 رابطه ۱ خواهد بود (سیاموس و سورندرا ۲۰۰۸، استیفن و همکاران، ۲۰۰۹):

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n C_{jk} X_j - g_k \quad [1]$$

که در آن X_j متغیرهای تصمیم مساله، C_{jk} ضریب X_j برای هدف k ام در تابع هدف و g_k آرمان هدف k ام می‌باشد. حال اگر عبارت $\sum_{j=1}^n C_{jk} X_j - g_k$ به صورت d_k تعریف شود در این صورت می‌توان نوشت:

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^n d_k \quad [2]$$

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. 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 (سیاموس و سورندرا ۲۰۰۸). شکل کلی مدل برنامه‌ریزی آرمانی به صورت رابطه ۳ می‌باشد که St بیانگر محدودیت‌ها و W نشان دهنده وزن هر کدام از اهداف می‌باشد:

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

$$\text{St } \sum_{j=1}^n C_{jk} x_j - (d_k^+ - d_k^-) = g_k \Rightarrow k = 1, 2, \dots, k \quad [3]$$

$$d_k^+ \geq 0 \quad d_k^- \geq 0, \quad x \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

در اکثر مسائلی که در این زمینه حل شده است فرض بر این بوده است که اطلاعات قطعی و از پیش

در این توابع، X_{js} معرف سطح زیرکشت محصول z در فصل s می‌باشند. در این معادله mpv_j ارزش محصول اصلی برای کشت یک هکتار از محصول z و CP_j هزینه تولید برای کشت یک هکتار از محصول z می‌باشد. معادلات ۹ تا ۱۴ محدودیت‌های مدل را نشان می‌دهند:

$$\sum_{j=1}^J \frac{W_{jsr}}{eff_r} x_{js} \leq W_s \quad \forall s \quad [9]$$

$$\sum_{j=1}^J l_{js} x_{js} \leq L_s \quad \forall s \quad [10]$$

$$\sum_{j=1}^J m_{js} x_{js} \leq M_s \quad \forall s \quad [11]$$

$$\sum_{j=1}^J f_{tjs} x_{js} \leq F_{ts} \quad \forall t, s \quad [12]$$

$$\sum_{j=1}^J pe_{zjs} x_{js} \leq PE_{zs} \quad \forall z, s \quad [13]$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S Sch_{js} x_{js} \leq A \quad [14]$$

نامعادله‌ی ۹ مربوط به میزان آب در دسترس می‌باشد. در این محدودیت، W_{js} نیاز ناخالص آبی برای محصول z در فصل s در هکتار، eff_r راندمان آبیاری در منطقه r و W_s میزان کل آب در دسترس در فصل s برحسب مترمکعب می‌باشد. نامعادله ۱۰ مربوط به نیروی کار بوده که در آن معرف مقدار نیروی کار مورد نیاز برای کشت هر هکتار از محصول z در فصل s برحسب نفر-روز کار و L_s معرف کل مقدار نیروی کار در دسترس در فصل s برحسب نفر روز است. نامعادله‌ی ۱۱ مربوط به ساعات استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی بوده و در این محدودیت، m_{js} معرف تعداد ساعات استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی در هر هکتار از محصول z در فصل s برحسب ساعت در هکتار و M_s معرف مقدار ساعات ماشین‌آلات کشاورزی در دسترس در فصل s برحسب ساعت است. نامعادلات ۱۲ و ۱۳ به ترتیب مربوط به کود شیمیایی و آفت‌کش می‌باشند. در این محدودیت‌ها F_{ts} شاخص مقدار کل کود

که z, y و p متغیرهای اضافی غیرمنفی و ε سطح عدم اطمینان معین به منظور لحاظ عدم قطعیت در الگو هستند. در مدل ۵ که فرم خطی بهینه‌سازی است، $n+k+1$ متغیر و $m+k+n$ محدودیت وجود دارد. میزان اطمینان مدل در مقابل عدم قطعیت به مقدار پارامترهای Γ_i بستگی دارد. هرگاه $\Gamma_i = 0$ باشد، عبارت حداکثرکننده از مدل حذف و محدودیت در شرایط عدم قطعیت به محدودیت در شرایط قطعیت تبدیل می‌گردد. هرگاه $\Gamma_i = |J_i|$ باشد، میزان حفاظت سیستم در مقابل عدم قطعیت به حداکثر خود رسیده و به طور کامل انجام می‌شود. در این روش، مبادله‌ای بین میزان محافظه‌کاری سیستم در مقابل عدم قطعیت (Γ_i) و ظرفیت سیستم (x_i) انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر، هر چقدر میزان محافظه‌کاری سیستم در مقابل عدم قطعیت افزایش یابد، از ظرفیت سیستم کاسته می‌شود.

پارامتر Γ_i مقادیر مختلفی می‌تواند اختیار نماید که حداقل مقدار آن در سطح حداکثر احتمال انحراف محدودیت i ام از کران خود و از طریق رابطه ۶ اتفاق می‌افتد:

$$\Gamma_j = 1 + \Phi^{-1}(1 - p_i) \sqrt{n} \quad [6]$$

که Φ متغیر توزیع تجمعی گاوسی استاندارد^۱ و n منابع عدم قطعیت در هر محدودیت است. برای مثال، اگر $n=50$ و $p_i = 0.05$ باشد، مقدار این پارامتر ۱۲/۵۹ خواهد بود. توابع هدف مطالعه حاضر، جهت بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی و دستیابی همزمان به حداکثر سود و حداقل هزینه به ترتیب به صورت روابط ۷ و ۸ تعریف می‌شوند:

$$Z_1 = \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S (mpv_j - cp_j) x_{js} \quad [7]$$

$$Z_2 = \sum_{j=1}^J \frac{W_{js}}{eff_r} x_{js} \quad [8]$$

¹ Cumulative distribution of the standard gaussian variable

ماشین‌آلات می‌باشد از اطلاعات پرسشنامه استخراج شدند.

برای اعتبار هر پرسشنامه، در ابتدای کار اطلاعات ۳۰ پرسشنامه به عنوان پیش‌آزمون از بهره‌برداران دشت سراب استخراج گردید. سپس اعتبار اطلاعات موجود در این ۳۰ پرسشنامه از نظر اساتید مربوطه تایید شد. در نهایت پس از استخراج کلیه داده‌ها از ۲۱۰ پرسشنامه، این اطلاعات با نظرات کارشناسان جهاد کشاورزی و اطلاعات سازمان تطبیق داده شد. داده‌ها و اطلاعات با جزئی‌ترین انحراف از موارد فوق مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۱ نشان‌دهنده ضرایب فنی هدف تابع هدف و ماتریس ضرایب فنی محدودیت‌ها است که منطبق بر مساله برنامه‌ریزی آرمانی استوار می‌باشد.

در جدول ۱ سود خالص هر یک از محصولات از تفاضل درآمد حاصل از فروش محصولات کشت شده و هزینه‌های متغیر در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت بدست آمده است. میانگین سود خالص در یک هکتار از محصولات در سطح منطقه به عنوان ضریب در نظر گرفته شده است. همان‌گونه که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود، محصول گندم به علت وجود قیمت تضمینی در خرید آن و حذف ریسک درآمدی، با سطح زیرکشتی بالغ بر ۱۲۰۰۰ هکتار، یکی از محصولات مدنظر کشاورزان این منطقه است.

در دسترس از نوع t در فصل s برحسب کیلوگرم و PE_{zs} معرف مقدار آفت‌کش در دسترس از نوع z در فصل s برحسب لیتر است. محدودیت ۱۴ مربوط به زمین بوده که A معرف مقدار زمین در دسترس برحسب هکتار برای کلیه محصولات مورد مطالعه بوده و نماد Sch_{js} در آن معرف سطح زیر کشت هر کدام از محصولات می‌باشد. در مطالعه‌ی حاضر، تنها نهاده آب قابل دسترس، جزء پارامترهای نامطمئن در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، با تعریف پارامتر Γ و استفاده از مدل ۳، محدودیت مقدار آب در دسترس (معادله ۹) به دو معادله ۱۵ و ۱۶ تبدیل می‌شود:

$$\sum_{j=1}^J \frac{w_{jsr}}{eff_r} x_{jsr} + z_{sr} \Gamma_{sr} + p_{sr} \leq \bar{W}_{sr} \quad \forall s, r \quad [15]$$

$$\Gamma_{sr} + p_{sr} \geq \varepsilon \bar{W}_{sr} \quad \forall s, r \quad [16]$$

که \bar{W}_{sr} معرف مقدار اسمی پارامتر آب قابل دسترس می‌باشند. فرایند حل مدل برنامه‌ریزی آرمانی چند هدفی استوار (RGP) در نرم افزار بهینه‌ساز GAMS انجام شد.

نتایج و بحث

در این قسمت نتایج حاصل از الگوی برنامه‌ریزی آرمانی استوار گزارش شده و با الگوی کشت فعلی مقایسه می‌شود، اما قبل از حل مدل نیاز به محاسبه ضرایب تابع هدف و ضرایب توابع محدودیت‌ها که شامل ضرایب فنی مربوط به سطح زیر کشت، آب، نیروی‌کار، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی و

جدول ۱- ماتریس ضرایب فنی و اقتصادی تولید محصولات زراعی در شهرستان سراب در یک هکتار.

شاخص	هدف	ضرایب فنی				
		گندم آبی	جو آبی	یونجه	اسپرس	سیب‌زمینی
		(X ₁)	(X ₂)	(X ₃)	(X ₄)	(X ₅)
درآمد ناخالص	-	۴۶/۳	۲۶/۶	۴۶/۶	۴۳/۴	۱۶۷/۵
هزینه	-	۴۳	۲۵/۵	۴۰	۳۸	۱۵۹
سود	max	۳/۳	۱/۱۴	۶/۶	۵/۴	۸/۵
آب مصرفی	min	۱۰۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۷۰۰

درآمد ناخالص هر هکتار محصول (میلیون ریال)

هزینه هر هکتار محصول (میلیون ریال)

سود خالص هر هکتار محصول (میلیون ریال)

آب فروردین (متر مکعب)

۲۱۰۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۱۱۰۰	۱۱۴۰	min	آب اردیبهشت (متر مکعب)	
۲۳۰۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۱۱۰۰	۱۲۸۰	min	آب خرداد (متر مکعب)	
۲۷۰۰	۲۴۰۰	۲۴۰۰	۰	۰	min	آب تیر (متر مکعب)	
۲۷۰۰	۲۴۰۰	۲۴۰۰	۰	۰	min	آب مرداد (متر مکعب)	
۱۵۰۰	۱۴۰۰	۱۴۰۰	۰	۰	min	آب شهریور (متر مکعب)	
-	۱۳۰۰	۱۳۰۰	۱۰۰۰	۱۲۰۰	min	آب مهر (متر مکعب)	
۲۰	۳	۳	۱	۱	-	نیروی کار فروردین (نفر روز)	نیروی کار
۱۰	۴	۴	۲	۲	-	نیروی کار اردیبهشت (نفر روز)	
۱۵	۴	۴	۲	۳	-	نیروی کار خرداد (نفر روز)	
۶	۱۰	۱۰	۲	۳	-	نیروی کار تیر (نفر روز)	
۶	۴	۴	-	-	-	نیروی کار مرداد (نفر روز)	
۳۰	۱۰	۱۰	-	-	-	نیروی کار شهریور (نفر روز)	
-	۲	۲	۲	۳	-	نیروی کار مهر (نفر روز)	
۱۵۰	۵۰۰	۵۰۰	۷۵	۱۰۰	-	کود شیمیایی فسفات (کیلوگرم)	کود شیمیایی
۳۵۰	۵۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	-	کود شیمیایی ازته (کیلوگرم)	
۳۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۵	۳۰	-	کود شیمیایی پتاسه (کیلوگرم)	
۳	۰	۰	۳	۳	-	سموم علف کش (لیتر)	سموم شیمیایی
۳	۹	۹	۰	۰	-	سموم حشره کش و قارچ کش (لیتر)	
۲۰	۹	۹	۱۲	۱۲	-	ساعات کار ماشین آلات (هکتار ساعت)	ماشین آلات
۳۳۵۰۰	۷۲۴۱	۷۷۶۹	۲۵۸۷	۳۵۶۲	-	عملکرد محصول (کیلوگرم)	عملکرد
۳۰۳۹	۱۰۱۷۳	۱۰۷۷۳	۶۷۷۲	۱۲۴۶۸	-	سطح زیر کشت محصول (هکتار)	سطح زیر کشت

بیشترین سطح زیر کشت را در الگوی کشت موجود داشتند اما با اجرای الگوی کشت بهینه از مدل حذف شدند. مطابق با جدول ۲ زمانی که هدف مدیر در مدل برنامه ریزی خطی تنها حداقل کردن مصرف آب است، مشاهده می شود که کشت محصول جو آبی به میزان ۵۵۱/۵ درصد افزایش خواهد یافت. سطح زیر کشت محصولات گندم آبی، یونجه، اسپرس و سیب زمینی با کاهش ۱۰۰ درصدی نسبت به وضعیت موجود به صفر می رسد.

جدول ۲ ترکیب و سطوح زیر کشت محصولات منطقه را در مدل های LP و الگوهای حاصل از مدل های آرمانی نشان می دهد. در الگوی کشت بهینه منفرد با هدف حداکثر کردن سود خالص، انتظار می رود محصولات پیشنهادی، محصولاتی با سود بالا در هکتار با توجه به محدودیتها باشد. همان طور که مشاهده می شود در این الگو با هدف حداکثر کردن سود، سطح زیر کشت محصولات پیشنهادی یعنی گندم آبی و یونجه به ترتیب به میزان ۴۸/۳۷ و ۱۰۱/۷ درصد افزایش می یابد. نتایج نشان داد بر خلاف اینکه جو آبی و اسپرس

جدول ۲- ترکیب و سطح زیر کشت محصولات منطقه در مدل های LP و GP.

بهینه سازی های منفرد (مدل LP)		مدل های برنامه ریزی آرمانی (دستیابی همزمان به حداکثر سود و حداقل مصرف آب)	
هدف حداکثر	هدف حداقل -	قطع (GP)	استوار (RGP)
سازي سود	سازي آب	سطح احتمال $p=1$ و $\epsilon=0$ (سناریو ۱)	سطح احتمال $p=0.1$ و $\epsilon=0.1$ (سناریو ۲)
گندم آبی	۱۸۵۰۰	۲۵۶۴۲/۸۶	۲۴۸۹۷/۷

جو آبی	۰	۴۴۱۲۵	۰	۳۰۰
یونجه	۲۱۷۳۵/۳	۰	۱۴۳۱۶/۳	۱۳۵۴۳
اسپرس	۰	۰	۰	۶۵۰
سیب زمینی	۳۸۸۹/۷	۰	۳۱۶۵/۸	۴۳۴۴/۳
کل	۴۴۱۲۵	۴۴۱۲۵	۴۴۱۲۵	۴۳۷۳۵

الگوریتم‌های ریاضی مدل پیشنهادی، با روش برنامه‌ریزی آرمانی و آرمانی استوار برای سطوح مختلف احتمال انحراف از محدودیت (p) و عدم اطمینان معین (ε) حل و منجر به ایجاد سناریوهای متفاوت برای اعمال محافظه‌کاری در مقابل عدم قطعیت شد.

هدف اصلی الگوی برنامه‌ریزی‌های آرمانی به دست آوردن سطح زیرکشت بهینه جهت دستیابی همزمان به اهداف حداکثرسازی سود و حداقل‌سازی آب می‌باشد. حل مدل و مقایسه‌ی الگوی به دست آمده با الگوی جاری، حاکی از تفاوت بسیار زیاد دو الگو است. در جدول ۲، شرایط مناسبی برای مقایسه‌ی الگوها در دو سطح $p=1$ و $\epsilon=0$ (سناریوی ۱) که شرایط قطعیت را مدل‌سازی می‌کند، و $p=0.1$ و $\epsilon=0.1$ (سناریوی ۲) که عدم اطمینان را اعمال می‌نماید، فراهم آمده است.

براساس نتایج برنامه‌ریزی آرمانی قطعی، گندم آبی با افزایش ۱۰۵/۶ درصدی نسبت به وضع موجود

بایستی به مقدار ۲۵۶۴۲/۸۶ هکتار کشت شود. همچنین سطح زیرکشت یونجه با رشد ۳۲/۹۵ درصدی به ۱۴۳۱۶/۳ هکتار و سیب‌زمینی با رشد ۵/۷۵ درصدی به ۴۱۶۵/۸ هکتار خواهد رسید. دو محصول جو آبی و اسپرس نیز باید از الگوی کشت موجود حذف شوند (رابطه ۴). علت آن را می‌توان در مصرف نسبتاً بالای نهاده‌های آب توسط محصول اسپرس و همچنین سود نسبی پایین آن‌ها جستجو نمود. لازم به ذکر است که سهم این دو محصول در الگوی فعلی بالا می‌باشد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در نظر گرفتن محدودیت به صورت منعطف و غیرقطعی (RGP) باعث می‌شود که مجموع زمین‌های زیرکشت در مقایسه با الگوی فعلی و همچنین مدل برنامه‌ریزی آرمانی قطعی، محدود شود. به طوری که در سطح احتمال ۱۰ درصد، مقدار کاهش سطح زیرکشت به ۰/۸۸ درصد (معادل ۳۹۰ هکتار) می‌رسد.

جدول ۳- میزان دستیابی به اهداف تحقیق در مدل‌های LP و مدل برنامه‌ریزی آرمانی استوار (RGP).

الگو	بهینه‌سازی‌های منفرد مدل LP			٪ افزایش (کاهش) نسبت به LP مربوطه
	حداکثرسازی سود	حداقل‌سازی آب	رهیافت RGP	
سود (میلیارد ریال)	۲۳۷/۹	۵۰/۵	۲۱۲/۳	-۱۰/۷۶
آب (میلیون متر مکعب)	۴۰۰	۱۷۶/۵	۳۵۳/۴	۱۰۰/۲

میزان ۵۴/۵ درصد نسبت به الگوی فعلی (۳۸۸/۴ میلیون مترمکعب) کاهش خواهد یافت. در اثر اجرای الگوی بهینه تحت هدف حداقل‌سازی مصرف آب، سود خالص (۵۰/۵ میلیارد ریال) نیز به اندازه ۷۵/۸ درصد نسبت به سود در الگوی کشت فعلی (۲۰۹/۱ میلیارد ریال) دچار کاهش می‌شود. همچنین در جدول ۳ مقادیر سود خالص

جدول شماره ۳ میزان دستیابی جداگانه اهداف را در نتیجه بهینه‌سازی منفرد و مقایسه آن با دستیابی همزمان به اهداف حداکثرسازی سود و حداقل‌سازی هزینه در نتیجه ره‌یافت RGP نشان می‌دهد. مطابق جدول زمانی که هدف برنامه‌ریز تنها کاهش مصرف آب باشد، آب مصرفی (برابر با ۱۷۶/۵ میلیون مترمکعب) به

در مدل RGP میزان سود ۱۰/۷۶ درصد کمتر از مدل برنامه‌ریزی خطی حداکثرسازی منفرد سود می‌باشد، این در حالی است که مصرف آب در مدل RGP، ۱۰۰/۲ درصد بیشتر از مدل برنامه‌ریزی خطی منفرد حداقل-سازي مصرف آب افزایش داشته است.

در جدول ۴ به نتایج مدل برنامه‌ریزی آرمانی قطعی با مدل برنامه‌ریزی آرمانی استوار پرداخته شده و هر دو با الگوی کشت فعلی منطقه برای آزمون بهینه بودن یا نبودن مقایسه گردیده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود با در نظر گرفتن همزمان اهداف ذکر شده در هر دو الگوی قطعی و استوار مدل‌های آرمانی، جو و اسپرس در مدل قطعی حذف می‌شوند و در الگوی استوار نیز سطح زیر کشت کمتری را به خود اختصاص داده‌اند. براساس نتایج در واقع گندم جایگزین جو گردیده است، بطوریکه سطح زیر کشت گندم از مجموع سطح زیر کشت گندم و جو در الگوی فعلی بیشتر می‌باشد. محصول جو کمترین میزان سود خالص را در منطقه داشته و در عین حال از کمترین میزان مصرف آب منطقه نیز برخوردار بوده است. محصول یونجه در الگوهای قطعی و استوار آرمانی به ترتیب ۳۲/۹ و ۲۵/۷ درصد افزایش سطح زیر کشت را تجربه کرده و دومین محصول پر سود منطقه محسوب می‌شود.

و مقدار مصرف آب در الگوی برنامه‌ریزی آرمانی استوار و درصد تغییرات نسبت به الگوهای بهینه‌سازی منفرد مقایسه شده است. بر اساس این نتایج در مدل RGP میزان سود ۱۰/۷۶ درصد کمتر از مدل برنامه‌ریزی خطی حداکثرسازی منفرد سود (۲۳۷/۹ میلیارد ریال) می‌باشد، این در حالی است که مصرف آب در مدل RGP، ۱۰۰/۲ درصد بیشتر از مدل برنامه‌ریزی خطی منفرد حداقل‌سازی مصرف آب (۱۷۶/۵ میلیون مترمکعب) افزایش داشته است.

جدول شماره ۳ میزان دستیابی جداگانه اهداف را در نتیجه بهینه‌سازی منفرد در مقایسه با دستیابی همزمان آن‌ها در نتیجه رهیافت RGP نشان می‌دهد. مطابق جدول زمانی که هدف برنامه‌ریز تنها کاهش مصرف آب باشد، آب مصرفی (۵۰/۵ میلیون متر مکعب) به میزان ۵۴/۵ درصد نسبت به حالت حداکثرسازی سود (۲۳۷/۹ میلیون مترمکعب) کاهش خواهد یافت خواهد یافت. همچنین در اثر اجرای الگوی بهینه تحت هدف حداقل سازی مصرف آب، سود خالص نیز به اندازه ۷۵/۸ درصد دچار کاهش می‌شود. در جدول ۳ 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

جدول ۴- سطح زیر کشت محصولات در مدل‌های آرمانی و میزان تغییر هر کدام نسبت به الگوی فعلی.

محصول	الگوی فعلی	مدل قطعی GP		مدل استوار RGP	
		سطح	% افزایش (کاهش)	سطح	% افزایش (کاهش)
گندم آبی	۱۲۴۶۸	۲۵۶۴۲/۸۶	۱۰۵/۶	۲۴۸۹۷/۷	۹۹/۶
جو آبی	۶۷۷۲	۰	-۱۰۰	۳۰۰	-۹۵/۵
یونجه	۱۰۷۷۳	۱۴۳۱۶/۳	۳۲/۹	۱۳۵۴۳	۲۵/۷
اسپرس	۱۰۱۷۳	۰	-۱۰۰	۶۵۰	-۹۳/۶
سیب زمینی	۳۹۳۹	۳۱۶۵/۸	-۱۹/۶	۴۳۴۴/۳	۱۰/۲
کل	۴۴۱۲۵	۴۴۱۲۵	۰	۴۳۷۳۵	-۰/۸۸

بدبینانه که به عدم قطعیت می‌انجامد میزان سود حاصل از سیستم کاهش یافته است. همچنین این نتیجه مغایر با نتایج مطالعات مردانی و همکاران (۲۰۱۸) است که براساس مطالعه آن‌ها بکارگیری بهینه‌سازی استوار موجب کاهش سود ناخالص کشاورزان می‌گردد. همچنین مطالعات مردانی و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که میزان افزایش سود در دو مدل قطعی و چند هدفه استوار نسبت به الگوی کشت فعلی افزایش یافته ولی میزان سود در مدل بهینه‌سازی چندهدفه استوار تفاوت چندانی با مدل قطعی ندارد، چرا که در مطالعات آن‌ها هدف اصلی حداقل کردن نهاده‌های مختل‌کننده کشاورزی بوده و سود ناخالص تنها در محدودیت حداقل سود لحاظ گردیده و اجباری برای افزایش سود ناخالص نبوده است.

جدول ۵ میزان مصرف نهاده‌های تولید و همچنین میزان سود حاصل از اجرای الگوی بهینه کشت را در حالت جاری و در دو سناریوی مورد بررسی، نشان می‌دهد. در مجموع برای حصول نسبی بهینگی در مدل برنامه‌ریزی آرمانی استوار ۳۹۰ هکتار از سطح زیر کشت محصولات در مقایسه با الگوی فعلی و قطعی کاسته شده است ولی با این حال الگوی کشت بهینه در هر دو سناریو، منجر به افزایش سود کل به ترتیب به میزان ۴/۶۳ و ۱/۷ درصد در الگوی برنامه‌ریزی قطعی و استوار گردیده است. بهرامی‌نسب و همکاران (۲۰۱۴) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. نتایج مدل در شرایط عدم قطعیت نشان داد که در حالت خوشبینانه به دلیل دسترسی بیشتر به منابع محدود، بیش‌ترین سود حاصل از الگوی کشت حاصل خواهد شد. در حالت

جدول ۵- میزان دستیابی به اهداف تحقیق در مدل‌های LP و مدل برنامه‌ریزی آرمانی استوار (RGP).

هدف	الگوی فعلی	مدل قطعی GP		مدل استوار RGP		کاهش (افزایش) RGP نسبت به GP
		میزان	% افزایش (کاهش)	میزان	% افزایش (کاهش)	
حداکثرسازی سود (میلیارد ریال)	۲۰۹/۱	۲۱۸/۸	۴/۶۳	۲۱۲/۶	۱/۷	-۶/۲
حداقل‌سازی آب (میلیون متر مکعب)	۳۸۸/۰۴	۳۴۴/۹	-۱۱/۱۱	۳۵۸/۱	-۷/۷	۱۳/۲
اشتغال	۸۸۶۹۴۶	۸۸۷۵۳/۱	۰/۱	۸۹۸۷۰۲	۱/۳۲	۱۰۹۴۸/۹
کود (میلیون کیلوگرم)	۲۴/۳	۲۲/۵	-۷/۴	۲۱/۳	-۱۲/۳	-۱/۲
سم (میلیون لیتر)	۰/۲۵	۰/۲۲	-۱۲	۰/۲۲	-۱۲	۰

در مدل برنامه‌ریزی استوار سطح اشتغال به اندازه ۱/۳۲ درصد نسبت به وضع موجود افزایش یافته است. شایان ذکر است که این افزایش نیروی کار از نظر اقتصادی، منجر به ایجاد هزینه بیشتر و سود کمتر خواهد شد؛ اما از نظر اجتماعی با توجه به نرخ پایین اشتغال در منطقه، منجر به کاهش بیکاری خواهد شد. همچنین مصرف کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی به ترتیب به میزان ۱۲/۳ و ۱۲ درصد کاهش یافته است. بنابراین ملاحظه می‌شود که با تغییر الگوی کشت منطقه مطابق با نتایج رهیافت RGP علیرغم کاهش سطح زیر

مصرف آب آبیاری در هر دو سناریو، کاهش یافته و با افزایش مقدار سطح احتمال p این کاهش بیشتر شده است. به طوری که در مدل قطعی میزان کاهش برابر ۱۱/۱۱ درصد و در مدل عدم قطعیت (RGP) برابر ۷/۷ درصد می‌باشد. مطالعه مردانی و همکاران (۲۰۲۰) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند به طوری که در مطالعه آن‌ها میزان آب مصرفی در مدل قطعی و مدل برنامه‌ریزی کسری چندهدفه استوار به ترتیب به میزان ۸/۰۵ و ۱/۱۱ کاهش یافته است. در این موضوع در رابطه با نهاده‌ی نیروی کار عکس بوده و

کشت کل، میزان سود خالص و اشتغال افزایش یافته است.

همچنین مصرف آب، سموم و کودهای شیمیایی نیز کاهش خواهد یافت. اگرچه، کاهش مقدار مطلق مصرف این نهاده‌ها در الگوهای بهینه، لزوماً به معنی بهبود استفاده از این منابع نبوده و ممکن است به دلیل کاهش سطح زیرکشت محصولات رخ داده باشد، ولی از آنجایی که در مدل RGP تنها ۰/۸۸ درصد از سطح زیر کشت نسبت به الگوی فعلی کاهش یافته، بنابراین کاهش مصرف این نهاده‌ها در الگوی برنامه‌ریزی آرمانی استوار تا حدودی منطقی به نظر می‌رسد. این نتیجه مطابق با مطالعات عبدشاهی و همکاران (۲۰۱۹) و مردانی و همکاران (۲۰۲۰) می‌باشد. از این‌رو وضع موجود بهره‌برداری از منابع آب و زمین منطقه بهینه نمی‌باشد و نتایج فوق مبین بهینگی به مراتب بیشتر الگوی حاصل از رهیافت برنامه‌ریزی آرمانی استوار (RGP) نسبت به الگوی کشت فعلی منطقه می‌باشد. بنابراین استوار کردن مدل انعطاف‌پذیری مدل را بالا برده و باعث می‌شود از منابع به خصوص منبع آب به صورت بهینه استفاده گردد و از آنجایی که مقدار سود در بهینه‌سازی استوار نسبت به الگوی کشت فعلی بیشتر می‌باشد و با توجه به اینکه مهم‌ترین هدف کشاورزان دستیابی به سود بیشتر می‌باشد، بنابراین پذیرش این الگو نسبت به الگوی کنونی به وسیله کشاورزان با سهولتی بیشتر امکان‌پذیر است. نتایج پژوهش مردانی و همکاران (۲۰۱۸) نیز بیانگر قابلیت اعتماد و انعطاف‌پذیری بهتر مدل‌های مبتنی بر عدم قطعیت نسبت به مدل‌های قطعی می‌باشد و پیشنهاد گردید برای محافظت سیستم در مقابل عدم قطعیت از الگوهای بهینه‌سازی استوار استفاده گردد.

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر بهینه‌سازی الگوی کشت و برنامه‌ریزی محصول زارعی در شهرستان سراب در

شرایط عدم قطعیت مورد مطالعه قرار گرفت. اهداف اقتصادی-اجتماعی حداکثرسازی سود و حداقل‌سازی مصرف آب هر کدام جداگانه و به کمک مدل‌های برنامه‌ریزی خطی بهینه گردید. در ادامه برای در نظر گرفتن همزمان هر دو هدف فوق و لحاظ نمودن محدودیت‌های فنی و اقتصادی (بخصوص در مورد منبع حیاتی و کمیاب آب که نقش اساسی در تعیین الگوی کشت و دستیابی به اهداف دارند)، رهیافت چندمعیاره برنامه‌ریزی ریاضی آرمانی در دو حالت قطعی و استوار (غیرقطعی) مورد استفاده قرار گرفت. عدم قطعیت و به عبارتی نادقیق بودن، همواره جزء جدا نشدنی در تصمیم‌گیری‌های زراعی است. نتایج نشان داد که استفاده از الگوی بهینه‌ی کشت در هر دو سناریو، دستیابی به هدف اصلی مطالعه یعنی استفاده‌ی مناسب و بهینه از نهاده کمیاب آب را امکان‌پذیر نمود. البته باید توجه داشت که مصرف این نهاده با افزایش عدم قطعیت، کاهش کمتری نشان می‌دهد. از آن‌جا که در دنیای واقعی، احتمال عدم قطعیت در داده‌های مورد استفاده بیشتر است، لذا استفاده از نتایج سناریوی ۲ برای اعمال تغییرات در الگوی کشت پیشنهاد می‌شود. برای مقابله با عدم کاهش میزان مصرف آب آبیاری (۷/۷ درصد کاهش) نسبت به حالت قطعی (۱۱/۱۱ درصد کاهش)، ایجاد تسهیلات مناسب برای افزایش راندمان آبیاری در الگوی کشت سناریوی ۲، پیشنهاد می‌شود. با این عمل، از یک سو کشاورزان به اجرای الگوی پیشنهادی ترغیب شده و از سوی دیگر، میزان مصرف آب که با اجرای الگو مورد تهدید قرار گرفته بود، کاهش خواهد یافت.

الگوی کشت غالب فعلی منطقه شامل محصولات گندم، جو، یونجه، اسپرس و سیب‌زمینی می‌باشد که در رهیافت برنامه‌ریزی آرمانی استوار این تغییر شامل کاهش سطح زیر کشت جو و اسپرس و افزایش سطح زیر کشت گندم، یونجه و سیب‌زمینی می‌باشد. در این میان سطح زیر کشت محصول گندم آبی در الگوی

محصول می‌تواند به رفع نیازهای غذایی مردم منطقه کمک نماید. از این‌رو گسترش سطح زیرکشت آن متناسب با مقدار توصیه شده در الگوی بهینه پیشنهاد می‌شود.

کشت بهینه نسبت به الگوی کشت فعلی به دلایل کم بودن نیاز آبی و بالا بودن نسبی سود نسبت به سایر محصولات، افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد. با عنایت به نیاز جامعه به محصول استراتژیک گندم و وجود قیمت تضمینی برای آن، افزایش تولید این

منابع مورد استفاده

- Abdeshahi A, Mardani Najafabadi M and Zeinali M, 2019. Application of multi-objective fuzzy nonlinear programming model to determining the optimal cropping pattern of crop production in Molathani County. Research report, Agriculture Sciences and Natural Resources, University of Khuzestan. No. 112.411.1. (In Persian with English abstract)
- Abdi Rokni Kh, Abedi S and Kashiri Kolaei F, 2019. Effect of optimization of chemical fertilizers consumption on optimal cropping pattern in the framework of positive mathematical programming (case study of Sari Goharbaran). *Journal of Agricultural Economics Research* 11(42): 263-276. (In Persian with English abstract)
- Alabdulkader AM, Al-Amoud AI and Awad FS, 2012. Optimization of the cropping pattern in Saudi Arabia using a mathematical programming sector model. *Agricultural Economics* 58(2): 56-60.
- Anagnostopoulos KP and Petalas C, 2011. A fuzzy multi-criteria benefit-cost approach for irrigation projects evaluation. *Agricultural Water Management* 98(9): 1409-1416.
- Asadi MA and Najafi Alamdarlo H, 2019. Economic evaluation of optimum cultivating pattern for reducing the use of groundwater in Dehghan plain. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research* 50(1): 29-43. (In Persian with English abstract)
- Asghari Moghaddam A and Vadiati M, 2016. Groundwater quality ranking of Sarab plain for drinking purpose using entropy method. *Water and Soil Science- University of Tabriz* 26(3): 1-13. (In Persian with English abstract)
- Avazyar M, Ahmadpour Borazjani M and Zyaei S, 2018. Determine optimal crop pattern with an emphasis on increasing the irrigation efficiency in lands of Mollasadra Dam in Fars province. *Journal Management System* 11(36): 21-32. (In Persian with English abstract)
- Bahraminasab M, Dorandish A and Kohansal M, 2014. Application of fuzzy programming with interval programming approach to determine the optimal cropping pattern of Esfarayen County. *Agricultural Economics & Development* 28(1): 83-91. (In Persian with English abstract)
- Bakhshoudeh M and Baghestani M, 2008. A study on the optimal cropping pattern in Iran using nonlinear-fractional programming. *Journal of Financial Economics* 1(4): 57-70. (In Persian with English abstract)
- Belaid A and Torre DL, 2010. A generalized stochastic goal programming model. *Applied Mathematics and Computation* 215(12): 4347-4357.
- Ben-Tal A and Nemirovski A, 1999. Robust solutions of uncertain linear programs. *Operations Research Letters* 25(1): 1-13.
- Bertsimas D and Sim M, 2004. The Price of Robustness. *Operations Research* 52(1): 35-53.
- Fallahi E, Khalilijan S and Ahmadiyan M, 2013. Optimizing cropping pattern with emphasis on water resource restrictions: a case study of Seidan-Farough plain, Marvdasht Township. *Journal of Agricultural Economics Research* 5(2): 91-115. (In Persian with English abstract)
- Filippi C, Mansini R and Stevanato E, 2017. Mixed integer linear programming models for optimal crop selection. *Computers and Operations Research* 81: 26-39.
- Hosseinzad J, Javadi A, Hayati B, Pishbahar E and Dashti GH, 2011. Application of optimal control model in groundwater extraction (case study: Ajabshir Plain). *Agricultural Economics & Development* 25(2): 212-218. (In Persian with English abstract)
- Li YP, Huang GH, Yang ZF and Nie SL 2008. Interval-fuzzy multistage programming for water resources management under uncertainty. *Resources, Conservation and Recycling* 52: 800-812.

- Majnooni Heris A and Asadi E, 2013. Principles and Concepts of Irrigation. Amidi Publications, Tabriz. (In Persian with English abstract)
- Manos B, Papathanasiou J, Bournaris T and Voudouris K, 2010. A multi-criteria model for planning agricultural regions within a context of groundwater rational management. *Journal of Environmental Management* 91: 1593-1600.
- Mardani M, Ziaei S and Nikouei A, 2018. Optimal cropping pattern modifications with the aim of environmental-economic decision making under uncertainty. *International Journal of Agricultural Management and Development* 8(3): 365-375.
- Mardani Najafabadi M, Ziaee S, Ahmadpour Borazjani M and Nikouei A, 2019. Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. *Agricultural Systems* 173: 218-232. (In Persian with English abstract)
- Mardani Najafabadi M, Abdeshahi A and Shirzadi Laskookalayeh S, 2020. Determining the optimal cropping pattern with emphasis on proper use of sustainable agricultural disruptive inputs: application of robust multi-objective linear fractional programming. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 30(1): 241-256. (In Persian with English abstract)
- Rath A, Samantaray S and Swain PC, 2019. Optimization of the cropping pattern using Cuckoo Search Technique. In *Smart Techniques for a Smarter Planet*. Pp. 19-35. In: Mishra MK, Mishra BSP, Patel YS and Misra R (eds). *Smart Techniques for a Smarter Planet*. Springer- Switzerland.
- Sabohi M, Soltani GH and Zibaie M, 2007. Evaluation of the strategies for groundwater resources management: a case study in Narimani Plain, Khorasan Province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 11(1): 475-484. (In Persian with English abstract)
- Seamus M and Surendra M, 2008. Lexicographic goal programming and assessment tools for a combinatorial production problem. Pp. 148-184. In: Lam Thu Bui and Sameer Alam (eds). *Multi-Objective Optimization in Computational Intelligence: Theory and Practice*. Australia.
- Stephen C, Leung H and Shirley SW, 2009. A goal programming model for aggregate production planning with resource utilization constraint. *Computers and Industrial Engineering* 56: 1053-1065.
- Taleschi Amirkhizi M, Delirhasannia R, Haghightajou P and Majnooni Heris A, 2019. Determining water quality of agricultural wells for use in pressurized irrigation systems of Sarab plain, Iran. *Water and Soil Science- University of Tabriz* 29(2): 185-198. (In Persian with English abstract)
- Tan Q and Zhang T. 2018. Robust fractional programming approach for improving agricultural water-use efficiency under uncertainty. *Journal of Hydrology* 564: 1110-1119.