نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار/ جلد ۳۰ شماره ۱ / بهار ۱۳۹۹

تعیین الگوی بهینه‌ی کشت محصولات زراعی با تأکید بر استفاده مناسب از نهاده‌های مختل‌کننده‌ی کشاورزی پایدار: کاربرد روش برنامه‌ریزی خطی کسری چندهدفه‌ی استوار

مصطفی مردانی نجف‌آبادی[۱]، عباس عبدشاهی[۱*]، سمیه شیرزادی لسکوکلایه[۲]

تاریخ دریافت: ۹۸/٤/۱ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۹

۱- استادیار و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، مازندران، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: abdeshahi1349@asnrukh.ac.ir

چکیده

یکی از چالش‌های موجود در توسعه‌ی کشاورزی پایدار، مصرف بیش از حد و غیربهینه‌ی نهاده‌های مختل‌کننده‌ی کشاورزی پایدار است. هدف از انجام این مطالعه، بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات زراعی در اراضی پایاب شبکه آبیاری و زهکشی میان‌آب شوشتر با تأکید بر کاهش استفاده از نهاده‌های کود و سموم شیمیایی می‌باشد. بدین منظور، از روش برنامه‌ریزی خطی کسری چندهدفه بدون در نظر گرفتن مسئله‌ی عدم حتمیت (سناریوی ۱) و با درنظرگرفتن شرایط عدم حتمیت از طریق بهینه‌سازی استوار (سناریوی ۲) استفاده گردید. داده‌های مطالعه از سازمان جهاد کشاورزی، سازمان آب و برق خوزستان و شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری کارون بزرگ در سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ جمع آوری گردید. یافته‌ها نشان داد که در سناریوی ۲، میزان مصرف کود شیمیایی، سموم دفع آفات، سطح زیرکشت و میزان مصرف آب آبیاری به ترتیب به میزان ۱۷، ۱۵، ۸ و ۱/۱ درصد کاهش یافت. همچنین مشخص شد که با افزایش میزان محافظت سیستم در مقابل عدم حتمیت، مصرف کود و سموم شیمیایی افزایش می‌یابد. لذا، الگوی بهینه‌ی کشت حاصل از مدل برنامه‌ریزی خطی کسری چند هدفه استوار به کشاورزان توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: الگوی بهینه‌ی کشت، الگوی چندهدفه‌ی استوار، برنامه‌ریزی خطی کسری، عدم حتمیت، کشاورزی پایدار

Determining the Optimal Cropping Pattern with Emphasis on Proper Use of Sustainable Agricultural Disruptive Inputs: Application of Robust Multi-Objective Linear Fractional Programming

Mostafa Mardani Najafabadi[1], Abas Abdeshahi[1*], Somayeh Shirzadi Laskookalayeh[2]

Received: June 22, 2019 Accepted: January 9, 2020
1-Assist. Prof., and Assoc. Prof., Dept. of Agricultural Economics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Molassani, Iran.
2-Assist. Prof., Dept. of Agricultural Economics, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Mazandaran, Iran.
*Corresponding Author Email: abdeshahi1349@asnrukh.ac.ir

Abstract

One of the challenges in developing of sustainable agriculture is the non-optimal and excessive use of disruptive inputs of sustainable agriculture. The purpose of this study was to optimize the cropping pattern in the lands of drainage and Irrigation network of Mianab-e- Shooshtar with an emphasis on reducing the use of chemical fertilizers and pesticides. For this purpose, the multi-objective fractional linear programming method was used without and with considering uncertainty (scenarios 1 and 2, respectively) via robust optimization. Data were collected from Agricultural Jihad Organization, Water and Power Organization of Khuzestan and the Utilization Company of Karun Irrigation Networks in 2017-2018 cropping year. The results showed that in the second scenario, the amount of fertilizer, pesticides, crop area and irrigation water consumption decreased by 17, 15, 8 and 1.1 percent, respectively. It was also found that increasing the system's protection against uncertainty, decreases the use of fertilizers and chemical pesticides. Therefore, the optimal cultivation pattern of robust multi-objective linear fractional programming method should be recommended to farmers.

Keywords: Linear Fractional Programming, Optimal Cropping Pattern, Robust Multi-Objective Model, Sustainable Agriculture & Uncertainty

مقدمه

با افزایش روزافزون جمعیت و نیاز به غذای بیشتر، کشاورزی با روش‌های مرسوم و سنتی با بازدهی کم، دیگر جوابگو نیست. طی سال‌های گذشته، با قطع درختان جنگلی و از بین بردن مراتع، سطح زیرکشت زمین‌های زراعی افزایش و با استفاده از تکنولوژی‌های صنعتی و روش‌های نوین کشاورزی، این نیاز تا حدودی مرتفع گردید. به کارگیری روش‌های شیمیایی و مکانیکی هر چند توانست کشاورزی را رونق دهد، ولی جاذبه‌های منافع کوتاه‌مدت کشاورزی تجاری به سیستم حساس و

آسیب‌پذیر خاک، این اجازه که چه مدت زمانی می‌توان از این روش کشاورزی استفاده کرد؟ به ما نمی‌دهد. در کشاورزی تجاری، استفاده‌ی بی‌رویه و نامتعادل از کودها و سموم شیمیایی، تخریب خاک و از بین رفتن موجودات خاکزی را در پی داشته و منجر به کاهش توان تولیدی و حاصل‌خیزی خاک و پایین آمدن کیفیت محصولات گردیده است (امیرنژاد و بهمن‌پوری ۲۰۱۳).

طی پنج دهه‌ی گذشته، سیاست‌های توسعه‌ی کشاورزی در راستای استفاده از نهاده‌های مختل‌کننده‌ی کشاورزی پایدار نظیر آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و ماشین‌آلات کشاورزی، تولید محصولات کشاورزی را افزایش داده، اما این نهاده‌ها به تدریج جانشین فرآیندها و منابع طبیعی موجود در مزارع شده است (پولیدو-ولازکیو و همکاران ۲۰۰۶). کشاورزی پایدار (به ویژه کشاورزی ارگانیک) از سوی سازمان‌های بین‌المللی متعدد مورد تأکید قرار گرفته و منجر به تأثیرات زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی مثبت گردیده است. از نظر اقتصادی، تأکید بر کشاورزی ارگانیک، باعث افزایش بهره‌وری استفاده از نهاده‌های تولید محصولات کشاورزی و همچنین بهبود و ایجاد فرصت‌های متنوع در بازار این محصولات شده است. کشاورزی پایدار، به معنی استفاده از مناسب‌ترین روش تولید، مطابق با اکوسیستم‌های طبیعی و همچنین با بیشترین میزان تولید، در کشاورزی است. در حالی که در کشاورزی تجاری، برای نیل به اهداف تولید کوتاه‌مدت از نهاده‌های کشاورزی به طور بی‌رویه استفاده می‌شود (پورزند و بخشوده ۲۰۱۲). یکی از روش‌های نیل به حد مطلوب مصرف نهاده‌های خارج از مزرعه و مختل‌کننده‌ی روند کشاورزی ارگانیک، تعیین میزان بهینه‌ی بکارگیری نهاده‌ها از طریق ایجاد یک الگوی کشت بهینه است (مردانی و همکاران ۲۰۱۶).

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 دربر گیرنده‌ی اطلاعات فوق برای بررسی رفتارهای زارعین و ارائه‌ی راه حل‌های بهینه‌سازی این فعالیت‌هامی‌باشد (مردانی نجف‌آبادی و همکاران ۲۰۱۹). در زمینه‌ی بهینه‌سازی تخصیص زمین‌های قابل کشت با استفاده از تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی، مطالعات در خور توجهی در مناطق مختلف دنیا انجام شده است. در بسیاری از این مطالعات از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی آرمانی و برنامه‌ریزی چندهدفه استفاده شده است. به عنوان مثال، مردانی نجف‌آبادی و همکاران (۲۰۱۹) به تخصیص بهینه‌ی زمین‌های زراعی و باغی با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه‌ی فازی در قالب یک مدل برنامه‌ریزی منطقه‌ای در استان اصفهان پرداختند. در این مطالعه اهدافی از قبیل حداکثرسازی سود ناخالص، حداقل‌سازی واردات خالص آب مجازی، حداقل‌سازی مصرف کود و سموم شیمیایی و حداکثرسازی اشتغال نیروی کار مدنظر قرار گرفت. نتایج مطالعه حاکی از کاهش سطح زیرکشت محصولات زراعی در استان اصفهان بود. عبدشاهی و همکاران (۲۰۱۹) به تعیین الگوی کشت محصولات زارعی شهرستان ملاثانی (واقع در استان خوزستان) تحت دو سناریو با و بدون لحاظ مسئله‌ی عدم حتیمت پرداختند. در این مطالعه از روش بهینه‌سازی استوار جهت اعمال شرایط عدم حتمیت در مدل چندهدفه استفاده شد. نتایج نشان داد که در الگوی بهینه‌ی هر دو سناریو، سطح زیرکشت سبزیجات افزایش و سطح زیرکشت محصول کلزا کاهش یافته است.

مأنوس و همکاران (۲۰۱۰) برای تعیین الگوی کشت مناطق شمالی مصر از مدل‌های برنامه‌ریزی چندمعیاره (برنامه‌ریزی آرمانی) استفاده نموده‌اند. نتایج کلی حاصل از این مطالعه بیانگر توانایی بیشتر مدل‌های چندهدفه نسبت به مدل‌های تک‌هدفه بود. فیلیپی و همکاران (۲۰۱۷)

با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی اعداد مختلط[۱] به تعیین الگوی کشت در منطقه‌ی ونتو[۲] واقع در شمال ایتالیا پرداختند. در مطالعه‌ی آنها، دو نوع مدل برنامه‌ریزی خطی و مدل ارزش در معرض خطر مشروط [۳] استفاده شد. ایشان استفاده از مدل نوع دوم برای اعمال تغییرات الگوی کشت را پیشنهاد نمودند.

در مطالعات فوق، تابع هدف حداکثر یا حداقل نمودن یک یا چند معیار خاص با توجه به هدف تحقیق بود. در بسیاری از مسائل عملی و به خصوص در مواقعی که صحبت از شاخص‌های کمی پایداری به میان می‌آید، بهینه‌سازی نسبت معیارها از بهینه نمودن هر معیار به تنهایی، بینش بهتری ارائه می‌کند. برنامه‌ریزی کسری[٤] معمول‌ترین روش برنامه‌ریزی ریاضی با اهداف نسبتی است. از سوی دیگر، وجود معیارهای متفاوت در اهداف نسبتی نیز باعث به وجود آمدن مدل‌های برنامه‌ریزی کسری خطی چندهدفه[٥] گردیده است. از این روش در مطالعات مختلفی در زمینه‌ی مدیریت کشاورزی استفاده شده است. به عنوان مثال، در مطالعه‌ی زانگ و گو (۲۰۱۷) از روش برنامه‌ریزی کسری خطی با اعتبار محدودشده‌ی فازی تعمیم یافته [٦](GFCCFP) جهت تخصیص بهینه‌ی آب آبیاری در حوضه‌ی آبریز هیه[۷] در شمال غربی کشور چین استفاده شده است. در مطالعه‌ی آنان برای یافتن جواب‌های بهینه، ازمدل ترکیبی روش محدودیت و روش مجموعه غیرپست [۸](CONNISE) استفاده شد. این روش بر اساس تخمین مرزهای کارای ضعیف در فضای هدف[۹]، شامل نقاطی از مجموعه‌ی مناطق امکان‌پذیر، تعریف شده است. فاصله‌ی بین این نقاط نباید از مقداری که قبلاً درنظر گرفته شده، تخطی کند. این روش برای یافتن جواب‌های کارا بسیار مفید می‌باشد؛ اما، در مسائلی با بیش از دو هدف، جواب‌ها همگرایی خود را از دست داده و یافتن جواب نهایی بسیار دشوار خواهد بود. این مشکل با کنترل فاصله‌ی در نظر گرفته‌شده برای خطای از پیش تعیین‌شده با استفاده از روش تخمین کنترل‌شده[۱۰] (CEM)، قابل حل است (کابالرو و هرناندز ۲۰۰٤).

انواع مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی در شرایط عدم حتمیت در کشاورزی به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این میان، استفاده از برنامه‌ریزی فازی، بازه‌ای، خاکستری، تصادفی[۱۱] و یا ترکیبی از این مدل‌ها، بیشتر به چشم می‌خورد (آیتو و همکاران ۲۰۰۳، ون‌هوپ ۲۰۰۷، لی و همکاران ۲۰۰۸ و آناگنوستوپلاس و پتالاس ۲۰۱۱). در اواسط دهه‌ی ۱۹۹۰ مبحث ایجاد محافظه-کاری[۱۲] (در مقابل عدم حتمیت) در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی با محدود کردن پارامترهای نامطمئن مطرح شد (بن‌تال و نمیروسکی ۱۹۹۹). در این روش، بهینه‌سازی بر اساس دو اصل از اصول مدیریت کاربردی تحت شرایط عدم حتمیت، توصیف می‌شود. اصل اول بیانگر آن است که پیش‌بینی‌های نقطه‌ای[۱۳] بی‌معنی بوده و باید با پیش‌بینی‌های دامنه‌ای[۱٤] جایگزین شوند و اصل دوم حاکی از آن است که مجموعه‌ی پیش‌بینی‌ها دقیق‌تر از تک تک آنها هستند. از جمله فواید استفاده از روش بهینه‌سازی استوار می‌توان به ۱) ارائه‌ی پاسخ‌های بهینه‌ی نقطه‌ای به جای بازه‌ای بودن پاسخ‌های بهینه، ۲) عدم نیاز به آگاهی از توزیع داده‌ها بر خلاف روش‌های برنامه‌ریزی تصادفی و ۳) عدم چشم‌پوشی از اطلاعات مربوط به ضرایب عدم اطمینان جهت غلبه بر مشکل

۱-Mixed Integer Linear Programming model
۲ -Veneto region
۳ . Conditional Value-at-Risk
۴ . Fractional Programming
۵ . Multi-objective Linear Fractional Programming
۶ . Generalized fuzzy credibility-constrained linear fractional programming
۷. Heihe River Basin
۸ . Constraint - Non-inferior Set
۹ . Objective Space
۱۰. Controlled Estimation Method
۱۱ . Fuzzy, Interval, Gray, Stochastic programming
۱۲ . conservatism
۱۳ . Forecasts Point
۱۴ . Forecasts Range

موجود در روش‌های فازی، اشاره نمود (برتسیماس و سیم ۲۰۰٤).

شبکه‌ی آبیاری و زهکشی میاناب شوشتر در استان خوزستان واقع شده و اراضی واقع در جنوب شهرستان شوشتر را سیراب می‌نماید. طبق آمار رسمی سازمان‌های دولتی، مصرف کود و سموم شیمیایی در اراضی تحت پوشش این شبکه، ٤/٥ برابر حد میانگین ایران می‌باشد (سازمان آب و برق خوزستان ۲۰۱۹). شبکه‌ی آبیاری و زهکشی میاناب شوشتر در سه فاز مجزا و در سال‌های مختلف مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. اراضی تحت پوشش این شبکه ۸٥٦٦ هکتار بوده که بالغ بر ۱٦۰۰ بهره‌بردار از آن استفاده می‌کنند. مازاد آب آبیاری در این شبکه، توسط زهکش‌های تعبیه شده به رودخانه‌ها بازگشته و باعث آلوده شدن آب در پایین‌دست شبکه می‌گردد. از این‌رو، انتخاب این منطقه برای تعیین الگوی کشتی که منجر به استفاده‌ی بهینه از نهاده‌های مختل‌کننده‌ی کشاورزی پایدار باشد، مناسب به نظر می‌رسد. بنابراین، هدف از مطالعه‌ی حاضر، ارائه‌ی مدل برنامه‌ریزی تعیین الگوی کشت بهینه در راستای استفاده‌ی مناسب از نهاده‌های مختل‌کننده‌ی کشاورزی پایدار در شبکه‌ی آبیاری و زهکشی میاناب شوشتر می‌باشد. جهت حصول پاسخ‌هایی همگرا و مناسب، مدل برنامه‌ریزی خطی کسری چندهدفه با روش تخمین کنترل‌شده حل خواهد شد. اعمال شرایط عدم حتیمت در مدل نیز با استفاده از روش بهینه‌سازی استوار انجام می‌پذیرد. بنابراین، نوآوری این مطالعه در درجه‌ی اول، پیشنهاد مدل برنامه‌ریزی خطی کسری چندهدفه‌ی استوار[۱] (RMOLFP) جهت بهینه‌سازی الگوی کشت با اهداف نسبتی و در درجه دوم، کاربرد این مدل برای شبکه‌ی‌آبیاری و زهکشی مذکور بوده که تاکنون مطالعه‌ای برای بهینه‌سازی الگوی کشت در آن منطقه انجام نشده است.

روش تحقیق

از جمله مهمترین نهاده‌های خارج از مزرعه که استفاده‌ی بیش از حد آن موجب تخریب منابع آب و خاک و همچنین باعث ایجاد اختلال در حوزه‌ی سلامت می‌گردد، نهاده‌های کود و سموم شیمیایی می‌باشند (بل و مورس ۲۰۰۸). تهیه و تنظیم الگوی کشت یک منطقه با در نظر گرفتن این موضوع، موجب جلوگیری از این پدیده‌های مضر برای محیط زیست می‌گردد. حداقل نمودن استفاده از این نهاده‌ها در واحد سطح، می‌تواند به پایداری تولید محصولات کشاورزی کمک شایان توجهی نماید. از جمله شاخص‌های مناسب برای بررسی میزان پایداری الگوهای بهینه کشت از نظر استفاده از این دو نهاده، می‌توان به نسبت کود (سم) به زمین که از تقسیم میزان کود (سم) مصرفی بر سطح زیرکشت به دست می‌آید، اشاره نمود.

در انواع مسائل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی کسری، تابع هدف به صورت یک نسبت ($\frac{f(x)}{g(x)}$) بیان می‌شود. برنامه‌ریزی کسری خطی نیز از انواع برنامه‌ریزی کسری می‌باشد. با این تفاوت که، صورت و مخرج تابع هدف در آن، جزء توابع نسبت زوجی (AF)[۲] بوده و همچنین مجموعه‌ی امکان‌پذیر آن، یک چندوجهی محدب است (میشرا و همکاران ۲۰۱٤). یک مدل برنامه‌ریزی کسری خطی چندهدفه به صورت رابطه‌ی ۱ ارائه می‌شود:

که $c,d\in\Re^n$ ضرایب تابع هدف، $\alpha_i,\beta_i\in\Re$ جزء ثابت، $A\in M_{m\times n}(\Re)$ ماتریس ضرایب فنی تولید، x متغیر تصمیم و $b\in\Re^m$ مقادیر سمت راست نامعادله است.

جهت اعمال شرایط نامطمئن در پارامترهای مدل پیشنهادی، از بهینه‌سازی استوار استفاده شده است. فرم خطی الگوی بهینه‌سازی استوار را می‌توان به صورت رابطه‌ی ۲ نوشت (برتسیماس و سیم ۲۰۰٤).

۱. Robust Multi-Objective Linear Fractional Programming

۲. Affine Function

$$Max \quad \left\{\varphi_1(x)=\frac{c_1^t x+\alpha_1}{d_1^t x+\beta_1},.....\varphi_p(x)=\frac{c_p^t x+\alpha_p}{d_p^t+\beta_p}\right\}$$
$$s.t \quad Ax\le b, \qquad \text{(رابطه ۱)}$$
$$x\ge 0,$$

$$Maximize \quad cx$$
$$subject \quad to \quad \sum_{j=1}^{n}\tilde{a}_{ij}x_j\le b, \quad \forall i,j\in J_i \qquad \text{(رابطه ۲)}$$
$$l\le X\le u.$$

که x ماتریس متغیرهای تصمیم، c ماتریس ضرایب تابع هدف و 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 [۱- , ۱] هستند.

با بازنویسی مدل ۲ به صورت بهینه‌سازی استوار، قابلیت اعتماد به سیستم‌ها در شرایط عدم حتمیت بهبود می‌یابد (برتسیماس و سیم، ۲۰۰٤). فرم بهینه‌سازی استوار به صورت رابطه‌ی ۳ است (برتسیماس و سیم ۲۰۰٤).

$$\begin{aligned} Maximize \quad & z=cx \\ subject \quad to \quad & \sum_j a_{ij}x_j+z_i\Gamma_i+\sum_{j\in J_i}p_{ij}\le b_i && \forall i \\ & z_i+p_{ij}\ge \varepsilon a_{ij}y_j && \forall i,j \\ & -y_j\le x_j\le y_j && \forall j \\ & l_j\le x_j\le u_j && \forall j \\ & (p_{ij},y_j,z_i)\ge 0 \end{aligned} \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

که z، p و y متغیرهای اضافی[۱] غیرمنفی و ε سطح عدم اطمینان معین[۲] به منظور لحاظ عدم حتمیت در الگو هستند. در مدل ۳ که فرم خطی بهینه‌سازی است، $n+k+1$ متغیر و $m+k+n$ محدودیت وجود دارد. میزان اطمینان مدل در مقابل عدم حتمیت به مقدار پارامترهای Γ_i بستگی دارد. هرگاه $\Gamma_i=0$ باشد، $z_i\Gamma_i+\sum_{j\in J_i}p_{ij}$ در محدودیت اول از مدل حذف و محدودیت در شرایط عدم حتمیت به محدودیت در شرایط حتمیت تبدیل می‌گردد. این مهم به این دلیل اتفاق می‌افتد که حداکثر مقدار مورد نیاز این جمله به متغیر Z منتقل شده و با توجه به اینکه $\Gamma_i=0$ است، تغییری در محدودیت اولیه به وجود نخواهد آمد. همچنین، هرگاه $\Gamma_i=|J_i|$ باشد، میزان حفاظت سیستم در مقابل عدم حتمیت به حداکثر خود رسیده و به طور کامل انجام می‌شود. در این روش، مبادله‌ای بین میزان محافظه‌کاری سیستم در مقابل عدم حتمیت (Γ_i) و ظرفیت سیستم (x_i) انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر، هر چقدر میزان محافظه‌کاری سیستم در مقابل عدم حتمیت افزایش یابد، از ظرفیت سیستم کاسته می‌شود.

پارامتر Γ_i مقادیر مختلفی می‌تواند اختیار نماید که حداقل مقدار آن در سطح حداکثر احتمال انحراف

۱. Additional Variable

۲. Given Level of Uncertainty

محدودیت iام از کران خود و از طریق رابطه‌ی ٤ اتفاق می‌افتد.

$$\Gamma_j = 1 + \Phi^{-1}(1 - p_i)\sqrt{n} \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

که Φ توزیع تجمعی متغیر گاوسی استاندارد[1] و n منابع عدم حتیمت در هر محدودیت است. برای مثال، اگر n=۵۰ و p_i=۰/۰۵ باشد، مقدار این پارامتر ۱۲/۵۹ خواهد بود.

توابع هدف مطالعه‌ی حاضر، جهت بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی و هم‌راستایی این الگو با اهداف نسبتی مطرح شده در رابطه با کود و سم، به صورت رابطه‌ی ٥ تعریف می‌شوند:

$$\begin{cases} Min:\ \varphi_{1-3} = \dfrac{\sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R} f_{tjsr}x_{jsr}}{\sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R} x_{jsr}} & t = 1,2,3; \\ Min:\ \varphi_{4-6} = \dfrac{\sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R} pe_{zjsr}x_{jsr}}{\sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R} x_{jsr}} & z = 1,2,3 \end{cases} \qquad \text{(رابطه ٥)}$$

توابع هدف φ_1 تا φ_3 مربوط به پایداری نسبت کودهای شیمیایی ازته، فسفاته و پتاسه می‌باشد. در این توابع، x_{jsr} معرف سطح زیرکشت محصول j در فصل sبرای منطقه r و f_{tjsr} معرف مقدار کود شیمیایی مورد نیاز از نوع t برای کشت هر هکتار از محصول j در فصل s برای منطقه r می‌باشند. توابع φ_4 تا φ_6 مربوط به پایداری نسبت به آفت‌کش‌های علف‌کش، قارچ‌کش و حشره‌کش می‌باشند. در این توابع، pe_{zjsr} معرف مقدار آفت‌کش مورد نیاز نوع z در هر هکتار محصول j در فصل s برای منطقه r است.

روابط ٦ تا ١٢ محدودیت‌های مدل را نشان می‌دهند.

$$\sum_{j=1}^{J}\frac{w_{jsr}}{eff_r}x_{jsr} \le W_{sr} \qquad \forall s,r \qquad \text{(رابطه ٦)}$$

$$\sum_{j=1}^{J} l_{jsr}x_{jsr} \le L_{sr} \qquad \forall s,r \qquad \text{(رابطه ٧)}$$

$$\sum_{j=1}^{J} m_{jsr}x_{jsr} \le M_{sr} \qquad \forall s,r \qquad \text{(رابطه ٨)}$$

$$\sum_{j=1}^{J} f_{tjsr}x_{jsr} \le F_{tsr} \qquad \forall t,s,r \qquad \text{(رابطه ٩)}$$

$$\sum_{j=1}^{J} pe_{zjsr}x_{jsr} \le PE_{zs} \qquad \forall z,s,r \qquad \text{(رابطه ١٠)}$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S} Sch_{jsr}x_{jsr} \le A_r \qquad \forall r \qquad \text{(رابطه ١١)}$$

1. Cumulative Distribution Of the Standard Gaussian Variable

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S}(mpv_{jr}+spv_{jr}-cp_{jr})x_{jsr}\geq Cur\,\mathrm{Profit}_{r} \qquad \forall r \qquad \text{(رابطه ۱۲)}$$

نامعادله‌ی ٦ مربوط به میزان آب در دسترس می‌باشد. در این محدودیت، w_{jsr} نیاز ناخالص آبی برای محصول j در فصل s و منطقه r برحسب مترمکعب در هکتار، eff_r راندمان آبیاری در منطقه r و W_{sr} میزان کل آب در دسترس در فصل s و منطقه r برحسب مترمکعب می‌باشد. نامعادله‌ی ۷ مربوط به نیروی‌کار بوده که در آن l_{jsr} معرف مقدار نیروی کار مورد نیاز برای کشت هر هکتار از محصول j در فصل s و منطقه r برحسب نفر-روز کار و L_{sr} معرف کل مقدار نیروی‌کار در دسترس در فصل s و منطقه r برحسب نفر روز است. نامعادله‌ی ۸ مربوط به ساعات استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی بوده و در این محدودیت، m_{jsr} معرف تعداد ساعات استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی در هر هکتار از محصول j در فصل s و منطقه r برحسب ساعت درهکتار و M_{sr}، معرف مقدار ساعات ماشین‌آلات کشاورزی در دسترس در فصل s و منطقه r برحسب ساعت است. نامعادلات ۹ و ۱۰ به ترتیب مربوط به کود شیمیایی و آفت‌کش می‌باشد. در این محدودیت‌ها، F_{tsr} شاخص مقدار کل کود در دسترس از نوع t در فصل s و منطقه r برحسب کیلوگرم و PE_{zsr} معرف مقدار آفت‌کش در دسترس از نوع z در فصل s و منطقه r برحسب لیتر است. محدودیت ۱۱ مربوط به زمین بوده که A_r معرف مقدار زمین در دسترس در منطقه r برحسب هکتار برای کلیه محصولات مورد مطالعه بوده و نماد Sch_{jsr} در آن معرف ضریب اشغال زمین می‌باشد. درصورتی که هر محصول در هر ماه در زمین وجود داشته باشد (از مرحله کاشت تا برداشت) ضریب اشغال آن محصول در آن ماه‌ها یک، و در غیر این صورت صفر است. معادله‌ی ۱۲ نیز مربوط به حفظ سود ناخالص جاری هر منطقه است. در این معادله، mpv_{jr} ارزش محصول اصلی برای کشت یک هکتار از محصول j در منطقه r، spv_{jr} ارزش محصول فرعی برای کشت یک هکتار از محصول j در منطقه r، cp_{jr} هزینه‌ی تولید برای کشت یک هکتار از محصول j در منطقه r و $curProfit_r$ سود ناخالص جاری در منطقه r می‌باشد.

$$\sum_{j=1}^{J}\frac{w_{jsr}}{eff_r}x_{jsr}+z_{sr}\Gamma_{sr}+p_{sr}\leq \overline{W}_{sr} \qquad \forall s,r \qquad \text{(رابطه ۱۳)}$$

$$\Gamma_{sr}+p_{sr}\geq \varepsilon\overline{W}_{sr} \qquad \forall s,r \qquad \text{(رابطه ۱٤)}$$

که $\overline{W}_{sr}$ معرف مقدار اسمی پارامتر آب قابل دسترس می‌باشند. در معادله ۱۳ دو پرامتر p و z برای هر محدودیت برای هر منطقه و هر فصل معرفی شده و مطابق توضیحات معادله ۳ به وسیله پارامتر Γ کنترل می‌شوند. در معادله ۱٤ الزام محدودیت ۱۳ برای رعایت محافظت سیستم در مقابل عدم حتمیت رقم خورده و در صورتی که مقدار سطح عدم اطمینان معین (ε) عددی مثبت باشد، سیستم استوار مقادیری را با توجه به ایجاد کمترین کاهش برای مقدار سمت راست محدودیت ۱٤ به دو متغیر مذکور تخصیص می‌دهد.

در مطالعه‌ی حاضر، تنها نهاده‌ی آب قابل دسترس، جزء پارامترهای نامطمئن در نظرگرفته می‌شود. بنابراین، با تعریف پارامتر Γ و استفاده از مدل ۳، محدودیت مقدار آب در دسترس (رابطه ٦) به دورابطه ۱۳ و ۱٤ تبدیل می‌شود.

فرایند حل مدل برنامه‌ریزی خطی کسری چندهدفه‌ی استوار (RMOLFP) در نرم‌افزا بهینه‌ساز GAMS انجام شد. روش حل مورد استفاده در این نرم‌افزار، CONOPT4 بوده که یکی از روش‌های حل مسائل برنامه‌ریزی ریاضی است.

داده‌های مورد نیاز مطالعه از سازمان جهاد کشاورزی، سازمان آب و برق خوزستان و شرکت بهره-برداری از شبکه‌های آبیاری کارون بزرگ در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ دریافت گردید. در این شبکه به طور کلی، دو فصل کشت تابستانه و زمستانه وجود داشته که در این فصول، ۹ نوع محصول کشت می‌شود. برخی از این محصولات (مانند ذرت علوفه‌ای) در هر دو فصل کشت شده و برخی دیگر از انواع محصولات (مانند یونجه) چندساله هستند.

نتایج و بحث

سطح زیرکشت محصولات زراعی در اراضی تحت پوشش شبکه‌ی آبیاری و زهکشی میان‌آب شوشتر به تفکیک فازهای بهره‌برداری و فصل کشت در جدول ۱ و سود ناخالص، هزینه‌ی تولید و میزان استفاده‌ی هر محصول از نهاده‌های مختلف در جدول ۲، آمده است.

جدول ۱- سطح زیرکشت محصولات زراعی موجود در اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی میاناب شوشتر به تفکیک فازهای بهره‌برداری و فصل کشت (هکتار)

محصول	فصل	متغیر تصمیم	فاز ۱	فاز ۲	فاز ۳	مجموع	سهم از کل سطح زیرکشت
برنج	تابستان	x_{11r}	۳۰۴/۳۳	۸۱۷/۸۱	۷۸۶/۶۰	۱۹۰۸/۷۴	۱۶/۷۲
ذرت علوفه‌ای	تابستان	x_{21r}	۱۸۸/۶۸	۷۹/۹۷	۳۰/۹۳	۲۹۹/۵۸	۲/۶۲
لوبیا	تابستان	x_{31r}	۸۷/۸۸	۱۰۳/۹۱	۴۴۹/۹۴	۶۴۱/۷۳	۵/۶۲
ماش	تابستان	x_{41r}	۳۵۵/۴۲	۲۴۵/۴۵	۳۶۴/۴۱	۹۶۵/۲۸	۸/۴۶
یونجه	تابستان	x_{51r}	۱۵۱/۹۰	۲۶/۵۲	۱۴/۹۳	۱۹۳/۳۵	۱/۶۹
هندوانه	تابستان	x_{61r}	۰/۷۰	۰/۳۰	۳۰/۶۰	۳۱/۶۰	۰/۲۸
جو	زمستان	x_{12r}	۱۳/۲۷	۲۵/۰۵	۳۷/۱۲	۷۵/۴۴	۰/۶۶
ذرت علوفه‌ای	زمستان	x_{22r}	۴	۴۵/۵۹	۰	۴۹/۵۹	۰/۴۳
گندم	زمستان	x_{32r}	۱۸۴۷/۸۸	۲۷۶۹/۴۴	۲۳۹۱/۷۴	۷۰۰۹/۰۶	۶۱/۴۱
کلزا	زمستان	x_{42r}	۲۹/۶۴	۴/۱۹	۶۳/۵۴	۹۷/۳۷	۰/۸۵
یونجه	زمستان	x_{52r}	۱۰۹/۲۴	۲۲/۹۱	۹/۰۴	۱۴۱/۱۹	۱/۲۴
مجموع	–	-	۳۰۹۲/۹۴	۴۱۴۱/۱۴	۴۱۷۸/۸۵	۱۱۴۱۲/۹۳	۱۰۰

منبع: سالنامه آماری جهاد کشاورزی استان خوزستان (۲۰۱۸)

همان‌گونه که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود، به علت وجود قیمت تضمینی گندم و در نتیجه حذف ریسک درآمدی آن، این محصول با سطح زیرکشتی بالغ بر ۷۰۰۰ هکتار، یکی از محصولات محبوب کشاورزان این شبکه است. وجود تجهیزات آبیاری مدرن‌تر در فاز ۳ شبکه، باعث شده تا علی‌رغم در دسترس بودن آب و کوتاه‌تر بودن طول کانال نسبت به فازهای ۱ و ۲، سطح زیرکشت محصولات در این فاز حدود ۱۰۰۰ هکتار بیشتر از فاز ۱ و مقدار ناچیزی (حدود ۷ هکتار) کمتر از فاز ۲ باشد.

با توجه به جداول ۱و ۲، اطلاعات مهمی در رابطه با سطح زیرکشت و مقادیر مصرف نهاده‌ها به دست می‌آید. به عنوان مثال، با وجود بالاتر بودن سود ناخالص در هکتار ذرت علوفه‌ای (۲۰۵/۲۵ میلیون ریال در هکتار) نسبت به گندم و جو، اما این محصول از سطح زیرکشت کمتری برخوردار است (جدول ۱). ملاحظه می‌شود که مصرف نهاده‌های کود و سموم شیمیایی در این محصول نسبت به دو محصول دیگر بالاتر بوده و این امر، علی‌رغم مخالفت شدید کشاورزان، موجب ایجاد محدودیت کشت این محصول در منطقه‌ی مورد مطالعه

از طرف دولت گردیده است. هرچند این دو نهاده به میزان کمی در محصول جو مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما به دلیل پایین بودن سود ناخالص آن (۶/۷۲ میلیون ریال در هکتار)، از سطح زیرکشت اندکی (حدود ۷۵ هکتار) در منطقه‌ی مورد مطالعه برخوردار است. با توجه به اطلاعات خلاصه شده در جداول ۱ و ۲ به بازنگری الگوی کشت فعلی منطقه پرداخته می‌شود. الگوی کشت پیشنهادی بایستی اولاً مورد استقبال کشاورزان واقع شده و ثانیاً، مصرف نهاده‌های کود و سموم شیمیایی را کاهش دهد.

جدول ۲- میانگین ضرایب فنی و اقتصادی تولید محصولات کشاورزی در شبکه آبیاری و زهکشی میاناب شوشتر (در هکتار)

	برنج	ذرت علوفه ای	لوبیا	ماش	یونجه	هندوانه	جو	گندم	کلزا
سود ناخالص (میلیون ریال)	٦٤/٤٨	٢٠٥/٢٥	٣/٤٩	١٤/٠٥	٣٨/٧١	٣٥/١٠	٦/٧٢	١٤/٣٩	٧/٤٩
ارزش محصول اصلی (میلیون ریال)	١٠٧/٥٥	٢١٩/٢٦	٣٧/٦٧	٣٩/٠٠	١٠٧/٣٧	٩٦/١٢	٢٤/٠٣	٣٧/٦٦	٣٢/١٧
ارزش محصول فرعی (میلیون ریال)	٢/٢٩	٠/٠٠	١/٣٣	١/٣٠	٠/٠٠	٠/٠٠	١/٢٨	١/٢٢	٠/٠٠
هزینه تولید (میلیون ریال)	٥٦/١٠	٤٨/٢١	٣٦/٠٩	٢٨/٦٠	٧٥/١١	٦٦/٨٧	١٩/٧١	٢٦/٨٩	٢٥/٩٣
فسفات (کیلوگرم)	١٩٩/١٨	٩١/١٤	٩٣/٣٣	٥٠	١٩٨/٥٧	٩٤/٨٠	١٨/٧٢	٨١/٧٨	٧٣/٦٥
ازت (کیلوگرم)	٣٢٩/٤١	٣٩٣/٥٩	١٨٦/٦٦	٢٥	١٣/٥٦	٢٠٦/٣٥	١٠٢/٧٨	٢٩٤/٠٦	٢٣٢/٦٢
پتاس (کیلوگرم)	٠	١١/٤٧	٠	٥٠	١٤/٢٨	٧/١٨	٠/١٩	٤/٩٨	٢٠/٩٤
کود شیمیایی (کیلوگرم)	٥٢٨/٥٩	٤٩٦/٢٠	٢٧٩/٩٩	١٢٥	٢٢٦/٤١	٣٠٨/٣٣	١٢١/٦٩	٣٨٠/٨٢	٣٢٧/٢١
علف‌کش (کیلوگرم)	٠/٧٣	٢/٥٦	٠	٠	٠/١٦	١/٥٥	٠/٢٣	١/٢٣	٢/٥٧
حشره‌کش (کیلوگرم)	١/٢٧	٠/٤٨	٠	٠	٠/١٢	١/٤٠	٠/٠١	٠/١٠	٠/٦٣
قارچ‌کش (کیلوگرم)	٠	٠	٠	٠	٠/٠٥	١/٠٣	٠/٠١	٠/٠١	٠/١٢
مجموع سموم (کیلوگرم)	٢	٣/٠٤	٠	٠	٠/٣٣	٣/٩٨	٠/٢٥	١/٣٤	٣/٣٢
نیاز خالص آبی (مترمکعب)	٨٥٥٠	٢٥٧٠	٥٢١٠	٤٨٩٠	١٢٠٤٠	٤٢١٠	١٧٩٠	٢٢٧٠	٣٤٢٢
ماشین‌آلات (ساعت)	٢١	٢٥/٥	٢٨	٣٣	٣٢	٢٠	٢٣	٢٢	٣٠
نیروی کار (نفر-روزکار)	١٠٠/٨٣	١٢/٠٩	٢٥/٦٣	٢٧	٥٠/٢٦	٣٥/٨٥	٦/٨٥	٥/٦٠	٦/٥٥

منبع: یافته‌های تحقیق

جهت دسترسی هر چه بهتر به نتایج همگرا در مدل ترکیبی، روش محدودیت و روش مجموعه‌ی غیرپست، تعداد ۵۱۲ زیرفضا در فضای هدف ایجاد و با استفاده از روش تخمین کنترل‌شده و بررسی و حذف این زیرفضاهای با تعداد متفاوت نقاط ایده‌آل و غیرایده‌آل، جواب‌های بهینه به دست آمد. الگوریتم‌های ریاضی مدل پیشنهادی، با روش برنامه‌ریزی خطی کسری چندهدفه‌ی استوار مدل‌سازی و در نرم افزار بهینه‌ساز GAMS کدنویسی گردید. سپس 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 حتمیت شد.

حل مدل و مقایسه‌ی الگوی به دست آمده با الگوی جاری، حاکی از تفاوت بسیار زیاد دو الگو است. در جدول ۳، شرایط مناسبی برای مقایسه‌ی الگوها در دو سطح $p=1$ و $\varepsilon=0$ (سناریوی ۱) که شرایط حتمیت را مدل‌سازی می‌کند و $p=0.1$ و $\varepsilon=0.1$ (سناریوی ۲) که عدم حتمیت را اعمال می‌نماید، فراهم آمده است. ملاحظه

می‌شود که دو محصول هندوانه و کلزا در الگوی کشت هیچ کدام از دو سناریوی مورد بررسی، حضور ندارند. علت آن را می‌توان در مصرف بالای نهاده‌ها توسط این دو محصول (مجموع علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش در این دو محصول به ترتیب ۳/۹۸ و ۳/۳۲ لیتر در هکتار) و همچنین پایین بودن سود ناخالص آن‌ها جستجو نمود. ناگفته نماند که سهم این دو محصول در الگوی فعلی هم پایین است.

داده‌های جدول ۳ همچنین حاکی از کاهش سطح زیرکشت دو محصول گندم و برنج (که در الگوی جاری، حدود ۷۹ درصد سطح زیرکشت را به خود اختصاص می‌دهند) در هر سه فاز و هر دو سناریوی مورد بررسی است. در سناریوی ۲، سطح زیرکشت این دو محصول به ترتیب با ۳۰ و ۲۳ درصد کاهش، منجر به کاهش ۲۱۱۱ هکتاری سطح زیرکشت اراضی منطقه گردیده است. در مقابل، برای جبران کاهش سود ناشی از کاهش سطح زیرکشت این دو محصول، سطح زیرکشت ذرت علوفه‌ای و یونجه در مدل پیشنهادی افزایش یافته است. این یافته در نقطه‌ی مقابل سیاست فعلی دولت در رابطه با محدودیت سطح زیرکشت ذرت علوفه‌ای است. زیرا سیاست محدود نمودن سطح زیرکشت این محصول، ضمن در پی داشتن نارضایتی کشاورزان، توصیه‌ی سیاستی این الگو را با مشکل مواجه می‌نمایند. ملاحظه می‌گردد که با افزایش میزان محافظت مدل در مقابل عدم حتمیت، مقدار سطح زیرکشت به مقدار بیشتری کاهش می‌یابد. به طوری که در سطح احتمال ۱۰ درصد، کاهش سطح زیرکشت معادل ۵ درصد و در سطح احتمال ۱۰۰ درصد، این میزان کاهش به ۱۵ درصد می‌رسد.

در اکثر مطالعات انجام شده در زمینه‌ی الگوی بهینه‌ی کشت در ایران، کاهش سطح زیرکشت مشاهده می‌شود. دلیل آن را می‌توان افزایش سطح زیرکشت به عنوان ابزار ساده‌ی در دست زارعین به جای استفاده از تکنولوژی‌های مناسب کشاورزی به خصوص استفاده‌ی بهینه از نهاده‌ی محدود آب دانست. مردانی نجف‌آبادی و همکاران (۲۰۱۹) نیز در مطالعه‌ی خود در استان اصفهان به نتایج مشابهی دست یافتند.

جدول ۳- سطح زیرکشت محصولات کشاورزی شبکه آبیاری و زهکشی میاناب شوشتر در سطوح مختلف احتمال p و ε

محصول	سطح احتمال p=1 و ε=0 (سناریو ۱)					سطح احتمال p=0.1 و ε=0.1 (سناریو ۲)				
	فصل	فاز ۱	فاز ۲	فاز ۳	مجموع	درصد تغییرات	فاز ۱	فاز ۲	فاز ۳	مجموع	درصد تغییرات
برنج	تابستان	۲۱۲	۰	۵۲٤	۷۳٦	-٦۱	۳۰٦	٤۱۸	٦۱۳	۱۳۳۷	-۳۰
ذرت علوفه‌ای	تابستان	۷۵٤	۰	۱۰۳	۸۵۷	۱۸٦	٤۵۵	۰	۳۸۰	۸۳۵	۱۷۹
لوبیا	تابستان	۰	۲۸	۱۵۵	۱۸۳	-۷۱	۰	۰	۰	۰	-۱۰۰
ماش	تابستان	۰	۵٤٤	۸۲۱	۱۳٦۵	٤۱	۰	۵۱٤	۸۹۸	۱٤۱۲	٤٦
یونجه	تابستان	۲۳۱	۰	۰	۲۳۱	۱۹	۳۱۲	۰	۰	۳۱۲	٦۱
هندوانه	تابستان	۰	۰	۰	۰	-۱۰۰	۰	۰	۰	۰	-۱۰۰
جو	زمستان	۲٦۳	۱۰۷	۲٤۵	٦۱۵	۷۱۵	٤۲۲	۳۷	۲۷۹	۷۳۸	۸۷۸
ذرت علوفه‌ای	زمستان	۱٤	۱۲۲	۰	۱۳٦	۱۷٤	۰	۷٦	۰	۷٦	۵۳
گندم	زمستان	۱۲۳۰	۲۳۳۱	۱۷٦۵	۵۳۲٦	-۲٤	۱۰۹۰	۲۹۸۱	۱۳٤٤	۵٤۱۵	-۲۳
کلزا	زمستان	۰	۰	۰	۰	-۱۰۰	۰	۰	۰	۰	-۱۰۰
یونجه	زمستان	۱۳٤	۷۲	۰	۲۰٦	٤٦	۲۳۱	۱۲	۹۱	۳۳٤	۱۳۷
مجموع	-	۲۸۳۸	۳۲۰٤	۳٦۱۳	۹٦۵۵	-۱۵	۲۸۱٦	٤۰۳۸	۳٦۰۵	۱۰٤۵۹	-۸
درصد تغییرات	-	-۸	-۲۳	-۱٤	-۱۵		-۹	-۲	-۱٤	-۸	

منبع: یافته‌های تحقیق

پس از بررسی جنبه‌های مختلف تغییر الگوی کشت در دو سناریوی مورد بررسی، تغییرات مصرف نهاده‌های کود و سموم شیمیایی محاسبه و نتایج در جدول ٤ آمده است. ملاحظه می‌گردد که مقدار مصرف

کود و سموم شیمیایی در هر دو سناریو نسبت به الگوی کشت جاری با کاهش مواجه شده‌اند. البته، کاهش مقدار مطلق مصرف این نهاده‌ها در الگوهای بهینه، لزوماً به معنی بهبود استفاده از این منابع نبوده، بلکه این کاهش صرفاً به دلیل کاهش سطح زیرکشت محصولات رخ داده است. بنابراین، بررسی نسبت کود (سم) به زمین می‌تواند معیار مناسبی برای بررسی تاثیر تغییر الگوی کشت بر استفاده‌ی بهینه از این منابع باشد. معیار نسبت کود (سم) به زمین در هر دو شرایط حتمیت (سناریوی ۱) و عدم حتمیت (سناریوی ۲)، با کاهش همراه بوده است؛ به طوری که، میزان مصرف کود شیمیایی در هکتار در دو سناریوی مورد بررسی، به ترتیب ۲۳ و ۱۷ درصد کاهش یافته است. مقدار مصرف سموم شیمیایی نیز به ترتیب ۲٤ و ۱۵ درصد در دو سناریو کاهش نشان می‌دهد. البته، نسبت مصرف کود پتاس در هکتار در شرایط عدم حتمیت (سناریوی ۲) نسبت به الگوی جاری تغییری نداشته است. علت این امر را می‌توان افزایش سطح زیرکشت محصولاتی نظیر ذرت علوفه‌ای، ماش و یونجه دانست که نیاز بالایی به کود پتاس دارند.

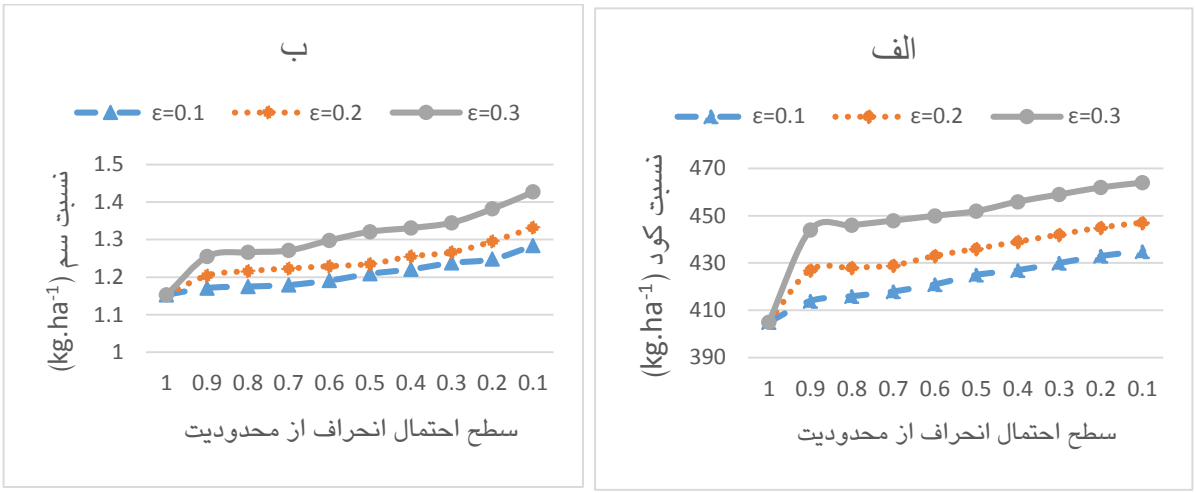
جدول ۴- میانگین مقادیر مصرف جاری، بهینه و شاخص پایداری نسبت کود (سم) به زمین در شبکه آبیاری و زهکشی میاناب شوشتر

		فسفات	ازت	پتاس	مجموع کود شیمیایی	علف کش	حشره	قارچ	مجموع سموم
شرایط جاری	مصرف جاری (کیلوگرم)	۱٤۱۳۲۸۰	٤٤۱٥۱۸۸	۱۳٤۰٥۸	٥۹٦۲٥۲٦	۱۳٥٦٥	۳٤۳٥	۲۱۱	۱۷۲۱۱
	نسبت کود (سم) به زمین (کیلوگرم در هکتار)	۱۲٤	۳۸۷	۱۲	٥۲۲	۱/۱۹	۰/۳	۰/۰۲	۱/٥۱۰
سناریو ۱	مصرف بهینه	۱۰٦۲۰۹۰	۳٤۲۷٥۷۷	۱۲۷۰۸۹	٤٦۱٦۷٥٦	۱۱۲۷٦	۱۸٥٥	۳۳	۱۳۱٦٤
	نسبت کود (سم) به زمین	۹۳	۳۰۰	۱۱	٤۰٥	۰/۹۹	۰/۱٦	۰/۰۰۳	۱/۱٥۳
	درصد تغییرات	-۲٥	-۲۲	-۸	-۲۳	-۱۷	-٤۷	-۸٥	-۲٤
سناریو ۲	مصرف بهینه	۱۱۹۷۸٦۰	۳٦۳٥٥۱۲	۱۳۳۰٦۳	٤۹٦٦٤۳٥	۱۲۲۳۸	۲٤۲۹	٤۲	۱٤۷۰۹
	نسبت کود (سم) به زمین	۱۰٥	۳۱۹	۱۲	٤۳٥	۱/۰۷	۰/۲۱	۰/۰۰٤	۱/۲۸٤
	درصد تغییرات	-۱٥	-۱۸	۰	-۱۷	-۱۰	-۳۰	-۸۰	-۱٥

منبع: یافته‌های تحقیق

نکته‌ی قابل توجه درجدول ٤ این است که با افزایش حفاظت سیستم در مقابل عدم حتیمت (کاهش مقدار سطح احتمال از ۱ به ۰/۱)، میزان مصرف نهاده‌های کود و سم افزایش یافته و لذا، نسبت کود (سم) به زمین به میزان کمتری نسبت به شرایط فعلی کاهش یافته است. جهت بررسی این موضوع، تحلیل حساسیت نسبت کود (سم) به زمین در سطوح احتمال متفاوت انحراف از محدودیت، از ۰/۱ تا ۱ با گام‌های ۰/۱ و سطوح عدم اطمینان معین با مقادیر ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد در شکل‌های ۱- الف و ۱-ب آمده است. در هر دو شکل، ملاحظه می‌شود که با کاهش میزان سطح احتمال (افزایش محافظت سیستم در مقابل عدم حتیمت) در سطوح عدم اطمینان معین و ثابت، میزان مصرف کود (شکل ۱-الف) و سم (شکل ۱-ب) در هکتار افزایش یافته است. همچنین، با افزایش سطح عدم اطیمنان معین از ۱۰ به ۳۰ درصد، مقدار مصرف هر دو نهاده‌ی کود شیمیایی و سم در هکتار افزایش نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، بین میزان حفاظت سیستم در مقابل عدم

حتمیت (ثبات)[1] و استفاده از نهاده‌های کود شیمیایی و سم، یک رابطه الاکلنگی[2] برقرار است. در ادبیات موضوع، مطالعه‌ای که تحلیل حساسیت مصرف نهاده‌های کود و سم را با استفاده از مدل بهینه‌سازی استوار بررسی نموده باشد، یافت نشد. اما، تحلیل حساسیت به منظور بررسی مصرف سایر نهاده‌ها به خصوص آب، در مطالعات صبوحی ومردانی (۲۰۱۳)، چانگ و همکاران (۲۰۰۹) و بیه و همکاران (۲۰۱۷) مورد استفاده قرار گرفته و نتایج حاکی از این است که با افزایش میزان محافظت سیستم در مقابل عدم حتمیت، مصرف نهاده‌ی موردنظر افزایش نشان داده است.



شکل ۱- نسبت کود (سم) به زمین در سطوح مختلف احتمال p و ε در شبکه آبیاری و زهکشی میاناب شوشتر

جدول ۵ میزان مصرف سایر نهاده‌های تولید و همچنین میزان سود حاصل از اجرای الگوی بهینه‌ی کشت را در حالت جاری و در دو سناریوی مورد بررسی، نشان می‌دهد. مصرف آب آبیاری در هر دو سناریو، کاهش یافته ولی با افزایش مقدار سطح احتمال p، این کاهش کمتر بوده است. این موضوع در رابطه با نهاده‌ی نیروی کار نیز صادق بوده و در الگوی بهینه‌ی کشت در شرایط عدم حتمیت، کاهش یافته است. شایان ذکر است که این کاهش نیروی کار از نظر اقتصادی، منجر به ایجاد سود بیشتر شده؛ اما از نظر اجتماعی با توجه به نرخ پایین اشتغال در منطقه، منجر به افزایش بیکاری خواهد شد. البته این افزایش قابل توجه نبوده (۹ درصد کاهش بکارگیری نیروی کار) و با توجه به اوضاع بحرانی مناطق مورد بررسی از نظر مصرف کود و سموم شیمیایی، این کاهش نیروی کار منطقی به نظر می‌رسد. ساعات استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی در هر دو سناریو تفاوت محسوسی با الگوی جاری ندارد. دلیل این امر، تفاوت اندک در میزان استفاده از این نهاده در انواع محصولات مورد بررسی است. البته با کاهش سطح احتمال، میانگین ساعات استفاده از ماشین‌آلات بر خلاف دو نهاده‌ی دیگر نه تنها افزایشی نشان نداده، بلکه اندکی نیز کاهش یافته است (۰/٤ درصد). کاهش سطح زیرکشت محصولاتی مثل ذرت علوفه‌ای و لوبیا در سناریوی ۲ نسبت به سناریوی ۱، که بالنسبه نیاز بیشتری به کار ماشین‌آلات دارند و همچنین افزایش سطح زیرکشت محصولاتی مثل جو و گندم که نیاز آن‌ها به کار ماشین‌آلات پایین است، می‌تواند دلیل کاهش هرچند اندک ساعت استفاده از ماشین‌آلات در مقایسه با دو نهاده‌ی

[1] Robustness

[2] Trade-offs

دیگر باشد. الگوی کشت بهینه در هر دو سناریو، منجر به افزایش سود ناخالص در هکتار به میزان ۲۳ درصد گردیده است و با افزایش حفاظت سیستم در مقابل عدم حتمیت، میزان سود، تغییر محسوسی نداشته است. این نتیجه مغایر با نتایج حاصل از مطالعات بیه و همکاران (۲۰۱۷)، تان و زانگ (۲۰۱۸) و بولی و همکاران (۲۰۱۰) می‌باشد. لازم به توضیح است که در مطالعات یاد شده، افزایش سود ناخالص (کاهش هزینه‌ی تولید) به عنوان هدف اصلی یا یکی از اهداف مهم مورد توجه قرار گرفته است. در حالی که در این مطالعه، سود ناخالص تنها در محدودیت حداقل سود (معادله‌ی ۱۳) لحاظ گردیده است. در مدل پیشنهادی این مطالعه، اجباری به افزایش سود ناخالص نبوده و صرفاً تأمین میزان سود جاری مدنظر قرار گرفته است. بنابراین، افزایش سود ناخالص در هکتار، برای این مدل از نظر اقتصادی یک مزیت محسوب می‌گردد.

جدول ۵- میانگین میزان مصرف جاری و بهینه سایر نهاده‌های تولید کشاورزی به همراه سود ناخالص به ازای کشت یک هکتار از محصولات کشاورزی در سناریوهای مورد بررسی

	سناریو ۱			سناریو ۲	
	مقدار جاری	مقدار بهینه	درصد تغییرات	مقدار بهینه	درصد تغییرات
آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)	۱۱۸۱۶	۱۰۸۶۵	-۸/۰۵	۱۱۶۸۵	-۱/۱۱
ماشین آلات (ساعت در هکتار)	۲۳/۵	۲۳/٤	-۰/٤	۲۳/۳	-۰/۸
نیروی کار (نفر-روز در هکتار)	۳۳	۲۵	-۲٤/۲٤	۳۰	-۹/۰۹
سود ناخالص (میلیون ریال در هکتار)	۹۰	۱۱۱/۷	۲۳/۷	۱۱۱	۲۳/۱۵

منبع: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در مطالعه‌ی حاضر، به تخصیص بهینه‌ی اراضی پایاب شبکه‌ی آبیاری و زهکشی میاناب شوشتر با درنظر گرفتن پایداری کشاورزی در دو سناریوی با و بدون عدم حتمیت پرداخته شد. برای این منظور، از مدل برنامه-ریزی خطی کسری چندهدفه‌ی استوار استفاده گردید. حل مدل در دو سناریو، در سطوح متفاوت احتمال، انحراف هر محدودیت از کران خود (p) و عدم اطمینان معین (ε) انجام گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از الگوی بهینه‌ی کشت در هر دو سناریو، دستیابی به هدف اصلی مطالعه یعنی استفاده‌ی مناسب و بهینه از نهاده‌های مختل‌کننده‌ی محیط زیست (کود و سموم شیمیایی) را امکان‌پذیر نمود. البته باید توجه داشت که مصرف این نهاده‌ها و همچنین سایر نهاده‌های مهم از جمله آب آبیاری و زمین زراعی با افزایش حفاظت سیستم در مقابل عدم حتمیت، کاهش کمتری نشان می‌دهد. از آن‌جا که در دنیای واقعی، احتمال عدم حتمیت در داده‌های مورد استفاده بیشتر است، لذا استفاده از نتایج سناریوی ۲ برای اعمال تغییرات در الگوی کشت پیشنهاد می‌شود. با توجه به اینکه برخلاف سیاست اعمال شده در کاهش سطح زیرکشت ذرت علوفه‌ای، سطح زیرکشت این محصول در الگوی بهینه افزایش یافته است، لذا توصیه می‌شود دولت مجوز کشت این محصول را به همراه محصول جو که در هر دو سناریو افزایش قابل ملاحظه‌ای را تجربه نموده‌است، صادر نماید. البته این توصیه با احتیاط و در صورت اجرای کل الگو پیشنهاد می‌گردد. برای مقابله با عدم کاهش میزان مصرف آب آبیاری (۱/۱ درصد کاهش) نسبت به حالت قطعی (۸

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.با توجه به اینکه اکثر کشاورزان این منطقه در زمین‌های دولتی کشت نموده و به صورت سالیانه اجاره‌بهای این زمین‌ها را می‌پردازند، یکی از مهمترین این تسهیلات می‌تواند تعیین اجاره‌ی بلندمدت برای این زمین‌ها باشد.

سپاسگزاری

این مقاله از طرح پژوهشی شماره‌ی **۹۷۱/۲۰** ارایه شده به معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان استخراج گردیده و هزینه‌ی اجرای آن از طرف آن معاونت تامین گردیده است. بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه، قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

Amirnejad H and Bahmanpuri S. 2013. Integration of environmental and economic objectives of agricultural operators in determining the optimal model of cultivation; a case study: Beyza plain of Fars province. Agricultural Economics Research, 5(18): 117-1129. (In Persian).

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).

Anagnostopoulos KP and Petalas C. 2011. A fuzzy multicriteria benefit–cost approach for irrigation projects evaluation. Agricultural Water Management, 98(9): 1409-1416.

Beh EHY, Zheng F, Dandy GC, Maier HR and Kapelan Z. 2017. Robust optimization of water infrastructure planning under deep uncertainty using Meta models. Environmental Modelling & Software. 93: 92-105.

Bell S and Morse S. 2008. Sustainability indicators: Measuring the imeasurable*?* Second Edition, Earthscan.

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.

Bohle C, Maturana S & Vera J. 2010. A robust optimization approach to wine grape harvesting scheduling. European Journal of Operational Research, 200(1): 245-252.

Caballero R and Hernández M. 2004. The controlled estimation method in the multi-objective linear fractional problem. Computers & Operations Research, 31(11): 1821-1832.

Chung G, Lansey K and Bayraksan G. 2009. Reliable water supply system design under uncertainty. Environmental Modelling & Software, 24(4): 449-462.

Filippi C, Mansini R and Stevanato E. 2017. Mixed integer linear programming models for optimal crop selection. Computers & Operations Research, 81: 26-39.

Itoh T, Ishii H and Nanseki T. 2003. A model of crop planning under uncertainty in agricultural management. International Journal of Production Economics, 81–82: 555-558.

Khuzestan Water and Power Organization. 2019. Unpublished reports on Surface Water Resources Qualitative Analysis in Karoon Irrigation and Drainage Networks.

Li YP. Huang GH, Yang ZF and Nie SL. 2008. IFMP: Interval-fuzzy multistage programming for water resources management under uncertainty. Resources, Conservation and Recycling, 52(5): 800-812.

Manos B, Papathanasiou J, Bournaris T and Voudouris K. 2010. A multicriteria model for planning agricultural regions within a context of groundwater rational management. Journal of Environmental Management, 91(7): 1593-1600.

Mardani Najafabadi M, Nikooi A, Ziaei S and Ahmadpour M. 2016. Compilation of regional pattern of Cultivation of garden and crops products in Isfahan Province: Multi-Objective structural programming approach. Journal of Economics and Agricultural Development, 30(3): 188-206. (In Persian).

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.

Mishra B, Nishad AK and Singh SR. 2014. Fuzzy multi-fractional programming for land use planning in agricultural production system. Fuzzy Information and Engineering, 6(2): 245-262.

Pourzand F and Bakhshoode M. 2012. Evaluation of agricultural sustainability in Fars province using compromise programing approach. Agricultural Economics Research, 4(13): 1-19. (In Persian).

Pulido-Velazquez M, Andreu J and Sahuquillo A. 2006. Economic optimization of conjunctive use of surface water and groundwater at the basin scale. Journal of Water Resources Planning and Management. 132(6): 454-467.

Sabouhi M and Mardani Najafbadi M. 2013. Application of robust optimization approach for agricultural water resource management under uncertainty. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 139(7): 571-581.

Tan Q and Zhang T. 2018. Robust fractional programming approach for improving agricultural water-use efficiency under uncertainty. Journal of Hydrology, 564: 1110-1119.

Van Hop N. 2007. Fuzzy stochastic goal programming problems. European Journal of Operational Research, 176(1): 77-86.

Zhang C and Guo P. 2017. A generalized fuzzy credibility-constrained linear fractional programming approach for optimal irrigation water allocation under uncertainty. Journal of Hydrology, 553: 735-749.