Agricultural Economics and Development
Vol.31, No.121, Spring 2023

Research Paper

Determination of Optimum Cropping Pattern of Major Crops in Marand Plain with Emphasis on Sustainable Use of Water Resources

Gh. Dashti [1], M. Mousavi Asbagh [2], J. Hosseinzad [3], E. Ghasemi [4]

Received: 25 July, 2022 Accepted: 7 January, 2023

Abstract

Excessive and undesirable extraction of water resources in many agricultural areas of Iran, especially Marand Plain as one of the agricultural poles of East Azerbaijan province, has revealed the necessity of optimal allocation of limited water resources and the necessity of different irrigation strategies for each crop. Accordingly, this study aimed at determining the optimal cropping pattern of crops with emphasis on water resources limitation in Marand Plain. For this purpose, a fractional programming model with multiple objectives was used to evaluate the relative efficiency of agricultural sustainability. According to the study results, the optimal pattern of sustainable cultivation of the proposed model would reduce the gross income of farmers in the short run, compared with that of the linear programming model; also , based on the results of the model, the water consumption deficit programming model would be done so that there might be no shortage of water in different months while the consumption of harmful chemicals such as chemical fertilizers and pesticides would be at its minimum aa well as eliminating the crops which produce less gross profit than that of the water use pattern from the current cropping pattern and including the crops with low economic cost and low water requirement such as saffron which

1. Corresponding author and Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran (Dashti-g@Tabrizu.ac.ir).
2 MSc , Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3 Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
4 Msc student , Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
* Corresponding author: Email: Dashti-g@Tabrizu.ac.ir

DOI: 10.30490/AEAD.2023.359500.1453

are compatible with the region's climate. Accordingly, the role of agricultural extension in training modern methods of irrigation, education of scientific agricultural production methods and the role of agriculture in the appropriate use of water saving technologies, the use of saved water in products with higher returns while increasing the area under cultivation such as saffron are more evident to achieve the sustainable agriculture.

Keywords: *Cropping Pattern, Crop Products, Fractional Programming, Marand Plain, Water Resources.*

JEL Classification: $Q_{48,}$ $Q_{25,}$ C_{61}

اقتصاد کشاورزی و توسعه

سال ۳۱، شماره ۱۲۱، بهار ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

تعیین الگوی بهینه کشت محصولات عمده زراعی دشت مرند با تأکید بر بهره‌برداری پایدار از منابع آب

قادر دشتی[۱]، مرتضی موسوی اسبق[۲]، جواد حسین‌زاد[۳]، الهه قاسمی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷

چکیده

برداشت بی‌رویه و نامطلوب منابع آب در بسیاری از مناطق کشاورزی ایران به‌ویژه دشت مرند به‌عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی استان آذربایجان شرقی، لزوم تخصیص بهینه منابع محدود آب و نیز ضرورت لحاظ راهبردهای مختلف آبیاری برای هر محصول را نمایان کرده است. بر این اساس، هدف مطالعه حاضر تعیین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی با تأکید بر محدودیت منابع آب در دشت مرند بود. بدین‌منظور، از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی یعنی، الگوی برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه با بهره‌گیری از رویکرد فازی استفاده شد. گردآوری داده‌های مورد نیاز نیز از طریق تکمیل پرسشنامه از ۳۲۱ کشاورز منطقه صورت گرفت. نتایج نشان داد که الگوی بهینه کشت پایدار پیشنهادی حاصل از مدل یادشده، در مقایسه با مدل برنامه‌ریزی خطی، باعث کاهش درآمد ناخالص بهره‌برداران در کوتاه‌مدت می‌شود. همچنین، بر اساس یافته‌های حاصل از الگوی برنامه‌ریزی کسری، مصرف آب به‌گونه‌ای صورت خواهد گرفت که عمدتاً در ماه‌های مختلف، کمبودی از این حیث در منطقه وجود نداشته باشد؛ افزون بر این، مصرف کودهای شیمیایی و سموم در حداقل خود بوده و محصولات زراعی که نسبت به آب مصرفی سود ناخالص کمتری را حاصل

۱- نویسندهٔ مسئول و استاد اقتصاد کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز تبریز، ایران (Dashti-g@Tabrizu.ac.ir).
۲- کارشناس ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳- دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

DOI: 10.30490/AEAD.2023.359500.1453

می‌کنند، از الگوی کشت فعلی حذف و محصولات با صرفه اقتصادی بالا و نیاز آبی کم مانند زعفران که سازگار با اقلیم منطقه باشد، در الگوی کشت جایگزین می‌شوند. بر این اساس، ترویج روش‌های نوین آبیاری، توسعه کشت محصولات کم‌آب‌بر و استفاده از آب صرفه‌جویی‌شده در محصولات با بازده بالاتر در راستای بهره‌برداری پایدار از منابع آب توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: *الگوی کشت، برنامه‌ریزی‌کسری، دشت مرند، محصولات زراعی، منابع آب.*

طبقه‌بندی JEL : Q_{48}, Q_{25}, C_{61}

مقدمه

در شرایط موجود اقتصاد کشاورزی، ساختار زیربنایی کشت محصولات کشاورزی و الگوی بهینه کشت در فرآیند توسعه پایدار کشاورزی جایگاه واقعی خود را نیافته است؛ در نتیجه، بهره‌وری استفاده از منابع مختلف در بخش کشاورزی پایین بوده و به افزایش هزینه‌های اقتصادی انجامیده است. از سوی دیگر، در خلال دهه‌های گذشته، با روند رو به رشد جمعیت و همچنین، محدودتر شدن منابع آب موجود، مسئله تخصیص بهینه آب از جمله تنگناهای مدیران منابع آب بوده است؛ این در حالی است که طراحی و اجرای یک الگوی بهینه کشت در قالب برنامه‌ای مشخص می‌تواند با کنترل هرچه بیشتر عوامل محدود و بهره‌برداری مطلوب از امکانات موجود، زمینه افزایش تولید و درآمد، ایجاد اشتغال و کاهش فقر حاکم بر مناطق روستایی را فراهم آورد (Bani-Asadi and Zare Mehrjerdi, 2010). در گذشته، افزایش تقاضای آب با توسعه منابع جدید آب برطرف می‌شد؛ اما در شرایط حاضر، هزینه‌های اقتصادی و محیطی معنی‌دار برای توسعه منابع آب این مقوله را ناپایدار کرده است و توسعه مداوم نمی‌تواند به‌شکل اولیه ادامه یابد. این مسئله در نظام‌هایی با تخصیص ضعیف منابع آب و نیز با اقلیم نامناسب و رودخانه‌های جاری جدی‌تر است، که می‌توان آن را به نبود الگوی جامع منطقه‌ای در کشت محصولات نسبت داد (Hosseinzad et al., 2014). بدین ترتیب، انتخاب راهبردهای مناسب و توجه به بیشینه‌سازی محصول تولیدی به‌ازای مصرف هرچه کمتر آب ضروری است. از این‌رو، کم‌آبیاری یک راهبرد علمی، اقتصادی و حفاظتی در راستای دستیابی به الگوی بهینه مصرف آب به‌شمار می‌رود (Fathi and Zibaei, 2020).

در سال‌های اخیر، اثرات نامطلوب ناشی از تولید محصولات کشاورزی آب‌بر و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و همچنین، تغییرات مشخص از قبیل افت شدید و مستمر سطح آب، منفی شدن بیلان و افزایش شدید کسری مخزن، نامطلوب شدن کیفیت آب از نظر کشاورزی، معکوس شدن جریان آب زیرزمینی و استفاده غیراصولی و گاه بی‌رویه از کودهای شیمیایی در

بسیاری از مناطق کشور به‌چشم می‌خورد. به‌نظر می‌رسد که مجموعه اراضی شهرستان مرند نیز از این قاعده مستثنی نیست. شهرستان مرند، با وسعتی معادل ۳۲۸۵/۶ کیلومتر مربع، ۷/۲ درصد از کل مساحت استان آذربایجان شرقی را به خود اختصاص داده است. از کل اراضی این شهرستان، ۳۸/۲ درصد را اراضی کشاورزی، چهل درصد را اراضی مرتعی و ۲۱/۸ درصد بقیه را اراضی بایر و پستی‌وبلندی‌ها و کوه‌ها و نقاط مسکونی روستایی و شهری تشکیل می‌دهد. میزان متوسط بارندگی در مناطق مختلف شهرستان متفاوت است؛ بیشترین مقدار بارندگی با ۳۵۳/۵ میلی‌متر مربوط به منطقه پیام نور، کمترین آن با ۱۵۵ میلی‌متر مربوط به منطقه کشکسرای بوده و متوسط بارندگی شهرستان با ۲۲۶/۸۷ میلی‌متر و پراکنش‌های متوسط در نوسان است (Iran Meteorological Organization, 2019).

شهرستان مرند، با دارا بودن حدود ۴۹ هزار هکتار اراضی آبی، بیش از یازده درصد سطح زیرکشت محصولات زراعی آبی استان آذربایجان‌شرقی را به خود اختصاص داده است. هر ساله تنها ۲۱ درصد اراضی آبی این شهرستان در حالت آیش است، که نشان از مصرف بالای آب در منطقه دارد. منبع اصلی تأمین آب کشاورزی شهرستان مرند چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق موجود در مناطق مختلف شهرستان است و آب‌های سطحی نقش بسیار جزئی دارند؛ همچنین، کل حجم آب استحصالی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی برای مصارف کشاورزی ۲۱۲ میلیون مترمکعب در سال بوده، که ۱۲۹ میلیون مترمکعب آن مربوط به آب‌های زیرزمینی است. برابر گزارش‌های موجود، در مجموع، ۱۸۴۲۹ هکتار اراضی شهرستان مرند با ۵۹۰ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق آبیاری می‌شوند. بیشترین تعداد چاه‌ها مربوط به حومه شهرستان با ۲۷۶ حلقه چاه و ۶۴ میلیون متر مکعب آب استحصالی است، که ۹۱۴۳ هکتار از اراضی زراعی و باغی را زیر پوشش قرار می‌دهد (Regional Water Company of East Azarbaijan, 2021).

با عنایت به اهمیت تعیین الگوی بهینه کشت و ضرورت بهره‌برداری پایدار و بهینه از آب در فرآیند توسعهٔ کشاورزی، مطالعات متعدد در این زمینه صورت گرفته است. دانشور کاخکی و همکاران (Daneshvar Kakhki et al., 2009) به تعیین الگوی بهینه کشت با هدف کاهش مخاطرات محیطی از طریق برنامه‌ریزی فازی کسری با اهداف چندگانه برای کشاورزی ایران در منطقه تایباد خراسان رضوی پرداختند و نتیجه گرفتند که نسبت خالص بازدهی درون‌مصرفی نهاده‌ها و نسبت مصرف نهاده‌ها در مزرعه با استفاده از الگوی خروجی برنامه‌ریزی فازی کسری با اهداف چندگانه بهبود می‌یابد. امینی فسخودی و همکاران (Amini Fasakhodi et al., 2010)، در تعیین الگوی بهینه در

نظام‌های کشاورزی برای پایداری منابع آب، از برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه استفاده کردند و بدین نتیجه رسیدند که روش برنامه‌ریزی کسری، در مقایسه با برنامه‌ریزی خطی، برای مطالعه شاخص‌های پایداری مناسب است. زمانی و همکاران (Zamani et al., 2009)، با تعیین الگوی زارعی در راستای کشاورزی پایدار، با استفاده از برنامه‌ریزی کسری فازی با اهداف چندگانه، دریافتند که الگوی بهینه کشت با استفاده از برنامه‌ریزی‌کسری چندهدفه فازی برای دستیابی به پایداری با الگوی فعلی کشت اختلاف زیادی دارد. همچنین، رگولوار و گوراو (Regulwar and Gurav, 2013)، در مطالعه‌ای با عنوان «رویکرد برنامه‌ریزی خطی فازی چندمرحله‌ای برای برنامه‌ریزی آبیاری پایدار»، با مقایسه دو روش برنامه‌ریزی خطی[1] و برنامه‌ریزی کسری خطی چندهدفه[2]، بدین نتیجه رسیدند که در روش برنامه‌ریزی کسری خطی چندهدفه (MOLFP)، می‌توان اهداف متضاد را به‌صورت یکجا بررسی کرد. حسین‌زاد و همکاران (Hosseinzad et al., 2014)، در تعیین الگوی کشت محصولات زراعی با تأکید بر کشاورزی پایدار در اراضی زیر سد علویان با استفاده از برنامه‌ریزی - کسری با اهداف چندگانه، نتیجه گرفتند که هرچند، در الگوی برنامه‌ریزی کسری، در کوتاه‌مدت، درآمد ناخالص کمتر از وضعیت فعلی می‌شود، اما با در نظر گرفتن عوارض منفی وضعیت ناپایدار فعلی که هزینه‌های غیرمستقیم زیادی را بر جامعه و محیط کشاورزی تحمیل می‌کند، این الگو قابل توجیه خواهد بود. پرهیزکاری و همکاران (Parhizkari et al., 2015)، در پژوهشی با عنوان «تخصیص بهینه منابع آب و اراضی در منطقه رودبار الموت با استفاده از مدل FGFP»، با به‌کارگیری روش برنامه ریزی کسری آرمانی فازی[3]، دریافتند که با تخصیص بهینه منابع آب، علاوه بر کاهش میزان آب مصرفی در مزارع، هزینه و نیروی کار به‌کار گرفته‌شده در هر هکتار از اراضی نیز کاهش و شاخص کارآیی «نسبت سود به آب مصرفی» در حدود سیزده درصد افزایش می‌یابد. همچنین، قادرزاده و همکاران (Ghaderzadeh et al., 2016)، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی کسری چندهدفه بر مبنای میزان آب مصرفی، به تهیهٔ الگوی بهینه کشت در راستای ارتقای مصرف منابع آب در بخش کشاورزی شهرستان دهگلان پرداختند. دهمرده قلعه‌نو و همکاران (Dahmardeh Ghaleno et al., 2016) الگوی کشت بهینه برای مدیریت منابع آب را بررسی کردند و به مقایسه آن با وضع موجود پرداختند؛ نتایج استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی بیانگر افزایش ۱۸/۱ درصدی سطح زیرکشت بهینه و ۳۹/۸ درصدی سود ناخالص بخش کشاورزی نسبت به شرایط فعلی بود. دره‌غریبی و

1. Linear Programming (LP)
2. Multi Objective Linear Fractional Programming (MOLFP)
3. Fuzzy Goal Fractional Programming (FGFP)

همکاران (Darehgharibi et al., 2019) نیز از طریق برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی به‌همراه برآورد تخصیص آب با استفاده از یک تابع تولید مبتنی بر مقدار آب آبیاری، به بررسی الگوی برنامه‌ریزی توسعه کشت زعفران با تأکید بر مدیریت منابع آبی پرداختند؛ یافته‌ها مؤید آن بود که اجرای سناریوهای افزایش سطح زیر کشت زعفران، با افزایش سود ناخالص و کاهش مصرف آب برای هر سه گروه مزارع کوچک، متوسط و بزرگ همراه بوده و بنابراین، تأثیر توجه و اجرای آن بر حفظ و پایداری منابع آب منطقه مثبت است. همچنین، فو و همکاران (Fu et al., 2022)، در بررسی تخصیص بهینه منابع آب با لحاظ اثر متقابل کمیت و کیفیت آب در کشور چین، از یک مدل هیبریدی شامل برنامه‌زیری پارامتری فاصله‌ای[1] و برنامه‌ریزی فازی[2] استفاده کردند؛ نتایج مؤید آن بود که این روش برای انعکاس پیچیدگی‌های منابع آب منطقه‌ای قابل اجراست و افزون بر این، تصمیم‌گیرنده می‌تواند تخصیص مطلوب منابع آب محدود را در راستای بهره‌برداری پایدار از آن به‌دست آورد. هائو و همکاران (Hao et al., 2022) به بررسی تخصیص مطلوب منابع آب بر اساس به‌کارگیری مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای فازی- بازه‌ای در منطقه رودخانه تینگ چیانگ چین پرداختند و چنین نتیجه گرفتند که میانگین منافع اقتصادی رودخانه یادشده پس از بهینه‌سازی بر اساس مدل[3] در بازه ۱/۶۷ تا ۵۱/۹ درصد افزایش را نشان می‌دهد؛ همچنین، بر اثر تخصیص مطلوب آب، امکان افزایش سطح زیرکشت آبی به‌گونه‌های چشمگیر وجود دارد. سیاح و زبیری (Siah and Zabiri, 2022)، در مدل‌سازی بهره‌برداری بهینه از منابع آب، غذا و انرژی در بخش کشاورزی مالزی، از یک الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه در راستای بهینه‌سازی اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی بهره گرفتند؛ بر اساس یافته‌های این تحقیق، باید توسعه آتی مبتنی بر گسترش فعالیت‌های زراعی با لحاظ محدودیت‌ها و بهینه‌سازی مصرف منابع تولید صورت گیرد.

نتیجه مرور مطالعات پیش‌گفته حاکی از اهمیت و جایگاه تعیین‌کنندهٔ الگوی کشت در راستای نهادینه‌سازی کشاورزی پایدار و بهره‌گیری اصولی از منبع آب است. ضرورت اقتصادی کردن تولید در دنیای در حال رقابت و تحول امروزی و امکان تداوم تولید اقتصادی توسط نسل‌های آتی در بخش کشاورزی لزوم بهره‌گیری از روش‌های علمی و پرداختن به مطالعات متناسب با واقعیت‌های بخش کشاورزی در سطوح خرد و کلان را بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد. محدودیت منابع آبی در کشور و به‌ویژه در منطقه مورد مطالعه اهمیت و جایگاه تحقیقات مبتنی بر روش‌های نوین علمی برای

1. Interval Parameter Programming (IPP)
2. Fuzzy Programming (FP)
3. Interval Fuzzy Two-Stage (IFTS)

بهره‌برداری پایدار از عوامل و امکانات موجود را بیشتر آشکار می‌سازد. به‌نظر می‌رسد که استفاده منطقی و اصولی از آب می‌تواند فرآیند توسعه پایدار کشاورزی را در منطقه تسریع بخشد. از این‌رو، با توجه به جایگاه محصولات زراعی در ترکیب تولیدات کشاورزی دشت مرند و نیز فقدان مطالعات در زمینه بهره‌گیری مطلوب از امکانات موجود، پرداختن به اهمیت تعیین الگوی کشت محصولات عمده زراعی منطقه مورد نظر با تأکید بر پایداری بهره‌برداری از منابع آب در جریان توسعه پایدار بیش‌ازپیش نمایان می‌شود. بنابراین، هدف مطالعهٔ حاضر تعیین الگوی بهینه کشت محصولات عمده زراعی دشت مرند با تأکید بر بهره‌برداری پایدار از منابع آب در دشت مرند بوده است.

مواد و روش‌ها

مدل‌های ریاضی، با منظور کردن امکانات و محدودیت‌های مختلف و نیز روابط متقابل بین فعالیت‌ها، می‌توانند به ارزیابی نتایج اقتصادی تصمیمات ممکن برای مدیران بپردازند. هدف برنامه‌ریزی خطی به حداکثر یا حداقل رساندن تابع هدف با در نظر گرفتن تعدادی از محدودیت‌ها و متغیرهای تصمیم به‌طور هم‌زمان است؛ اما مدیران، برای برنامه‌ریزی تولید، با اهداف متعدد همچون حداکثرسازی سود و حداقل‌سازی هزینه روبه‌رو هستند که گاه در تضاد با یکدیگرند و رسیدن به یک هدف مانع رسیدن به اهداف دیگر تلقی می‌شود و از این‌رو، ناگزیرند از روش‌هایی استفاده کنند که ضمن رعایت محدودیت‌های موجود، بتوانند اهداف سازمانی را تا حد قابل‌قبول برآورده سازند. این خصوصیات را می‌توان در مدل‌های برنامه‌ریزی تنها از طریق فرم‌های تابعی و پیچیده (غیرخطی) و یک افزایش در تعداد توابع هدف نشان داد. برنامه‌ریزی کسری معمول‌ترین نوع برنامه‌ریزی ریاضی با اهداف نسبتی است. فرم استاندارد مدل برنامه‌ریزی خطی در حالت بیشینه‌سازی به‌صورت رابطه (۱) است (Norton and Hazell, 1986):

$$
\begin{aligned}
&MaxZ = \sum_{j=1}^{n} C_j\ X_j \\
&\text{s.t.} \\
&\sum_{j=1}^{n} a_j X_j \le b_i \quad \text{j=1,2,3,…,n} \\
&X_j \ge 0
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

که در آن، Z بازده برنامه‌ای کل است که از کسر هزینه‌های متغیر از درآمد ناخالص برنامه پیشنهادی به‌دست می‌آید؛ همچنین، C_j بازده برنامه‌ای حاصل از هر واحد فعالیت jام، X_j نوع فعالیت jام، b_i مقدار نهاده یا منبع iام در دسترس و a_{ij} ضرایب فنی تولید است.

اگر چندین هدف کسری با عبارت‌های خطی در صورت و مخرج وجود داشته باشد، باید برای دستیابی به همه اهداف کسری، از الگوی برنامه‌ریزی با اهداف چندگانه استفاده شود. در برنامه‌ریزی کسری خطی، صورت کسر بیانگر هدف موردنظر برای حداکثرسازی و مخرج بیانگر هدف موردنظر برای حداقل‌سازی است. محدودیت‌هایی که در برنامه‌ریزی خطی اعمال می‌شود، در اینجا نیز تکرار خواهد شد (Kohansal and Firooz Zarea, 2008). شکل عمومی برنامه‌ریزی کسری خطی با اهداف چندگانه به‌صورت رابطه (۲) است:

$$\begin{aligned} &Max\phi(x) = \{\phi_1(x), \phi_2(x), \ldots, \phi_n(x)\} \\ &s.t.: \{x \in R^n : Ax \le b, x \ge 0\}, b \in R^n A \text{؛} \in R^{m*n} \\ &\phi_i(x) = \frac{c_i{}^T X + \alpha_i}{d_i{}^T X + \beta_i} \quad i = 1,2,3,\ldots,n \end{aligned} \qquad (۲)$$

که در آن، ϕ_i بازده برنامه‌ای کل، A ماتریس ضرایب محدودیت‌ها، x بردار فعالیت‌ها و b بردار منابع است؛ همچنین، c وd ماتریس ضرایب، R^n ماتریس اعداد حقیقی شامل n سطر، R^{m*n} ماتریس اعداد حقیقی شامل m سطر و n ستون و α و β بیانگر پارامترهاست. برای حل مدل برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه، ابتدا این مدل تبدیل به برنامه‌ریزی خطی ساده شده و سپس، حل می‌شود (Lara and Stancu-Minasian, 1999).

روش‌های چارنز و کوپر و الگوریتم گیلمر و گموری برای حل مدل‌های کسری یک‌هدفی دارای کاربرد است. از روش‌های مورد استفاده در حل مسائل برنامه‌ریزی کسری چندهدفی می‌توان به روش اهداف محصورشده، روش لکسیکوگرافیک، روش نیکوفسکی و زولکیفیسکی و رویکرد فازی اشاره کرد که در نهایت، برای نیل به اهداف مطالعه، از مدل برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه و رویکرد فازی چاکرابورتی و گوپتا استفاده شد.

چاکرابورتی و گوپتا (Chakraborty and Gupta, 2002) روشی متفاوت برای تبدیل مناسب مسئله برنامه‌ریزی کسری و مدل‌سازی یک مسئله چندهدفی خطی معادل با آن ارائه دادند که در آن، مسئله برنامه‌ریزی خطی چندهدفی با رویکرد فازی حل می‌شود. نقطه قوت این روش آن است که در

این تبدیل، مسئله (اصلی) برنامه‌ریزی کسری خطی چندهدفی[1] و مسئله (تبدیلی) برنامه‌ریزی خطی چندهدفی[2] یکسان است و بنابراین، حل مسئله اصلی بدین روش همواره راه‌حلی کاراتر است، زیرا پیچیدگی مسئله را کاهش می‌دهد.

در مطالعه حاضر، برای تبیین الگوی تجربی، باید توابع هدف و محدودیت‌ها برای محصولات عمده زراعی منطقه (شامل گندم آبی، جو آبی، یونجه آبی، آفتابگردان، گوجه‌فرنگی و زعفران) به‌صورت رابطهٔ زیر تعریف شوند:

$$\begin{aligned} &\text{Max } \emptyset_i = \frac{\sum_{j=1}^{6} c_j x_j}{\sum_{j=1}^{6} a_{ij} x_j} \\ &\text{s.t. :} \\ &\sum_{j=1}^{6} a_{ij} x_j \le d_j \quad \forall_i = 1,\ldots,n \\ &x_i > 0 \end{aligned} \qquad (۳)$$

که در آن، $\emptyset_i$ها تابع هدف، x_iها تابع متغیرهای تصمیم، c_jها ضرایب تابع هدف و jها و iها به‌ترتیب، محصولات مورد بررسی و مقدار مصرف هر نهاده به‌ازای هر هکتار است؛ همچنین، a_{ij} و d_j، به‌ترتیب، نمایانگر ضرایب متغیرهای تصمیم و مقدار نهاده موجود است. صورت تابع هدف بیانگر بازده ناخالص محصولات و مخرج آن بیانگر محدودیت‌های پایداری منابع آبی است. مقدار عددی این تابع در صورتی حداکثر خواهد شد که میزان بازده ناخالص حداکثر و محدودیت‌های پایداری منابع آبی حداقل شود. از تقسیم مقدار هدف بیشینه‌شدهٔ بازده ناخالص به محدودیت‌های پایداری منابع آبی شاخص پایداری به‌دست می‌آید (Mohseni et al., 2017). الگوی تجربی مطالعه حاضر شامل الگو های برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی کسری است. تابع هدف الگوی برنامه‌ریزی خطی مجموع بازده برنامه‌ای هر کدام از محصولات را دربرمی‌گیرد. از آنجا که برنامه‌ریزی خطی دارای فرم شناخته‌شده است، در ادامه، فقط الگوی تجربی برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه مطابق روابط (۴) و (۵) ارائه می‌شود. در این حالت، باید تابع هدف برنامه‌ریزی کسری حداکثر شود تا صورت کسر (میزان درآمد ناخالص یا بازده برنامه‌ای محصولات) حداکثر و مخرج کسر (محدودیت‌ها یعنی، استفاده از نهاده‌های شیمیایی و آب) حداقل شود:

1. Multi Objective Linear Fractional Programming Problem (MOLFPP)
2. Multi Objective Linear Programming Problem (MOLPP)

$$
\begin{aligned}
MaxZ = & \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6}{F_{11}X_1 + F_{12}X_2 + F_{13}X_3 + F_{14}X_4 + F_{15}X_5 + F_{16}X_6} \\
& + \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6}{F_{21}X_1 + F_{22}X_2 + F_{23}X_3 + F_{24}X_4 + F_{25}X_5 + F_{26}X_6} \\
& + \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6}{F_{31}X_1 + F_{32}X_2 + F_{33}X_3 + F_{34}X_4 + F_{35}X_5 + F_{46}X_6} \\
& + \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6}{S_{11}X_1 + S_{12}X_2 + S_{13}X_3 + S_{14}X_4 + S_{15}X_5 + S_{16}X_6} \\
& + \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6}{S_{21}X_1 + S_{22}X_2 + S_{23}X_3 + S_{24}X_4 + S_{25}X_5 + S_{26}X_6} \\
& + \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6}{W_{11}X_1 + W_{12}X_2 + W_{13}X_3 + W_{14}X_4 + W_{15}X_5 + W_{16}X_6} \\
& + \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6}{W_{21}X_1 + W_{22}X_2 + W_{23}X_3 + W_{24}X_4 + W_{25}X_5 + W_{26}X_6} \\
& + \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6}{W_{31}X_1 + W_{32}X_2 + W_{33}X_3 + W_{34}X_4 + W_{35}X_5 + W_{46}X_6} \\
& + \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6}{W_{41}X_1 + W_{42}X_2 + W_{43}X_3 + W_{44}X_4 + W_{45}X_5 + W_{46}X_6} \\
& + \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6}{W_{51}X_1 + W_{52}X_2 + W_{53}X_3 + W_{54}X_4 + W_{55}X_5 + W_{56}X_6} \\
& + \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6}{W_{61}X_1 + W_{62}X_2 + W_{63}X_3 + W_{64}X_4 + W_{65}X_5 + W_{66}X_6} \\
& + \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6}{W_{71}X_1 + W_{72}X_2 + W_{73}X_3 + W_{74}X_4 + W_{75}X_5 + W_{76}X_6}
\end{aligned}
\qquad (۴)
$$

در رابطه (۴)، متغیرهای تصمیم‌گیری عبارت‌اند از: X_1 سطح زیرکشت گندم آبی (هکتار)، X_2 سطح زیرکشت جو آبی (هکتار)، X_3 سطح زیر شت یونجه (هکتار)، X_4 سطح زیرکشت آفتابگردان (هکتار)، X_5 سطح زیرکشت گوجه‌فرنگی (هکتار) و X_6 سطح زیرکشت زعفران (هکتار)؛ همچنین، C_j بازده برنامه‌ای یا درآمد ناخالص یک هکتار از محصول jام (ریال) و W_{ij} میزان آب مصرف‌شده برای هر هکتار از محصول jام در ماه iام (متر مکعب در هکتار)، F_{ij} میزان کود iام مصرف‌شده برای هر هکتار محصول jام (کیلوگرم در هکتار) و S_{ij} میزان سم iام مصرف‌شده برای هر هکتار محصول jام (لیتر در هکتار) را نشان می‌دهند؛ محدودیت‌ها نیز شامل محدودیت مربوط به زمین زراعی، محدودیت میزان آب مصرفی در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر، محدودیت نیروی کار در هر کدام از ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، مهر و آبان، محدودیت مربوط به کودهای شیمیایی ازته، فسفاته و پتاسه و سموم شیمیایی و ماشین‌آلات و محدودیت نیاز خودمصرفی برای هر کدام از محصولات است. نظر به تنوع محدودیت‌ها، صرفاً برای رعایت اختصار، از ذکر روابط مربوط خودداری شده است. بدین ترتیب، محدودیت‌های الگو به‌صورت روابط در قالب رابطه (۵) فرمول‌بندی می‌شوند:

$$\begin{aligned}
&\sum_{j=1}^{n} X_j \le TXZ \\
&\sum_{j=1}^{n} W_{ij} X_j \le TW_i \\
&\sum_{j=1}^{n} L_{ij} X_j \le TL_i \\
&\sum_{j=1}^{n} F_{ij} X_j \le TF_i \\
&\sum_{j=1}^{n} S_{ij} X_j \le TS_i \\
&\sum_{j=1}^{n} M_{ij} X_j \le TM_i
\end{aligned} \qquad (۵)$$

که در آن، TXZ کل اراضی زراعی موجود، TW_i میزان آب در دسترس در ماه iام، TL_i میزان نیروی کار در دسترس در ماه iام، TF_i میزان کود شیمیایی iام (ازته، فسفاته و پتاسه) موجود، TS_i میزان سم iام (علف‌کش و آفت‌کش)، TM_i میزان نیروی ماشینی iام (تراکتور و ماشین‌های دروگر) موجود است.

با عنایت به محدودیت آب و ضرورت تخصیص بهینه و پایدار آن، ضروری است که راهبردهای آبیاری متفاوت برای هر محصول در نظر گرفته شود. بدین منظور، مطابق نظر کارشناسان و مطالعات نظری‌فر و همکاران (Nazarifar et al., 2012)، معین‌الدینی و همکاران (Moenoddini et al., 2015) و نظری‌فر و مؤمنی (Nazarifar and Momeni, 2011)، چهار سطح آبیاری برای هر کدام از محصولات شامل آبیاری کامل، آبیاری با نود درصد نیاز آبی محصول، آبیاری با هشتاد درصد نیاز آبی محصول و آبیاری با هفتاد درصد نیاز آبی گیاه در نظر گرفته شده است. هر راهبرد آبیاری به‌صورت یک فعالیت در مدل وارد می‌شود. بنابراین، با توجه به وجود شش محصول، مدل دارای ۲۴ فعالیت است. نام هر فعالیت مشتمل است بر نام محصول و شماره‌ای که منعکس‌کننده راهبرد آبیاری است. برای نمونه، دو فعالیت گندم ۱ و گندم ۲ که هرچند، این فعالیت‌ها هر دو مربوط به گندم است، اما راهبرد آبیاری آنها متفاوت است. در مدل برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه، هدف حداکثرسازی عبارت است از حداکثرسازی نسبت درآمد ناخالص به مصرف کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی و به‌ویژه مصرف آب برای هر کدام از محصولات در ماه‌های مختلف سال. با توجه به برنامه‌ریزی‌های مدیریت جهادکشاورزی شهرستان مرند، برای توسعه سطح زیرکشت محصول زعفران متناسب با امکانات فنی و اقتصادی منطقه، دو سناریوی متفاوت برای این محصول اعمال شد. سناریوی اول منطبق بر برنامه توسعه سطح زیر کشت زعفران تا پانصد هکتار در نظر گرفته شده و سناریوی دوم منطبق بر برنامه توسعه سطح زیرکشت زعفران در بلندمدت بوده که حداکثر سطح زیرکشت بر اساس شرایط و امکانات منطقه هزار هکتار برنامه‌ریزی شده است.

در مطالعهٔ حاضر، بخشی از داده‌ها به روش کتابخانه‌ای و از آمارنامه‌های سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی، سازمان آب منطقه‌ای استان و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان مرند به‌دست آمده و بخش دیگر به روش میدانی و با تکمیل پرسشنامه جمع‌آوری شده است. با استفاده از رابطهٔ کوکران، حجم نمونه ۳۲۱ به‌دست آمده و از این‌رو، اطلاعات مورد نیاز از طریق مصاحبه حضوری و تکمیل پرسشنامه از کشاورزان منطقه تهیه شده است. برای دستیابی به هدف تحقیق، از نرم‌افزار GAMS بهره گرفته شد.

نتایج و بحث

در راستای دستیابی به اهداف تحقیق و به‌منظور مقایسه الگوهای حاصل از برنامه‌ریزی خطی ساده و کسری فازی، ابتدا الگوی کشت منطقه به روش برنامه‌ریزی خطی تعیین شد. در این حالت، نتایج الگوی برنامه‌ریزی خطی با توجه به وضعیت فعلی منطقه به‌دست آمد؛ منظور از وضعیت فعلی وضعیتی است که در حالت کنونی، در منطقه وجود دارد. در این مدل، هدف، حداکثرسازی درآمد ناخالص شش محصول عمده زراعی منطقه مدنظر با توجه به محدودیت‌های موجود است. نتایج حاصل از سه الگوی کشت فعلی، الگوی کشت حاصل از برنامه‌ریزی خطی و الگوی کشت حاصل از برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه در جدول ۱ آمده است. ملاحظه می‌شود که اجرای الگوی کشت حاصل از برنامه‌ریزی خطی در حالت فعلی منطقه و با اعمال راهبردهای مختلف کم‌آبیاری موجب می‌شود که بازده برنامه‌ای در منطقه برابر با ۶۶/ ۳۰۴ میلیارد ریال و کل سطح زیرکشت منطقه برابر با ۲۱۱۶۴ هکتار باشد. بیشترین سطح زیر کشت با ۷۲۴۹ هکتار مربوط به زعفران ۱ و کمترین سطح زیر کشت با ۸۴۵ هکتار مربوط به جو ۱ است.

مقایسه الگوی کشت فعلی با برنامه‌ریزی خطی مؤید آن است که سطح زیر کشت گندم، جو و یونجه در مدل برنامه‌ریزی خطی، در مقایسه با الگوی کشت فعلی، به‌ترتیب ۴۸۰۰ هکتار، ۱۴۵۵ هکتار و ۴۸۳۵ هکتار کاهش یافته، در حالی که سطح زیرکشت گوجه‌فرنگی و زعفران افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد. در الگوی کشت فعلی، تمام محصولات در حالت آبیاری کامل قرار دارند؛ اما در الگوی کشت حاصل از برنامه‌ریزی خطی، مقداری از سطح زیرکشت یونجه و تمام سطح زیرکشت آفتابگردان در حالت چهارم کم‌آبیاری (یعنی، تأمین هفتاد درصدی نیاز آبی گیاه) قرار دارند. در این راستا، شایان ذکر است که اکثر کشاورزان بیش از یک محصول در مزرعه می‌کارند، که هر کدام مراحل رشد متفاوت دارد. بدین ترتیب، این امکان برای کشاورزان وجود دارد که بر اساس باور ذهنی خود نسبت به تأثیر آبیاری در کل سوددهی مزرعه و نه یک محصول، در مراحلی از رشد محصول یا برخی از محصولات، آب کمتری مصرف کنند تا آبی که از این طریق، برای آنها باقی می‌ماند، به محصولی دیگر در مزرعه اختصاص یابد. این موضوع یک تصمیم‌گیری اقتصادی است و زمانی منجر به حداکثر سود مزرعه می‌شود که کاهش درآمد ناشی از به‌کارگیری کمتر یک واحد آب با افزایش درآمد حاصل از به‌کارگیری آن در محصول دیگر برابر شود. با توجه بدین نکته، این امکان وجود دارد که در الگوی بهینه کشت یک محصول، چند سطح متفاوت کم‌آبیاری دیده شود. اجرای الگوی کشت حاصل از برنامه‌ریزی خطی باعث افزایش ۹۰/۴۹ میلیارد ریالی درآمد ناخالص شده

است، زیرا در برنامه‌ریزی خطی، هدف صرفاً افزایش درآمد ناخالص بوده و اجرای این الگوی کشت نسبت به مسائل زیست‌محیطی بی‌تفاوت است. حسین‌زاد و همکاران (Hosseinzad et al., 2014)، در مطالعه اراضی زیر سد و شبکه علویان، نخعی و همکاران (Nakhaee et al., 2016)، در بهینه‌سازی الگوی کشت در دشت بیرجند و اسعدی مهربانی و همکاران (Asaadi Mehrabani et al., 2018)، در مطالعه‌ای به‌منظور بهینه‌سازی الگوی کشت در حوضه زرینه‌رود نیز بدین نتیجه رسیدند که با اجرای الگوی برنامه‌ریزی خطی، درآمد کشاورزان افزایش خواهد یافت.

جدول ۱- مقایسه نتایج به‌دست‌آمده بر اساس الگوهای مختلف برنامه‌ریزی ریاضی و الگوی فعلی

فعالیت		الگوی کشت فعلی	برنامه‌ریزی خطی	برنامه‌ریزی‌کسری (سناریوی اول)	برنامه‌ریزی‌کسری (سناریوی دوم)
گندم	۱	۸۰۰۰	۳۲۰۰	۱۶۰۵	–
گندم	۲	–	–	۱۹۸۰	–
گندم	۳	–	–	۲۶۷۲	۴۳۸۵
گندم	۴	–	–	۵۳۴۸	۶۸۴۹
جو	۱	۲۳۰۰	۸۴۵	–	–
جو	۲	–	–	۱۴۱	–
جو	۳	–	–	۲۸۲	۳۰۲
جو	۴	–	–	۴۲۲	۵۴۳
یونجه	۱	۶۸۵۰	۱۱۱۷	–	–
یونجه	۴	–	۸۹۸	۲۰۱۵	۲۰۱۵
آفتابگردان	۱	۶۰۰۰	–	–	–
آفتابگردان	۴	–	۲۱۳۸	۹۸۸	۹۸۸
گوجه‌فرنگی	۱	۲۵۰۰	۵۷۱۷	۱۹۲	–
گوجه‌فرنگی	۲	–	–	۶۴	۱۶۳
گوجه‌فرنگی	۳	–	–	۱۲۸	۳۲۶
گوجه‌فرنگی	۴	–	–	۵۹۴	۴۸۹
زعفران	۱	۷۰	۷۲۴۹	۵۰۰	۱۰۰۰
مجموع سطح زیر کشت		۲۵۷۲۰	۲۱۱۶۴	۱۶۹۳۱	۱۷۰۶۰
بازده برنامه‌ای (میلیارد ریال)		۲۱۴/۱۷	۳۰۴/۶۶	۱۴۲/۷۹	۱۴۹/۷۴

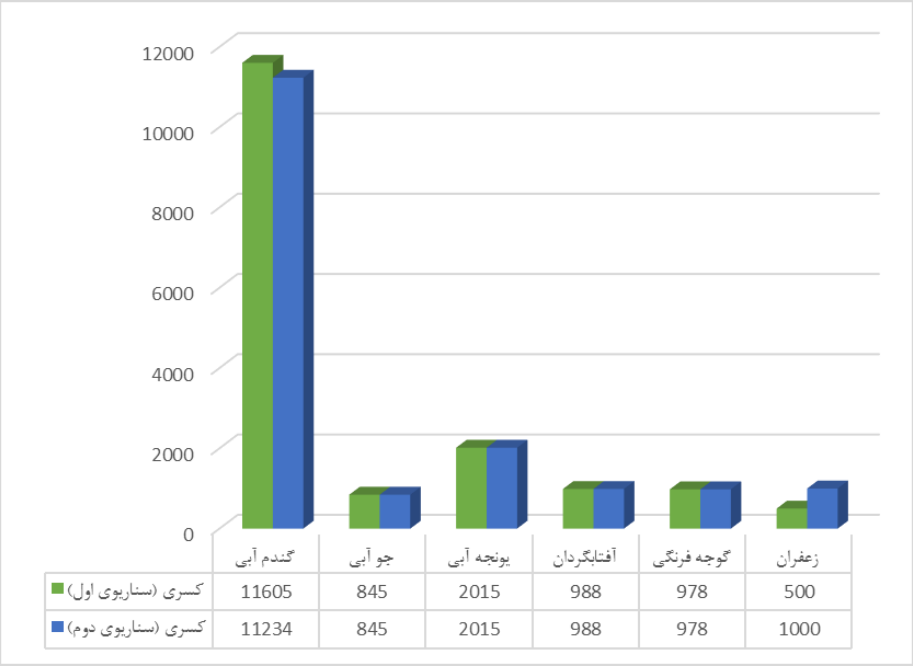
مأخذ: یافته‌های پژوهش

همان‌گونه که از جدول ۱ پیداست، در حالت اجرای برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه و با لحاظ کردن سناریوی اول، سطح زیرکشت گندم ۱ نه‌تنها افزایش نمی‌یابد، بلکه مقدار آن از هشت هزار هکتار به ۱۶۰۵ هکتار کاهش می‌یابد؛ اما سطح زیرکشت سه گندم دیگر که در مورد آنها کم‌آبیاری اعمال شده است، به مقدار زیادی افزایش یافته، که همین موضوع در مورد محصولات جو، گوجه‌فرنگی، یونجه و آفتابگردان نیز تقریباً صادق است. در نتیجه این تغییرات، درآمد ناخالص از ۲۱۴/۱۷ میلیارد ریال حالت موجود به ۱۴۲/۷۹ میلیارد ریال کاهش می‌یابد. این اختلاف درآمد مبین مؤثر بودن محدودیت‌های به‌کار گرفته شده در ارتباط با حفظ منابع آبی و محیط زیست است. مطالعات کهنسال و فیروز زارع (Kohansal and Firooz Zarea, 2008)، زمانی و همکاران (Zamani et al., 2009) و حسین‌زاد و همکاران (Hosseinzad et al., 2014) نیز این موضوع را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که به‌کار بردن محدودیت‌های پایداری در الگوی کشت برنامه‌ریزی کسری باعث تفاوت چشمگیر در الگوی کشت پیشنهادی با حالت پایه خواهد شد.

مطابق جدول ۱، مجموع سطح زیرکشت جو و یونجه در هر دو حالت برنامه‌ریزی خطی و سناریوی اول برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه برابر بوده، اما تفاوت آنها در این است که زعفران در الگوی برنامه‌ریزی خطی بیش از چهارده برابر سناریوی اول الگوی برنامه‌ریزی کسری تولید شده، چراکه در برنامه‌ریزی خطی، صرفاً افزایش درآمد ناخالص مطرح است. بنابراین، محصولاتی مانند زعفران که درآمد ناخالص بالاتری دارند، سطح زیرکشت بالاتری را نیز به خود اختصاص می‌دهند. افزایش سطح زیرکشت گندم و زعفران و تولید سایر محصولات در حد نیاز خودمصرفی در سناریوی دوم برنامه‌ریزی کسری بدین معنی است که از نظر پایداری، تنها باید این دو محصول در منطقه تولید شود و تولید سایر محصولات با اهداف حفاظت محیط زیست منافات دارد. با اجرای سناریوی دوم برنامه‌ریزی کسری، میزان درآمد ناخالص در منطقه ۱۵۴/۹۲ میلیارد ریال کاهش خواهد یافت. این نتیجه حاکی از آن است که برای حفظ محیط‌زیست و جلوگیری از تخریب منابع آب در بلندمدت در منطقه مورد مطالعه، باید از ۱۵۴/۹۲ میلیارد ریال درآمد ناخالص صرف‌نظر کرد.

مقایسه دو سناریوی برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه (مطابق نمودار ۱) مشخص می‌کند که در سناریوی دوم، سطح زیرکشت گندم کاهش یافته و از مقدار ۱۱۶۰۵ هکتار در سناریوی اول برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه به ۱۱۲۳۴ هکتار در سناریوی دوم رسیده است؛ البته، سطح زیرکشت هر چهار محصول گندم به یک میزان تغییر نکرده، بلکه سطح زیرکشت گندم ۳ و گندم ۴ افزایش یافته و گندم ۱ و گندم ۲ کاهش یافته که در مجموع، باعث کاهش سطح زیرکشت این

محصول شده است. در هر دو سناریو، برای زعفران، حداکثر سطح زیرکشت تعریف‌شده در برنامه‌های توسعه‌ای توصیه شده، که دلیل آن نیاز آبی پایین این محصول است و از نظر پایداری نیز منافاتی با حفظ محیط‌زیست ندارد. در مورد محصولات جو، یونجه، آفتابگردان و گوجه‌فرنگی، سطح زیرکشت در هر دو سناریو یکسان و اما از نظر مقدار آبیاری، متفاوت است، به‌گونه‌ای که در سناریوی دوم، به مسائل زیست‌محیطی و منابع آبی توجه بیشتری می‌شود.



	گندم آبی	جو آبی	یونجه آبی	آفتابگردان	گوجه فرنگی	زعفران
کسری (سناریوی اول)	11605	845	2015	988	978	500
کسری (سناریوی دوم)	11234	845	2015	988	978	1000

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نمودار ۱- مقایسه سطح زیرکشت محصولات در دو سناریوی مختلف برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر، الگوی کشت بهینه محصولات زراعی شهرستان مرند به دو روش برنامه‌ریزی خطی ساده و برنامه‌ریزی کسری با رویکرد فازی مشخص شد. بر اساس برنامه‌ریزی

مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان مرند، در مورد توسعه سطح زیر کشت زعفران دو سناریو در نظر گرفته شد؛ سناریوی اول حداکثر سطح زیرکشت این محصول را پانصد هکتار و سناریوی دوم حداکثر سطح زیرکشت آن را هزار هکتار در نظر می‌گیرد. در مدل برنامه‌ریزی خطی معمولی، تابع هدف، حداکثرسازی درآمد ناخالص منطقه بود و محدودیت‌های مدل شامل زمین، آب، نیروی کار، کود و سموم شیمیایی، ماشین‌آلات و نیازهای خودمصرفی بود. مدل برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه با رویکرد فازی با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی و لحاظ راهبرد کم‌آبیاری در دو سناریوی متفاوت برای منطقه مورد مطالعه حل شد. اهداف مدنظر شامل حداقل‌سازی مصرف آب به‌منظور پایداری منابع آب در هر کدام از ماه‌های سال، کود و سموم شیمیایی در راستای کشاورزی پایدار بود.

تفاوت بین الگوی کشت ارائه‌شده بر مبنای برنامه‌ریزی کسری با الگوی فعلی مبین مؤثر بودن راهبرد کم‌آبیاری و توجه به مسائل زیست‌محیطی در الگوی برنامه‌ریزی کسری با رویکرد فازی است. به بیان بهتر، می‌توان گفت که کشاورزان منطقه مورد مطالعه به شاخص‌های زیست‌محیطی و کمبود منابع آب توجهی ندارند، در حالی که با استفاده از برنامه‌ریزی کسری با رویکرد فازی، می‌توان با معرفی شاخص‌های زیست‌محیطی و محدودیت منابع آبی، به مجموعه محدودیت‌های الگوی برنامه‌ریزی‌ریاضی الگوی کشتی را تدوین و ارائه کرد که ضمن نیل به حداکثر سود ممکن، استفاده از حداقل میزان آب مصرفی و نهاده‌های کود و سم را نیز میسر سازد. با مقایسه درآمد حاصل از الگوی برنامه‌ریزی خطی با الگوی کشت فعلی منطقه نتیجه‌گیری شد که الگوی برنامه‌ریزی خطی کارآتر است، چراکه موجب افزایش درآمد ناخالص منطقه می‌شود. همچنین، از مقایسه دو روش برنامه‌ریزی خطی و کسری فازی می‌توان این‌گونه برداشت کرد که تعیین الگوی کشت بدون توجه به مسائل زیست‌محیطی باعث افزایش درآمد ناخالص تولیدکنندگان می‌شود. الگوی بهینه کشت پایدار پیشنهادی در مدل برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه باعث کاهش درآمد ناخالص بهره‌برداران در کوتاه مدت می‌شود؛ این کاهش درآمد به دو دلیل رخ می‌دهد؛ دلیل نخست مربوط به محدودیت سطح زیرکشت زعفران است، اما دلیل یا عامل مؤثر دیگر مربوط به آب است، بدین صورت که با کاهش سطح زیرکشت زعفران که نسبت به محصولات دیگر آب کمتری مصرف می‌کند، جانشین کردن محصولات دیگری که آب بیشتری مصرف می‌کنند، امکان‌پذیر نیست، مگر اینکه در مورد این محصولات کم‌آبیاری بیشتری صورت گیرد. کم‌آبیاری نیز باعث کاهش عملکرد محصول و در پی آن، باعث کاهش درآمد خواهد شد. این کاهش درآمد را نیز می‌توان با اقدامات مناسب مانند اعمال

قیمت‌های متفاوت برای محصولاتی که از سموم و کودهای شیمیایی کمتری استفاده می‌کنند و همچنین، اعمال سیاست‌های تشویقی تا اندازه‌ای جبران کرد. کشاورزان می‌توانند تا حد ممکن، با اعمال کم‌آبیاری در مراحل استقرار و رسیدن محصول زراعی که تنش نسبت به کم‌آبی زیاد نیست، تقاضای خود را مدیریت کرده، آب باقی‌مانده را در محصولی که بازده برنامه‌ای بالاتری دارد، استفاده کنند و به حذف «محصولات با صرفه اقتصادی پایین و نیاز آبی بالاتر» از الگوی کشت خود بپردازند. بنابراین، مقدار به‌کارگیری آب برای کسب یک واحد درآمد در مدل برنامه‌ریزی کسری تنزل می‌یابد. بدین ترتیب، استنباط می‌شود که با لحاظ محدودیت‌های منابع تولید نظیر آب و استفاده کمتر از سموم و کود شیمیایی، می‌توان ترکیب بهینه تولید محصولات زراعی پایدار را تعیین کرد؛ به دیگر سخن، حداکثرسازی درآمد ناخالص از تولید محصولات زراعی با رعایت پایداری بهره‌برداری از منابع آب و حفظ محیط زیست در طول زمان به سود منطقه و کشاورزان خواهد بود، که به‌مفهوم چشم‌پوشی از سود موقتی برای حفظ منابع طبیعی و تداوم بهره‌گیری از آن است. به‌نظر می‌رسد که چنین سیاست‌هایی به‌نفع جامعه کشاورزی و دولت خواهد بود، چراکه در این حالت، آسیب کمتری به محیط‌زیست و منابع آبی وارد می‌شود و هزینه‌های تخریب و بازسازی به‌مراتب کاهش می‌یابد. از این‌رو، لحاظ و رعایت نکات یادشده در راستای بهره‌براری پایدار منابع آب می‌تواند به استمرار الگوی بهینه کشت محصولات زراعی منطقه کمک شایانی کند، زیرا بهره‌برداری اصولی کنونی در کنار توجه به حقوق نسل‌های آتی از الزامات توسعه پایدار کشاورزی تلقی می‌شود. از این‌رو، با عنایت به اهمیت انکارناپذیر صیانت از منابع طبیعی و از آن جمله آب و حفظ محیط زیست، تغییر الگوی کشت محصولات زراعی بر مبنای بیشینه‌سازی درآمد ناخالص با رعایت کاهش مصرف آب و مواد شیمیایی می‌تواند کمک شایانی در این راستا باشد. در این بین، روش برنامه‌ریزی کسری فازی، ضمن توجه هم‌زمان به هر دو معیار حداکثرسازی درآمد و حداقل‌سازی مصرف آب در تعیین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی، می‌تواند کاربرد گسترده داشته باشد و نیل به فرآیند توسعه کشاورزی پایدار را تسریع بخشد. از آنجا که روی آوردن به الگوی کشت پیشنهادی ممکن است درآمد تولیدکنندگان را در کوتاه‌مدت کاهش دهد، شایسته است که عمده سیاست‌های حمایتی و یارانه‌ای دولت در قالب الگوی کشت مد نظر متوجه این قبیل از بهربرداران باشد.

منابع

1. Amini Fasakhodi, A., Nouri, S. H. and Amini, M. (2010). Water resources sustainability and optimal cropping pattern in farming systems; a multi-

objective fractional goal programming approach. *Water resources management*, 24: 4639-4657. DOI: 10.1007/s11269-010-9683-z.

2. Asaadi Mehrabani, M., Banihabib, M. and Roozbahany, A. (2018). Fuzzy linear programming model for the optimization of cropping pattern in Zarrinehroud basin. *Iran-Water Resources Research*, 14(1): 13-24. (Persian)
3. Bani-Asadi, M. and Zare Mehrjerdi, M.R. (2010). Studying the effects of optimal cultivation pattern on rural poverty: case study of Orzoo'iyeh district in Baft (Kerman, Iran). *Agricultural Economics*, 4(2): 209-183. (Persian)
4. Chakraborty, M. and Gupta, S. (2002). Fuzzy mathematical programming for multi objective linear fractional programming problem. *Fuzzy Sets and Systems*, 125(3): 335-342.
5. Dahmardeh Ghaleno, M.R., Sheikh, V., Sadoddin, A. and Sabouhi Sabouni, M. (2016). Optimal cropping pattern for water resources management in Sistan region of Iran using goal programming method. *Ecopersia*, 4(4): 1555-1567.
6. Daneshvar Kakhki, M., Shahnoushi, N. and Salehi Reza-Abadi, F. (2009). The determination of optimal crop pattern with aim of reduction in hazards of environmental. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4(4): 305-310. DOI: 10.3844/ajabssp.2009.305.310.
7. Darehgharibi, B., Karbasi, A. and Mohtashami, T. (2019). Programming model of saffron cultivation extension with emphasis on water resources management. *Saffron Agronomy and Technology*, 77(3): 397-410. (Persian)
8. Fathi, F. and Zibaei, M. (2020). Optimal crop pattern management in Firoozabad Plain according to water and soil sustainability by applying fuzzy mathematical programming. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 3(30): 332-345. (Persian)
9. Fu, Z., Zhang, Y., Wang, H., Jiang, X. and Wang, S. (2022). Optimal allocation of water resources with dual water environmental carrying capacity constraints of water quantity and quality based on multi-scenario analysis. *Research Square*, pp. 32. Available at https://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-1386926/v1.

10. Ghaderzadeh, H., Kazemi, S. and Hajirahimi, M. (2016). A survey of water resources sustainability in agricultural sector of Dehgolan Country. *Environment and Water Engineering*, 2(1): 102-110. (Persian)
11. Hao, N., Sun, P., Yang, L., Qiu, Y., Chen, Y. and Zhao, W. (2022). Optimal allocation of water resources and eco-compensation mechanism model based on the Interval-Fuzzy Two-Stage Stochastic Programming method for Tingjiang River. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1): 149.
12. Hosseinzad, J., Namvar, A., Hayati, B. and Pishbahar, E. (2014). Determination of crop pattern with emphasis on sustainable agriculture in the lands below the Alavian dam and its network. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(2): 41-54. (Persian)
13. Iran Meteorological Organization.(2019). www. Irimo.ir.
14. Kohansal, M. and Firooz Zarea, A. (2008). Determining optimal cultivation model corresponding with organic agriculture: application of Multiple-objective Linear Fuzzy Fractional Programming (case study: North Khorasan province). *Agricultural Economics and Development*, 16(62): 1-32. (Persian)
15. Lara, P. and Stancu-Minasian, I. (1999). Fractional programming: a tool for the assessment of sustainability. *Agricultural Systems*, 62(2): 131-141.
16. Moenoddini, Z., Salarpour, M. and Mohammadi, H. (2015). The implication of increasing the irrigation surface water price and decreasing the amount of available irrigation surface water in the farms of Kerman province using corrected positive mathematical programming. *Agricultural Economics and Development*, 23(1): 21-46. (Persian)
17. Mohseni, S., Zare Mehrjerdi, M. and Vaseghi, E. (2017). Determining optimal cultivation pattern in Orzooeye Plain considering water resources sustainability using Fuzzy Fractional Programming model. *Journal of Arid Biome*, 7(2): 21-28. (Persian)
18. Nakhaee, M., Hashemi, R., Khashee Sivaki, A. and Ahmadi, M. (2016). Optimization of crop pattern using analytical hierarchy process and linear programming (case study: Birjand Plain). *Irrigation Sciences and Engineering*, 39(2): 115-124. (Persian)

19. Nazarifar, M., Behbahani, S. and Momeni, R. (2012). Evaluation of different deficit irrigation scenarios and determination of optimal hydromodoul and area of cropping pattern in the deficit irrigation conditions. *Irrigation Sciences and Engineering*, 35(2): 91-106. (Persian)
20. Nazarifar, M. and Momeni, R. (2011). Validation and evaluation of CropSyst crop growth model for determining suitable cropping pattern under water deficit: a case study in Shahid Chamran's drainage and irrigation network. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 15(56): 49-61. (Persian)
21. Norton, R. D. and Hazell, P. B. (1986). Mathematical programming for economic analysis in agriculture. New York, NY, USA: MacMillan.
22. Parhizkari, A., Mozaffari, M.M., Khaki, M. and Taghizadeh Ranjbari, H. (2015). Optimal allocation of water and lands resources in Roudbar Alamout region using FGFP model. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 4(4): 11-24. (Persian)
23. Regional Water Company of East Azarbaijan. (2021). www.azarwater.ir.
24. Regulwar, D. and Gurav, J.B. (2013). Two-phase multi objective fuzzy linear programming approach for sustainable irrigation planning. *Journal of Water Resource and Protection*, 5(6): 642-651. DOI: 10.4236/jwarp.2013.56065.
25. Siah, Q. and Zabiri, H. (2022). Modeling and optimization of water-food-energy nexus for Malaysia's agricultural sector. *Sustainability*, 14(3): 1799.
26. Zamani, O., Sabouhi Sabouni, M. and Nader, H. (2009). Determining cropping pattern corresponding sustainable agriculture by using multi-objective fuzzy fractional programming: a case of Piranshahar city. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 4: 101-112. (Persian)