

Research Paper

Introduction of Mathematical Programming Model for Agricultural Land Management in Rudpey District of Sari County of Iran to Improve Food Security

F. Kashiri Kolaei¹, S. Shirzadi Laskookalayeh²

Received: 2 November, 2024

Accepted: 24 May, 2025

Introduction: Iran is considered as one of the high-risk regions in terms of food security, which requires imports to secure its food, including grains. In this regard, the country's top documents have also considered food security as one of the priorities. Food insecurity can lead to social and political instability in different systems. Therefore, ensuring food security in any country is one of the basic conditions for ensuring national security. In this regard, agricultural production plays a significant role in food security, but increasing agricultural production sometimes requires the use of more inputs. Given the limited resources for agricultural production, optimizing the use of those resources should be considered in order to achieve important goals. On the other hand, excessive cultivation of crops such as rice, despite generating high income for farmers, may lead to neglecting the sufficient production of crops such as wheat, barley, and oilseeds, which play a significant role in food security. For this reason, it is necessary to design a model to provide an appropriate cultivation pattern containing products from all groups. In addition to the importance of the quality of the products produced in terms of calories and nutrients, the production of some products, such as oilseeds, is also essential. According to the above-mentioned discussion, planners usually face multiple goals in determining the optimal cropping pattern. In this study, goal programming model was used to optimize the cultivation of major crops in the Rudpey district of Sari County in Iran, but its

-
1. Corresponding Author and Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran (fkashiri03@gmail.com).
 2. Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.

DOI: 10.30490/aead.2025.367310.1637

main difference from other studies was the goal of the improved food security by considering calories and nutrients in products such as protein, iron, calcium, potassium, and magnesium. This study also paid attention to the development of oilseed cultivation in order to create a safety margin in oil production.

Materials and Methods: This study was conducted in the goal programming method to achieve the goals. The desired goals included increasing gross margin, reducing fertilizer consumption, increasing calorie and nutrient production, increasing total production and increasing oil production. It is important to note that the limiting inputs considered included land, water, and capital. There were also studied irrigated crops including Tarom paddy rice, Shiroodi paddy rice, wheat, rapeseed, barley, and soybeans. The required data was related to 2021-22 cropping year, which was collected by referring to the agricultural service center of the investigated sector and also the website of the Ministry of Agriculture-Jahad (MAJ). GAMS software was used to solve the ideal model.

Results and Discussion: The study results indicated that considering all the above-mentioned ideals, the cultivation area of Tarom paddy rice, wheat, rapeseed and soybean increased compared to the current cropping pattern, while it is suggested that the cultivation area of Shiroodi paddy rice should be reduced. However, comparing the optimal cropping pattern in the studied scenarios with the current cropping pattern showed that the optimal cropping pattern was close to the current cultivation pattern. In other words, the farmers of the Rudpey district used to operate almost optimally. This amount of result is even more in terms of fertilizer consumption and profit achievement, so that the proposed cropping pattern had reduced fertilizer consumption by one percent and increased profit by a maximum of two percent. In other words, it can be said that farmers implement an economically appropriate cultivation pattern in the region, and the changes in the optimal cropping pattern compared to the current pattern were probably due to the objectives of oil and calorie production, so that the proposed cropping pattern led to an 8 percent increase in oil production and an increase of about 3 percent in calorie production.

Conclusion and Suggestions: The study results showed that in the Rudpey district of Sari County in Iran, the existing cropping pattern of the region was not an optimal pattern in terms of achieving the goals of maximizing profit, maximizing calories and micronutrients, maximizing oil production, and minimizing chemical fertilizer consumption, but it was close to the optimal cultivation pattern. In fact, it can be said that in terms of achieving the goal of

maximizing profit, the current cropping pattern of farmers in the studied region is not much different from the optimal pattern. In fact, despite the lack of sufficient knowledge, the farmers implemented an almost appropriate cultivation pattern in the region due to their experimental skills. The highest percentage of cultivation changes was related to barley and rice crops, and by assigning a higher weight to profit, soybean cultivation also experienced noticeable changes. Considering that one of the important goals in this study was an 8 percent increase in oil production, based on the results, this goal could be achieved by changing the share of rapeseed and soybean cultivation.

According to the study results, increasing the cultivation level of Tarom paddy rice and wheat, compared to other crops, could be in line with providing food for the community. Therefore, developing the cultivation of these crops in the Rudpey district of Sari County is recommended due to their special role in providing food for the community. On the other hand, developing oilseed cultivation requires giving up a portion of the profit, which requires the government to provide incentives and subsidies to make the production of these products more economical in order to develop the cultivation of these products and reduce dependence on imports.

Keywords: *Chemical Fertilizer, Cropping Pattern, Goal Programming, Micronutrients, Oilseeds.*

JEL Classification: C61, Q18

اقتصاد کشاورزی و توسعه

سال ۳۳، شماره ۱۳۰، تابستان ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

معرفی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای مدیریت اراضی زراعی بخش رودپی شهرستان ساری در راستای بهبود امنیت غذایی*

فاطمه کشیری کلایی^۱، سمیه شیرزادی لسکوکلایی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۳

چکیده

تأمین امنیت غذایی از رسالت‌های فعالیت کشاورزی بوده و گاه تحقق آن مستلزم به‌کارگیری نهاده‌های بیشتر است. با توجه به منابع محدود برای تولیدات کشاورزی، به‌منظور دستیابی به اهداف مهم، باید بهینه‌سازی مصرف این‌گونه منابع مد نظر قرار گیرد. هدف مطالعه حاضر معرفی یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی به‌منظور تخصیص بهینه اراضی زراعی به محصولات منتخب در راستای بهبود امنیت غذایی در بخش رودپی شهرستان ساری بود. آرمان‌های مد نظر نیز افزایش سود، کاهش مصرف کود، افزایش تولید کالری و مواد مغذی، افزایش تولید کل و افزایش تولید روغن را شامل می‌شد. همچنین، داده‌های مورد نیاز مربوط به سال

* پژوهش حاضر برگرفته از یک طرح پژوهشی با کد ۱-۱۴۰۱-۰۲ بوده و با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و

منابع طبیعی ساری انجام شده است، که بدین وسیله از مسئولان محترم آن دانشگاه تقدیر و تشکر می‌شود.

۱- نویسنده مسؤل و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

(fkashiri03@gmail.com)

۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

DOI: 10.30490/aead.2025.367310.1637

زرعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ بود. نتایج پژوهش نشان داد که با در نظر گرفتن تمام آرمان‌های یادشده، با بهره‌گیری از یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی، در مقایسه با الگوی کشت کنونی، سطح کشت شلتوک شیرودی کاهش و اما سطح کشت شلتوک طارم، گندم، کلزا و سویا افزایش می‌یابد؛ با این همه، مقایسه الگوی کشت بهینه در سناریوهای مورد بررسی با الگوی کشت کنونی نشان داد که الگوی کشت بهینه به الگوی کشت کنونی نزدیک است. این نتیجه بیشتر از جنبه مصرف کود و دستیابی به سود بوده، به گونه‌ای که با به‌کارگیری الگوی کشت پیشنهادی، مصرف کود تا یک درصد کاهش و سود حداکثر تا دو درصد افزایش یافته است. به دیگر سخن، می‌توان گفت که به لحاظ اقتصادی، الگوی کشت اجرایی کشاورزان در منطقه تقریباً مناسب بوده و تغییرات الگوی کشت بهینه احتمالاً به دلیل لحاظ آرمان‌های تولید روغن و کالری است، به گونه‌ای که الگوی کشت پیشنهادی به افزایش هشت درصدی تولید روغن و افزایش حدود سه درصدی تولید کالری می‌انجامد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، پیروی از الگوی کشت پیشنهادی می‌تواند به بهبود امنیت غذایی کمک کند. از این رو، پیشنهاد می‌شود که نهادهای مربوط، با اتخاذ سیاست‌ها و اعطای مشوق‌های مناسب و نیز ارائه آموزش‌های لازم به کشاورزان، الگوی بهینه پژوهش حاضر را در منطقه مورد مطالعه ترویج دهند.

کلیدواژه‌ها: الگوی کشت، برنامه‌ریزی آرمانی، دانه‌های روغنی، ریزمغذی‌ها، کود شیمیایی.

طبقه‌بندی JEL : Q18, C61

مقدمه

امروزه، چالش‌هایی همچون افزایش گرسنگی در سطح جهان، عدم وجود تعادل در رژیم غذایی روزانه افراد، نابودی محیط زیست و منابع طبیعی و مسائلی از این قبیل موجب شده است که موضوع امنیت غذایی به یکی از مهم‌ترین مسائل تبدیل شود (Hashemi Tabar et al., 2018). همچنین، طبق نظریه مالتوس، رشد جمعیت با رشد تولیدات ناهماهنگ است و این مسئله به همراه محدودیت منابع تولیدی کشاورزی، آینده تأمین مواد غذایی را به خطر می‌اندازد (Nadimi, 2011). امنیت غذایی خانوارها، نخستین بار در کنفرانس بین‌المللی تغذیه در سال ۱۹۹۲، به صورت یک مفهوم روشن به عنوان یکی از راهبردهای مهم در مقابله با سوءتغذیه و گرسنگی در جهان تصویب شد (Bagheri et al., 2019). در ایران نیز مانند سایر نقاط جهان، امنیت غذایی همواره از اهداف مهم برنامه‌های توسعه کشاورزی و روستایی بوده است (Hertel, 2011). در نقشه جهانی ناامنی غذایی منتشر شده توسط فائو در سال ۲۰۲۳، میانگین شاخص ناامنی غذایی متوسط و شدید طی سال‌ها ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳ برای کشور ایران حدود چهار درصد بوده است. به دیگر سخن، بر اساس این شاخص، حدود چهار درصد از جمعیت کشور دچار ناامنی غذایی متوسط و شدید ارزیابی شده‌اند و بدین ترتیب، ایران جزو مناطق پرخطر در زمینه امنیت غذایی به‌شمار می‌رود که برای تأمین غذای خود از جمله غلات، نیازمند واردات است. در این راستا، اسناد بالادستی کشور نیز امنیت غذایی را به عنوان یکی از اولویت‌ها در نظر گرفته‌اند. تأمین

نیازهای غذایی و برقراری امنیت غذایی عاملی است که آسودگی خاطر را برای هر کشوری به دنبال دارد. ناامنی غذایی می‌تواند منجر به بی‌ثباتی اجتماعی و سیاسی در نظام‌های مختلف شود. بنابراین، برقراری امنیت غذایی در هر کشور یکی از شرایط اساسی برای تأمین امنیت ملی به‌شمار می‌رود (Aalinejad et al., 2015). تعاریف ارائه‌شده برای امنیت غذایی دارای دو جنبه اساسی دسترسی فیزیکی به غذا و دسترسی اقتصادی بدان است. مفهوم دسترسی فیزیکی به این معناست که غذا در بازار یا محیط اطراف موجود باشد. در مقابل، دسترسی اقتصادی به قدرت خرید کافی برای تهیه غذای موجود در بازار و همچنین دسترسی به عوامل تولید برای تولید مواد غذایی اشاره دارد (Shirani Bidabadi, 2012). موسسه بین‌المللی تحقیقات غذا چهار روش را برای سنجش امنیت غذایی معرفی کرده است. این روش‌ها شامل داده‌های مربوط به کالری دریافتی فرد (که میزان کالری و سایر مواد غذایی دریافت شده توسط افراد را در یک بازه زمانی مشخص نشان می‌دهد)، داده‌های دسترسی به کالری برای خانوار (میزان کالری در دسترس اعضای خانوار در یک دوره زمانی خاص)، شاخص تنوع مواد غذایی (که تعداد مواد غذایی مصرفی توسط فرد را در یک بازه زمانی معین نشان می‌دهد) و شاخص استراتژی مقابله (که بیانگر روش‌های مقابله خانوارها با تهدیدات ناشی از کمبود مواد غذایی است) است (Hoddinott and Yohannes, 2002).

با توجه به اهمیت مسئله امنیت غذایی، لازم است که در تعیین ترکیب بهینه کشت محصولات کشاورزی، این هدف مهم مدنظر قرار گیرد. برنامه‌ریزی برای الگوی کشت نباید به گونه‌ای باشد که منجر به استفاده نادرست و بیش از حد از نهاده‌های مصرفی، به‌ویژه نهاده‌های مختل‌کننده محیط زیست شود. به‌عبارت دیگر در برنامه‌ریزی تخصیص اراضی به محصولات مختلف، به‌طور هم‌زمان باید به اهداف مختلفی از جمله اهداف اقتصادی و محیط زیستی توجه شود. در کشاورزی نوین، به‌منظور افزایش حجم تولیدات جهت فروش و کسب درآمد، بین عملکرد محصولات کشاورزی و نهاده‌های مصرفی نظیر کودهای شیمیایی و بذور اصلاح شده همبستگی فراوانی ایجاد شده است. از سوی دیگر، افزایش مصرف نهاده‌های مختل‌کننده محیط زیست در تولیدات کشاورزی، منجر به مشکلات متعدد زیست‌محیطی شده است (Mousavi et al., 2011) که با توجه به اهمیت استفاده پایدار از محیط زیست، لازم است در خصوص استفاده از آن دقت بیشتری شود (Afsharzadeh and Papzan, 2011). این موضوع در مورد عوامل تولید کشاورزی از اهمیت بیشتری برخوردار است.

در حال حاضر، بالا بودن میزان تولید برخی از محصولات در گرو استفاده‌ی بیشتر از عوامل تولید و به‌ویژه کود شیمیایی است (Porzand and Bakshudeh, 2012). از این‌رو لازم است در تعیین

ترکیب بهینه محصولات، به حداقل سازی مصرف نهاده‌هایی نظیر کودهای شیمیایی توجه شود. از سوی دیگر، هدف اصلی کشاورزان از تولید محصولات، تأمین درآمد لازم است و در مراحل بعدی، برآورده کردن نیازهای غذایی جامعه نیز مورد توجه قرار دارد (Zarei, 2015). کشت بیش از حد محصولاتی همچون انواع برنج با وجود ایجاد درآمد بالا برای کشاورزان، ممکن است موجب غافل ماندن از تولید کافی محصولاتی همچون گندم، جو و دانه‌های روغنی شود که در امنیت غذایی نقش قابل توجهی دارند. به همین دلیل لازم است مدلی طراحی شود تا بتوان الگوی کشت مناسبی حاوی محصولات تمامی گروه‌ها ارائه نمود. در کنار اهمیت کیفیت محصولات تولیدی به لحاظ کالری و مواد مغذی، تولید برخی محصولات مانند دانه‌های روغنی نیز ضروری می‌نماید.

بر اساس مطالعات موجود، سرانه مصرف روغن گیاهی در ایران حدود ۲۰ کیلوگرم است که حدود ۱۵ درصد از کالری مورد نیاز بدن نیز از این طریق تأمین می‌شود (Mohammadi et al., 2023). بر اساس گزارش انجمن صنفی صنایع روغن نباتی ایران در سال ۲۰۲۳، در حال حاضر تولید روغن خوراکی از منابع داخلی پاسخگوی تقاضای فزاینده ناشی از رشد تقاضا نیست و تنها حدود ۲۰ درصد نیاز مصرفی کشور را تأمین می‌کند. از این رو لازم است تولید دانه‌های روغنی و افزایش کشت آن را در برنامه بهره‌برداری از اراضی زراعی مدنظر قرار داد.

با توجه به مطالب فوق، برنامه‌ریزان در تعیین الگوی کشت بهینه معمولاً با چندین هدف مواجه هستند. این در حالی است که برخی از این اهداف ممکن است در تضاد با یکدیگر باشند و دستیابی به یکی ممکن است منجر به دور ماندن از سایر اهداف شود. از این رو لازم است به‌منظور برنامه‌ریزی صحیح از جمله در مدیریت اراضی زراعی، الگوهای چندهدفه مدنظر قرار گیرد. برنامه‌ریزی آرمانی^۱ یکی از مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه است که در آن یک سطح آرمان برای اهداف در نظر گرفته می‌شود. در مطالعه حاضر از مدل برنامه‌ریزی ریاضی آرمانی به تعیین ترکیب بهینه کشت محصولات منتخب زراعی در بخش رودپی شهرستان ساری پرداخته شده است.

بر اساس آمارنامه جهاد کشاورزی در سال ۱۴۰۱، شهرستان ساری در استان مازندران، در تولید محصولات گروه‌های غلات، گیاهان علوفه‌ای، محصولات صنعتی و سبزی‌ها رتبه مناسبی را در کشت برخی از محصولات از جمله برنج (رتبه ۳)، گندم (رتبه ۲)، شبدر (رتبه ۲)، سیب‌زمینی (رتبه ۲) و پیاز (رتبه ۲) به خود اختصاص داده است. یکی از بخش‌هایی که نقش قابل توجهی را تولید محصولات گروه غلات و محصولات صنعتی در این شهرستان به خود اختصاص داده است بخش رودپی است.

1. Goal programming

بخش رودپی، از جمله بخش‌های جلگه‌ای شهرستان ساری است که محصولات متنوعی همچون گندم، جو، انواع برنج و سایر محصولات در آن کشت می‌شود. متنوع بودن محصولات کشت شده در این منطقه می‌تواند حاکی از قابلیت بالای این بخش در تولید محصولات زراعی باشد که لازم است در راستای بهبود درآمد کشاورزان و همچنین تأمین امنیت غذایی، استفاده از این اراضی حاصلخیز بهینه‌سازی شود.

پژوهش‌های متعددی در راستای الگوی کشت بهینه شده است ولی در کمتر مطالعه‌ای به صورت هم‌زمان تمام اهدافی همچون سود، تولید روغن، امنیت غذایی و نهاده‌های شیمیایی در نظر گرفته شده است که همین امر موجب متمایز شدن پژوهش حاضر نسبت به مطالعات پیشین شده است. اما از میان تحقیقات صورت گرفته در زمینه تعیین الگوی کشت بهینه چندهدفه می‌توان به مطالعه سایبان و همکاران (Saiban et al., 2018) اشاره نمود که برای تعیین الگوی بهینه‌ی کشت محصولات عمده شهرستان بهبهان با هدف افزایش درآمد کشاورزان، از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی استفاده نمودند. مناطق مورد بررسی در این مطالعه شامل سردشت، لنگیرات، حومه، دودانگه و تشان بوده که بسته به نوع اقلیم و خاک از محصولات زراعی و باغی متفاوتی برخوردارند. نتایج نشان داد که با هدف حداکثرسازی سود، سطح زیرکشت و مقدار آب مصرفی در کل شهرستان در حالت بهینه به میزان ۲/۷۶ و ۴/۶۳ درصد افزایش یافته است. همچنین مردانی نجف‌آبادی و همکاران (Mardani Najafabadi et al., 2020) مطالعه‌ای با هدف بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات زراعی در اراضی پایاب شبکه آبیاری و زهکشی میان آب شوشتر با تأکید بر کاهش استفاده از نهاده‌های کود و سموم شیمیایی در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ انجام دادند. آن‌ها از روش برنامه‌ریزی خطی کسری چندهدفه^۱ در دو سناریو با لحاظ عدم حتمیت و بدون لحاظ آن استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که در سناریوی لحاظ عدم حتمیت، میزان مصرف کود شیمیایی، سموم دفع آفات، سطح زیرکشت و میزان آب آبیاری به ترتیب به میزان ۱۷درصد، ۱۵ درصد، ۸ درصد و ۱/۱ درصد کاهش یافت. در مطالعه سالاری بردسیری (Salari Berdesiri, 2021) ضمن توجه به مؤلفه‌های مردم، اقتصاد و محیط زیست؛ امنیت آب و امنیت غذا در اقلیم‌های گوناگون در سطح کشور مورد بررسی قرار گرفت. در مطالعه‌ی وی سه هدف تحقق امنیت غذایی مدنظر برنامه‌ی ششم توسعه‌ی اقتصادی، تحقق بعد کمی امنیت آب و تحقق آرمان ارزش‌افزوده بخش زراعت با اولویت‌های گوناگون مورد توجه قرار گرفت.

1. Multi-objective fractional linear programming

نتایج نشان داد اولویت دادن به تأمین امنیت غذایی موجب تحقق آرمان امنیت آب نمی‌گردد و همچنین توجه به تحقق امنیت آب نیز مانع از تحقق آرمان امنیت غذایی می‌گردد.

در مطالعه‌ای دیگر، بدیع برزین و همکاران (Badih Barzin et al., 2022) با استفاده از الگوی چندهدفه^۱ به برنامه‌ریزی کشت محصولات زراعی در محدوده دشت سیستان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که به‌کارگیری مدل چندهدفه و اهداف کاهش مصرف آب، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف نهاده انرژی و حداکثرسازی تولید کل، سود و تولید کالری منجر به کاهش سطح زیر کشت محصولات شده است. این در حالی است که میزان تولید کالری در هکتار و میزان مصرف کود افزایش یافته است و در مقابل، مصرف آب، میزان سود، میزان تولید کل و میزان مصرف انرژی کاهش یافته‌اند. آهنی و همکاران (Ahani et al., 2023) با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه با رویکرد همبست آب-غذا-انرژی به تعیین الگوی کشت بهینه برای استان خراسان رضوی پرداختند. بر اساس نتایج آن‌ها، در الگوی کشت بهینه، میزان تولید کالری ۳۳ درصد، میزان مصرف کود و سموم حدود ۳۸/۳ درصد، تولید کل ۳۳ درصد و میزان انرژی ۵۶ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی کاهش یافته است ولی میزان سود کشاورزان ۴۹/۳ درصد افزایش می‌یابد. همچنین نورپوری و همکاران (Nourpouri et al., 2023) با به‌کارگیری مدل چندهدفه، الگوی کشت بهینه را برای شهرستان شیراز تعیین نمودند. اهداف مدنظر آن‌ها شامل حداکثرسازی سود، حداقل‌سازی مصرف آب، حداقل‌سازی کودها و سموم شیمیایی و حداکثرسازی امنیت غذایی بود. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که سطح زیر کشت اکثر محصولات در الگوی کشت بهینه با کاهش مواجه شده است ولی محصولاتی مانند خیار، عدس، جو و لوبیا با افزایش مواجه شده است. الگوی کشت بهینه‌ی محاسبه شده‌ی آن‌ها موجب کاهش ۱۰/۷۵ درصدی آب مصرفی، کاهش ۱۰/۶ درصدی مصرف کود و کاهش ۱۰/۳۷ درصدی سموم شیمیایی شده است ولی در مقابل، سود کشاورزان حدود ۹/۷ درصد کاهش می‌یابد و همچنین بر مبنای نتایج ارائه شده در تحقیق آن‌ها، کالری تولیدی تحت این شرایط کاهش می‌یابد. به عبارتی کاهش مصرف نهاده‌هایی همچون آب و کود منجر به کاهش تولید محصولات و در نتیجه کاهش تولید کالری می‌شود.

در مطالعه‌ای دیگر، واینمان و کرافورد (Wineman and Crawford, 2014) با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و با هدف حداکثرسازی انرژی حاصل از تولید محصولات زراعی، به انتخاب الگوی بهینه کشت برخی زارعان در زامبیا پرداختند. آن‌ها بر اساس شرایط آب و هوایی، سه منطقه را در نظر

1. Multi-objective programming

گرفته و تابع عملکرد محصولات را با توجه به متغیرهای اقلیمی برآورد نمودند. سپس با فرض تغییرات آب‌وهوا عملکرد محصولات را شبیه‌سازی نموده و با اعمال آن‌ها در مدل برنامه‌ریزی خطی، الگوی کشت مزارع را در هر منطقه محاسبه نمودند. نتایج نشان می‌دهد الگوی کشت با تغییر عملکرد (در نتیجه‌ی تغییرات اقلیم) تغییر نموده تا حدی که وضعیت بد آب و هوایی منجر به کاهش کالری در دسترس خانوارها جهت رفع نیاز معیشتی نیز خواهد گشت. اوتینو و آدییمو (Otieno and Adeyemo, 2019) با استفاده از نوعی مدل چندهدفه، الگوی کشت بهینه یک مزرعه را در آفریقای جنوبی ارائه دادند. مدل آن‌ها شامل سه هدف و سه محدودیت بوده است. اهداف مشتمل بر حداکثرسازی سود خالص، حداکثرسازی کل تولید کشاورزی و حداقل‌سازی مصرف آب آبیاری بوده است. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که مدل مورد استفاده آن‌ها به نتایج خوبی برای هدف حداکثرسازی سود کشاورزان منطقه با محدودیت‌های موجود در زمین و آب منجر شده است. در مطالعه‌ای دیگر لی و همکاران (Li et al., 2020) مدلی را جهت بهینه‌سازی هم‌زمان منطقه کاشت محصول، آب آبیاری و کود ازت با لحاظ عدم قطعیت ارائه دادند. آن‌ها این مدل را برای یک منطقه آبیاری در شمال شرقی چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان آن‌ها نشان داد که اهداف مدل بهینه‌سازی آن‌ها متناقض هستند و تولید برنج برای تخصیص هم‌زمان زمین، آب و کود مناسب است. زو و همکاران (Zuo et al., 2021) نیز با استفاده از برنامه‌ریزی فازی^۱ به بهینه‌سازی آب، انرژی و مواد غذایی کشاورزی در استان هنان، چین پرداختند. آنان راه‌حل‌های مختلف منابع آب، منابع متنوع انرژی و چندین محصول کشاورزی در ارتباط با ساختارهای مختلف تأمین آب بین وضعیت فعلی و سیاست‌های آینده را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در کل افق برنامه‌ریزی با بهینه‌سازی تخصیص منابع، سطح کل کاشت محصولات از ۱۲۹۳۰۰ به ۱۳۲۰۰۰ هکتار افزایش یافته و همچنین سود به میزان ۱۶/۹۳ درصد تغییر پیدا کرده است. در مطالعه‌ای، سینگ (Singh, 2022) به بهینه‌سازی مصرف آب و زمین موجود برای به حداکثر رساندن بازده خالص کشاورزی و به حداقل رساندن مشکلات آبیاری در منطقه جاجر هند پرداخت. نتایج نشان داد که در شرایط بهینه، در طول فصل موسمی، سطح برنج کاهش می‌یابد. همچنین براساس نتایج ارائه‌شده، با کاهش سطح کشت برنج در سناریوی بهینه، برداشت از آب‌های زیرزمینی کاهش یافته و مشکلات مصرف بالای آب در کشت فعلی منطقه را کاهش داده است. علاوه بر این، در تخصیص بهینه، بازده خالص کشاورزی سالانه منطقه مورد مطالعه با بیش از ۱۷ درصد افزایش داشته است.

1. Fuzzy programming

بررسی مطالعات حاکی از آن است که در تعیین الگوی کشت بهینه، اهداف مختلفی مشتمل بر اهداف اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی در نظر گرفته می شود که بر استفاده از مدل های چندهدفه تأکید داشته اند. اما اینکه چه اهدافی در هر مطالعه در نظر گرفته شده است متفاوت بوده است. در این مطالعه نیز از مدل چندهدفه آرمانی^۱ برای بهینه سازی کشت محصولات زراعی عمده بخش رودپی شهرستان ساری استفاده شده است اما تمایز اصلی آن با سایر مطالعات، لحاظ هدف بهبود امنیت غذایی با در نظر گرفتن کالری و مواد مغذی موجود در محصولات همچون پروتئین، آهن، کلسیم، پتاسیم و منیزیم است. همچنین در این مطالعه به توسعه کشت دانه های روغنی به منظور ایجاد حاشیه امنیتی در تولید روغن خوراکی نیز توجه شده است.

مواد و روش ها

در مطالعه حاضر به منظور مدیریت اراضی زراعی بخش رودپی شهرستان ساری، از روش برنامه ریزی ریاضی استفاده شد. تکنیک های برنامه ریزی ریاضی و به خصوص برنامه ریزی خطی در خصوص تخصیص بهینه منابع کمیاب از مهم ترین ابزارهای کاربردی علم مدیریت به شمار می روند. چارچوب مدل برنامه ریزی خطی معمولاً تک هدفه است؛ اما در واقعیت، تصمیم گیرندگان اغلب با نیاز به بهینه سازی چندین هدف روبرو هستند که این اهداف گاهی با یکدیگر تضاد دارند. از این رو، مسائل مدیریتی باید در چارچوب برنامه ریزی چندهدفه بررسی گردد (Gunes and Umarosman, 2005). به همین دلیل در این مطالعه از الگوی برنامه ریزی ریاضی چندهدفه آرمانی استفاده شد.

در مطالعه حاضر، دستیابی به اهداف حداکثرسازی سود ناخالص زارعین منطقه، حداقل سازی مصرف کودهای شیمیایی، حداکثرسازی کالری محصولات (به عنوان کمیت امنیت غذایی) و حداکثرسازی تولید برخی ریزمغذی ها همچون پروتئین، کلسیم، پتاسیم، آهن و منیزیم (به عنوان کیفیت غذایی)، هدف حداکثرسازی تولید روغن و هدف حداکثرسازی تولید کل محصولات مورد بررسی مدنظر بوده است که در قالب مدل چندهدفه آرمانی لحاظ شده است. مدل برنامه ریزی آرمانی مورد استفاده در روابط (۱) الی (۹) ارائه شده است:

$$\min \frac{w_1}{k_1} d_1^- + \frac{w_2}{k_2} d_2^+ + \frac{w_{3,g}}{k_{3,g}} d_3^- + \frac{w_4}{k_4} d_4^- + \frac{w_5}{k_5} d_5^- + \frac{w_6}{k_6} d_6^- \quad (1)$$

St:

1. Multi-objective goal programming

$$\sum_{i=1}^n c_i x_i + d_1^- - d_1^+ = TGM^* \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n F_i x_i + d_2^- - d_2^+ = TF^* \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n n_{i,g} y_i x_i + d_{3,g}^- - d_{3,g}^+ = TN_g^* \quad \forall g \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n cal_i y_i x_i + d_4^- - d_4^+ = Tcal^* \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n O_i y_i x_i + d_5^- - d_5^+ = TO^* \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i x_i + d_6^- - d_6^+ = TY^* \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n a_{i,j} x_i \leq b_j \quad (8)$$

$$x_i, d^-, d^+ \geq 0 \quad (9)$$

رابطه ۱ بیانگر تابع هدف بوده که نشان دهنده حداقل‌سازی مجموع انحرافات نامطلوب است. همچنین با توجه به ناهمگون بودن واحد آرمان‌های مورد بررسی، از طریق ضرب ضریب $\frac{1}{k}$ در انحرافات، نرمال‌سازی انجام شد. همچنین w نیز معرف وزن اهداف بوده است که مسلماً بیشترین وزن مربوط به هدف سود است. بر اساس بررسی مطالعات گذشته، در اکثر مطالعات وزن سود در مدل‌های چندهدفه، حدود ۵۰ درصد یا بالاتر لحاظ شده است. از جمله در مطالعه عالی‌نژاد (Aalinejad et al., 2015) وزن آرمان سود حدود ۷۰ درصد لحاظ شده است. در مطالعه حاضر، دو سناریوی وزنی مورد بررسی قرار گرفته است. در سناریوی اول، وزن سود حدود ۵۰ درصد و ۵۰ درصد باقی مانده به سایر اهداف (وزن تولید کل ۵ درصد، وزن کود ۱۰ درصد، روغن قابل‌استخراج ۵ درصد، کالری و ریزمغذی‌ها ۳۰ درصد) اختصاص یافته است. در سناریوی دوم، برای سود وزن ۷۵ درصدی و ۲۵ درصد دیگر برای سایر اهداف لحاظ شده است.

رابطه ۲ معرف هدف حداکثرسازی سود ناخالص زارعین منطقه است که در آن TGM^* بیانگر آرمان کل سود ناخالص (افزایش دو درصدی سود نسبت به سود الگوی کشت فعلی)، c_i سود ناخالص محصول i ام (سود ناخالص منتشرشده توسط جهاد کشاورزی که از اختلاف ارزش ناخالص تولید و هزینه تولید به‌دست آمده است) و x_i سطح کشت محصول i ام است. رابطه ۳ نشان دهنده هدف حداقل‌سازی

مصرف کودهای شیمیایی است که TF^* بیانگر آرمان کل مصرف کودهای شیمیایی (کاهش یک درصدی مصرف کودها نسبت به الگوی کشت فعلی که بر اساس برنامه توسعه که در آن بر بهینه‌سازی مصرف انواع کودها و کاهش یک درصدی در هر سال تاکید شده است، لحاظ گشت) و F_i میزان کود مصرفی محصول λ_m در هر هکتار (شامل کودهای ازته، پتاسه و فسفات) است. آرمان حداکثرسازی مواد مغذی و کالری محصولات در رابطه ۴ و ۵ آمده است که در آن‌ها، TN_g^* معرف آرمان تولید ریزمغذی‌های g ام (بهبود یک درصدی نسبت به تولید الگوی کشت فعلی مورد بررسی که بر اساس آزمون و خطای مدل طراحی شده، بالاتر از آن امکان‌پذیر نبوده است)، $n_{i,g}$ میزان ریزمغذی g ام در محصول λ_m و y_i عملکرد هر محصول در هکتار است. $Tcal^*$ آرمان کالری (بهبود یک درصدی نسبت به الگوی کشت فعلی) و cal_i میزان کالری هر کیلوگرم محصول λ_m است. رابطه ۶ و ۷ معرف حداکثرسازی تولید روغن و تولید کل محصولات است که در آن‌ها، TO^* و TY^* نشان دهنده آرمان کل روغن قابل استخراج از دانه‌های روغنی تولید شده (بر اساس برنامه هفتم توسعه، افزایش ۴۰ درصدی روغن طی ۵ سال در نظر گرفته شده است که سالانه به‌طور متوسط حدود ۸ درصد لحاظ شده است) و آرمان تولید کل (بر اساس حداکثر تولید با محدودیت منابع، ۵ درصد لحاظ شده است) است. همچنین O_i میزان روغن موجود در هر کیلو از دانه‌های روغنی و io مجموعه دانه‌های روغنی (سویا و کلزا) است.

رابطه (۸) بیانگر محدودیت‌های نهاده‌ای مدل است که در آن $a_{i,j}$ بیانگر میزان مورد نیاز نهاده‌ی j ام برای محصول λ_m و b_j موجودی نهاده‌ی j ام است. لازم به توضیح است نهاده‌های مورد بررسی شامل زمین، آب و سرمایه است. محصولات مورد بررسی نیز آبی بوده و شامل شلتوک طارم، شلتوک شیرودی، گندم، کلزا، جو و سویا است. همان‌گونه که ذکر شد یکی از پارامترهای مورد نیاز، میزان مواد مغذی و کالری هر کیلوگرم از محصولات مورد بررسی بوده است. برای این موارد از کتاب‌ها و گزارش‌های مربوط به آنالیز مواد غذایی استفاده شده است اما با توجه به اینکه ممکن است این اطلاعات دقیق نباشد و همچنین برای محصول تولید شده در منطقه مورد بررسی، کاملاً صادق نباشد از این‌رو، میزان مواد مغذی و کالری هر کیلوگرم از محصولات مورد بررسی به‌صورت یک تابع تصادفی در نظر گرفته شده است که فرم نهایی روابط (۴) و (۵) به‌صورت رابطه (۱۰) و (۱۱) است.

$$\sum_{i=1}^n (n_{i,g} - z_{\alpha} \sigma_{1_{i,g}}) y_i x_i + d_{3,g}^- - d_{3,g}^+ = TN_g^* \quad \forall g \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n (cal_i - z_{\alpha}\sigma 2_i)y_i x_i + d_4^- - d_4^+ = Tcal^* \quad (11)$$

که در آن $\sigma 1_{i,g}$ انحراف معیار مواد مغذی گام در هر کیلو محصول نام، $\sigma 2_i$ انحراف معیار کالری موجود در هر کیلو محصول نام و z_{α} عدد جدول نرمال استاندارد در سطح احتمال α است که در این مطالعه احتمال ۹۰ درصد در نظر گرفته شد.

داده‌های مورد نیاز در پژوهش حاضر شامل الگوی کشت رایج منطقه مورد مطالعه، هزینه تولید محصولات زراعی قابل کشت در منطقه، قیمت محصولات، میزان نهاده‌های مهم نظیر آب، کود و سرمایه مربوط به سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ بوده است که از مرکز خدمات کشاورزی بخش مورد بررسی و همچنین سایت وزارت جهاد کشاورزی جمع‌آوری شد. برای تعیین ضرایب مواد غذایی و روغن از کتاب آنالیز غذایی غلامی و همکاران (۱۳۹۶) و درستی و طباطبائی (۱۴۰۱) استفاده شده است. در نهایت برای حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی از نرم‌افزار GAMS استفاده شده است.

نتایج و بحث

در جدول ۱، میزان کود شیمیایی، سرمایه مورد نیاز، آب مصرفی (از طریق نرم‌افزار NETWAT) و عملکرد در هکتار (بر اساس آمارنامه‌ها و مرکز خدمات کشاورزی بخش رودپی) ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، بر اساس اطلاعات دریافت شده از مرکز خدمات کشاورزی بخش رودپی، میزان کود مصرفی در تولید محصولات بالا است و در راستای حفاظت از محیط زیست و سلامت مصرف‌کنندگان، باید به‌منظور کاهش مصرف آن گام‌هایی برداشته شود. بیشترین آب مصرفی نیز به شلتوک اختصاص دارد. به لحاظ حجم تولید، شلتوک شیرودی، گندم و شلتوک طارم بیشترین تولید در هکتار را به خود اختصاص داده‌اند که البته این نکته یادآور می‌شود که محصولات مورد بررسی، رقم آبی بوده‌اند و از این‌رو بالا بودن عملکرد گندم نیز می‌تواند ناشی از آن باشد. لازم به توضیح است که موجودی نهاده‌های آب، زمین و سرمایه همان میزان مصرف شده آب، زمین و سرمایه در الگوی کشت فعلی (به ترتیب حدود ۷۵ میلیون مترمکعب، ۸۸۵۸ هکتار و ۵۱۷۳ میلیارد ریال) بوده است. به عبارتی، با فرض محدودکننده بودن این عوامل در تعیین الگوی کشت کشاورزان، فرض شده است که میزان آب، زمین و سرمایه موجود، همان مقدار مصرف شده در الگوی فعلی باشد.

جدول ۱- عملکرد و نهاده‌های مورد استفاده در هر هکتار از محصولات در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱

محصولات	کود شیمیایی (کیلوگرم بر هکتار)	آب (متر مکعب بر هکتار)	سرمایه (میلیون ریال بر هکتار)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)
شلتوک طارم	۴۵۰	۱۰۰۵۳	۶۷۸	۴۰۹۶
شلتوک شیرودی	۵۵۰	۱۱۴۰۰	۷۲۷	۷۵۹۱
گندم	۵۰۰	۲۰۴۶	۲۰۲	۴۷۰۰
کلزا	۵۰۰	۳۰۵۰	۳۲۳	۲۴۹۵
سویا	۲۰۰	۴۹۲۳	۳۱۶	۲۴۹۹
جو	۴۵۰	۱۸۰۰	۱۷۶	۳۱۰۰

مأخذ: مرکز خدمات کشاورزی بخش رودپی شهرستان ساری، ۱۴۰۲

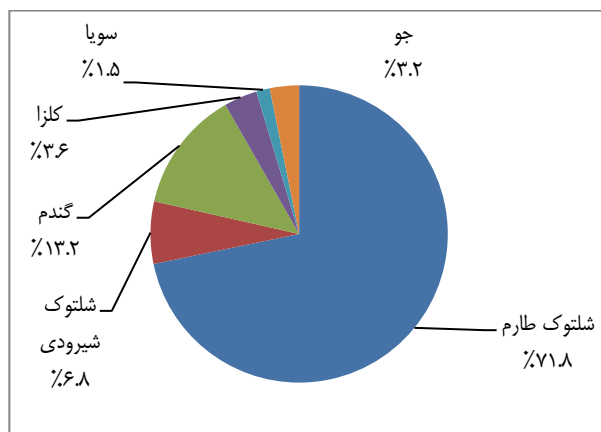
در شکل ۱ و جدول ۲، الگوی کشت فعلی و الگوی کشت بهینه چندهدفه آرمانی در دو سناریوی مورد بررسی ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در الگوی کشت رایج منطقه، محصولات شلتوک طارم و گندم به ترتیب با سهم ۷۲ و ۱۳ درصد، بیشترین سطح کشت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند. برنج از محصولات پرفروش منطقه به حساب می‌آید که رقم طارم آن همان‌گونه که ملاحظه می‌شود نسبت به رقم شیرودی سطح کشت بالاتری دارد که از دلایل آن می‌توان به بازارپسندی، امکان صادرات، خودمصرفی و نیاز پایین‌تر به نهاده‌هایی همچون آب و کود نسبت به سایر ارقام شلتوک اشاره نمود. با کشت محصولات با سطوح فعلی که در جدول ۲ نیز ارائه شده است، برای کشاورزان منطقه حدود ۹۹۲۲ میلیارد ریال سود ناخالص ایجاد شده است که به‌طور متوسط به ازای هر هکتار کشت شده، ۱۱۲۰ میلیون ریال سود ایجاد شده است. بررسی میزان کود مصرفی نیز نشان می‌دهد که در الگوی کشت فعلی محصولات مورد بررسی، حدود چهار هزار تن انواع کودهای شیمیایی مصرف شده است که با محاسبه بهره‌وری اقتصادی کود شیمیایی می‌توان گفت به‌طور متوسط به ازای هر کیلوگرم کود مصرف شده، ۲۴۲۷ هزار ریال سود ناخالص ایجاد شده است. میزان مجموع مواد مغذی محصولات مورد مطالعه (شامل پروتئین، کلسیم، پتاسیم، منیزیم و آهن) بر اساس کشت محصولات در الگوی کشت رایج منطقه نیز در جدول ۱ حاکی از آن است که با کشت محصولات در سطوح فعلی، حدود ۲/۰۳ هزار تن مواد مغذی تولید شده است. همچنین کالری

حاصل از تولیدات مورد بررسی ۸۹ میلیارد کیلوکالری بوده است که بخش زیادی از آن ناشی از تولید محصولات شلتوک طارم و گندم است.

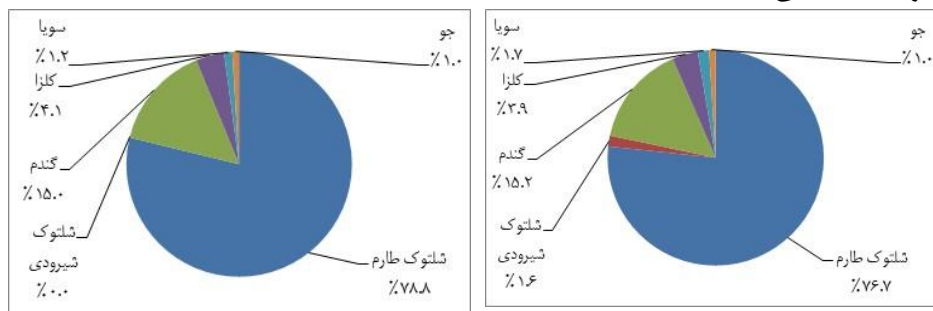
در صورت لحاظ وزن ۵۰ درصدی برای سود ناخالص (سناریوی اول)، با پیروی از مدل چندهدفه آرمانی، نوع محصولات قرار گرفته در الگوی کشت بهینه نسبت به الگوی کشت رایج یکسان خواهد بود اما سطح کشت آنها نسبت به الگوی کشت فعلی کمی متفاوت است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود محصولات شلتوک طارم و گندم به ترتیب با سهم ۷۷ و ۱۵ درصدی، بیشترین سطح کشت را به خود اختصاص داده‌اند. بالاتر بودن سهم شلتوک طارم می‌تواند به دلیل سود بالا، مواد مغذی مناسب و کالری بالا باشد که البته با واقعیت بازارپسند بودن آن نیز مطابقت دارد. گندم رتبه دوم را در این الگو به خود اختصاص داده است. این محصول در تأمین نیاز غذایی نقش مهمی دارد چرا که نان یکی از غذاهای اصلی خانوارهای ایرانی است.

در الگوی کشت سناریوی اول، دانه‌های روغنی، شامل کلزا و سویا در الگوی کشت بهینه قرار گرفته‌اند اما سطح کشت کلزا حدود ۷ درصد و سطح کشت سویا حدود ۱۶ درصد نسبت به الگوی کشت رایج منطقه افزایش یافته است. افزایش بیشتر در کشت سویا می‌تواند هم ناشی از روغن قابل‌استخراج و هم ناشی از وجود ریزمغذی‌های مورد بررسی و کالری بالای این محصول باشد. در مجموع، کل زمین‌های اختصاص یافته به دانه‌های روغنی در الگوی کشت بهینه نسبت به الگوی کشت رایج حدود ۴۲ هکتار افزایش یافته است. با توجه به اینکه مصرف روغن در ایران حدود ۲۱ کیلوگرم است و حدود ۸۰ الی ۹۰ درصد آن وارد می‌شود از این رو ترویج کشت دانه‌های روغنی البته در صورت به صرفه بودن باید مدنظر قرار گیرد.

در سناریوی دوم یعنی لحاظ وزن ۷۵ درصدی برای سود ناخالص، الگوی کشت با تغییراتی مواجه شده است. از جمله اینکه محصول شلتوک شیرودی از الگوی کشت بهینه حذف شده و سهم خود را به شلتوک طارم داده است. به این ترتیب، شلتوک طارم با سهم ۷۹ درصدی بالاترین سهم را در الگوی کشت داشته و گندم با سهم ۱۵ درصدی در رتبه بعدی قرار دارد. همان‌گونه که در شکل ۱ نیز مشاهده می‌شود، سهم کشت محصولات در دو سناریوی مورد بررسی به جز ارقام شلتوک، تغییر چندانی نیافته است.



الگوی کشت فعلی



الگوی کشت چندهدفه آرمانی (سناریوی اول) الگوی کشت چندهدفه آرمانی (سناریوی دوم)

مأخذ: مرکز خدمات کشاورزی بخش رودپی و یافته‌های تحقیق

شکل ۱- سهم محصولات در الگوی کشت فعلی و الگوی کشت بهینه چندهدفه آرمانی

همان‌گونه که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود در الگوی کشت چندهدفه آرمانی در سناریوی اول، میزان سود ناخالص، تولید روغن و کالری نسبت به الگوی کشت رایج حدود ۱/۳ درصد، ۸ درصد و ۲/۷ درصد افزایش یافته‌اند در حالی که میزان تولید کل و کود مصرفی نسبت به الگوی کشت فعلی به ترتیب حدود ۳/۶ درصد و ۱ درصد کاهش یافته‌اند. میزان سود به ازای هر هکتار کشت محصولات به‌طور میانگین ۱۱۳۲ میلیون ریال به‌دست آمده است که نسبت به الگوی کشت فعلی حدود ۱/۳ درصد افزایش یافته است. همچنین کشاورزان به ازای هر کیلو کود مصرفی، حدود ۲۴۷۹ هزار ریال سود کسب می‌کنند که در مقایسه با شرایط فعلی منطقه، حدود ۲ درصد افزایش یافته است. این نتایج حاکی

از آن است که به لحاظ اقتصادی، الگوی کشت فعلی کشاورزان بخش مورد بررسی با الگوی بهینه تفاوت چندانی ندارد. در واقع کشاورزان علی‌رغم نداشتن دانش کافی، ولی به دلیل مهارت‌های تجربی، الگوی کشت تقریباً مناسبی را در منطقه اجرا می‌کنند.

کل کالری حاصل از الگوی کشت بهینه نیز حدود $91/5$ میلیارد کیلوکالری بوده است که با مقایسه آن با شرایط فعلی، می‌توان گفت الگوی کشت بهینه منجر به بهبود $2/7$ درصدی تولید کالری شده است. همچنین کل مواد مغذی محصولات در الگوی کشت بهینه نسبت به الگوی رایج منطقه حدود $4/5$ درصد افزایش یافته است. از سوی دیگر، تغییر الگوی کشت منجر به تغییر میزان کل تولید محصولات مورد بررسی شده است که بر اساس نتایج، میزان کل تولیدات محصولات مورد بررسی، حدود $3/6$ درصد نسبت به الگوی کشت رایج منطقه کاهش یافته است که می‌تواند به دلیل کاهش کشت شلتوک شیروودی، باشد چرا که بیشترین عملکرد در هکتار به این محصول اختصاص دارد که با کاهش کشت آن، تولید نیز کاهش می‌یابد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در سناریوی دوم که در آن وزن 75 درصدی برای سود ناخالص در نظر گرفته شده است، میزان سود نسبت به سود الگوی کشت فعلی، حدود 2 درصد افزایش یافته است. همچنین میزان روغن قابل استخراج، کالری تولیدی و تولید کل ریزمغذی‌های مورد بررسی به ترتیب حدود 8 ، $2/9$ و $2/6$ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی افزایش یافته است در حالی که تولید کل و میزان مصرف کودهای شیمیایی به ترتیب $4/8$ و 1 درصد نسبت به الگوی کشت فعلی کاهش یافته است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود اختصاص وزن بالاتر برای سود ناخالص، علی‌رغم آنکه منجر به بهبود تولید کالری می‌گردد ولی تولید کل ریزمغذی‌ها را با کاهش مواجه نموده است. به عبارتی، دستیابی به سود بالاتر، نیازمند صرف نظر کردن از بخشی از ریزمغذی‌ها است.

جدول ۲- الگوی کشت فعلی و چندهدفه آرمانی در منطقه مورد مطالعه

درصد تغییرات	الگوی کشت چندهدفه آرمانی		الگوی کشت فعلی	محصولات (هکتار)	
	سناریوی دوم وزن	درصد تغییرات			
۹/۸	۶۹۸۱	۸/۴	۶۷۹۲	۶۳۵۶	شلتوک طارم
-۱۰۰	۰	-۸۹/۵	۱۴۴	۶۰۰	شلتوک شیرودی
۱۳/۳	۱۳۲۵	۲۱/۷	۱۳۴۶	۱۱۷۰	گندم
۱۳/۰	۳۶۲	۸/۸	۳۴۱	۳۲۰	کلزا
-۱۹/۲	۱۰۵	۳/۹	۱۵۰	۱۳۰	سویا
-۶۹/۸	۸۵	-۶۹/۸	۸۵	۲۸۱/۷	جو
۰/۰	۸۸۵۷/۷	۰/۰	۸۸۵۷/۷	۸۸۵۷/۷	سطح کشت کل (هکتار)
۲/۰	۱۰۱۲۱	۱/۱	۱۰۰۳۴	۹۹۲۲	سود ناخالص (میلیارد ریال)
-۴/۸	۳۶/۲۵	-۳/۶	۳۶/۷۳	۳۸/۰۸	تولید کل (هزار تن)
۸/۰	۴۰۸/۰۶	۸/۰	۴۰۸/۰۶	۳۷۷/۸۴	روغن قابل استخراج (تن)
۲/۹	۹۱/۶۴	۲/۷	۹۱/۴۹	۸۹/۱۰	کالری (میلیارد کیلو)
-۱/۱	۴/۰۴	-۱/۰	۴/۰۵	۴/۰۹	کل کود مصرفی (هزار تن)
۲/۶	۲/۰۹	۴/۵	۲/۱۳	۲/۰۳	کل مواد مغذی (هزار تن)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به مقایسه الگوی کشت بهینه در سناریوهای مورد بررسی با الگوی کشت فعلی، می‌توان گفت الگوی کشت بهینه به الگوی کشت فعلی نزدیک بوده و به عبارتی، کشاورزان بخش مورد بررسی تقریباً بهینه عمل می‌کنند. این نتیجه بیشتر از جنبه مصرف کود و دستیابی به سود است و تغییرات الگوی کشت بهینه نسبت به الگوی فعلی احتمالاً به دلیل لحاظ آرمان‌های تولید روغن و ریزمغذی‌ها بوده است.

در جدول ۳، میزان ریزمغذی‌های مورد بررسی بر اساس الگوی کشت فعلی و الگوی کشت حاصل از مدل چندهدفه آرمانی در سناریوهای وزنی ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در سناریوی اول که وزن ۵۰ درصدی برای سود ناخالص لحاظ شده است، تولید پروتئین، پتاسیم و آهن حدود ۴/۸، ۱ و ۰/۷ درصد در الگوی چندهدفه آرمانی نسبت به الگوی کشت فعلی افزایش یافته شده

معرفی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای.....

است در حالی که کلسیم و منیزیم به ترتیب حدود ۱ و ۰/۴ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی کاهش یافته‌اند.

در سناریوی دوم، مشاهده می‌شود که اختصاص وزن ۷۵ درصدی برای سود ناخالص، اثر محسوسی بر میزان تولید ریزمغذی‌ها داشته است به گونه‌ای که تنها تولید پروتئین، حدود ۳ درصد در الگوی چندهدفه آرمانی نسبت به الگوی کشت فعلی افزایش یافته شده است در حالی که کلسیم، منیزیم، پتاسیم و آهن به ترتیب حدود ۵، ۲/۸، ۲/۶ و ۱/۷ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی کاهش یافته‌اند.

جدول ۳- ریزمغذی‌های تولیدی در الگوی کشت فعلی و چندهدفه آرمانی

ریزمغذی‌ها	الگوی کشت فعلی	الگوی کشت چندهدفه آرمانی	
		سناریوی اول وزن	سناریوی دوم وزن
پروتئین (تن)	۱۹۰۰/۳۲	۱۹۹۱/۵ (۴/۸)	۱۹۵۷/۵ (۳)
کلسیم (تن)	۱۹/۶۱	۱۹/۴۱ (-۱)	۱۸/۶ (-۵)
منیزیم (تن)	۳۲/۹۹	۳۲/۸۵ (-۰/۴)	۳۲/۰ (-۲/۸)
پتاسیم (تن)	۸۱/۰۳	۸۱/۸۴ (۱)	۷۸/۹ (-۲/۶)
آهن (تن)	۰/۱۷۷	۰/۱۷۹ (۰/۷)	۰/۱۷۴ (-۱/۷)

* اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده درصد تغییرات مقدار ریزمغذی‌های تولیدی نسبت به الگوی کشت فعلی می‌باشند.
مأخذ: یافته‌های تحقیق

در جدول ۴، آرمان‌های مورد بررسی و انحرافات منفی و مثبت آرمان‌ها ارائه شده است. بر اساس نتایج در سناریوی اول، آرمان‌های افزایش دو درصدی سود نسبت به الگوی کشت فعلی، افزایش ۵ درصدی تولید نسبت به الگوی کشت فعلی و افزایش یک درصدی کلسیم، منیزیم و آهن نسبت به الگوی کشت فعلی محقق نشده است و سایر آرمان‌ها محقق شده‌اند. به عبارتی، امکان محقق شدن تمامی اهداف به صورت توأم میسر نبوده است که حاکی از آن است که اهداف مدنظر متضاد می‌باشند. به عنوان مثال برای داشتن کالری بیشتر، باید از بخشی از سود را صرف نظر نمود و یا برای داشتن تولید بیشتر، باید کود بیشتری مصرف کرد که با واقعیت نیز سازگار است.

البته محقق نشدن برخی آرمان‌ها مانند آرمان سود و تولید آهن، به این معنی نیست که وضعیت این متغیرها نسبت به الگوی کشت فعلی بدتر شده است بلکه بر اساس نتایج، این متغیرها نسبت به الگوی کشت فعلی به ترتیب حدود ۱/۳ درصد و ۰/۷ درصد بهبود یافته‌است اما بهبود به ترتیب دو و یک درصدی آن‌ها محقق نشده است.

با دادن وزن ۷۵ درصدی به سود ناخالص، آرمان افزایش ۲ درصدی سود محقق شده است. ولی در مقابل، آرمان افزایش یک درصدی پتاسیم، محقق نشده است. به عبارتی تحقق آرمان سود منجر به عدم تحقق ریزمغذی پتاسیم شده است.

جدول ۴- انحرافات مثبت و منفی الگوهای چندهدفه آرمانی

آرمان‌ها	سناریوی اول وزن			سناریوی دوم وزن		
	انحراف منفی	انحراف مثبت	تحقق یا عدم تحقق آرمان	انحراف منفی	انحراف مثبت	تحقق یا عدم تحقق آرمان
افزایش ۲ درصدی سود نسبت به شرایط فعلی (میلیارد ریال)	۸۶/۵۶	۰	×	۰	۰	✓
افزایش ۵ درصدی تولید نسبت به شرایط فعلی (هزار تن)	۳/۲۶	۰	×	۳/۷۴	۰	×
افزایش ۸ درصدی استخراج روغن نسبت به شرایط فعلی (تن)	۰	۰	✓	۰	۰	✓
افزایش ۱ درصدی تولید کالری نسبت به شرایط فعلی (میلیارد کیلو)	۰	۱/۵	✓	۰	۱/۶۵	✓
کاهش ۱ درصدی مصرف کود نسبت به شرایط فعلی (هزار تن)	۰	۰	✓	۰	۳/۰۴	✓
افزایش ۱ درصدی تولید پروتئین نسبت به شرایط فعلی (تن)	۰	۷۲/۲۰	✓	۰	۳۸/۲۲	✓
افزایش ۱ درصدی تولید کلسیم نسبت به شرایط فعلی (تن)	۰/۳۹	۰	×	۱/۱۸	۰	×
افزایش ۱ درصدی تولید منیزیم نسبت به شرایط فعلی (تن)	۰/۴۷	۰	×	۱/۲۷	۰	×
افزایش ۱ درصدی تولید پتاسیم نسبت به شرایط فعلی (تن)	۰	۰	✓	۲/۸۹	۰	×
افزایش ۱ درصدی تولید آهن نسبت به شرایط فعلی (تن)	۰/۵۱	۰	×	۴/۸۰	۰	×

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که در بخش رودپی شهرستان ساری، الگوی کشت موجود منطقه، الگویی بهینه در راستای اهداف حداکثرسازی سود، حداکثرسازی کالری و ریزمغذی‌ها، حداکثرسازی تولید روغن و حداقل‌سازی مصرف کود شیمیایی نبوده ولی به الگوی کشت بهینه نزدیک است. بیشترین درصد تغییرات کشت مربوط به محصولات جو و شلتوک شیروودی بوده است که با اختصاص وزن بالاتر به سود، کشت سویا نیز تغییرات محسوسی یافته است. با توجه به اینکه یکی از آرمان‌های مهم در این مطالعه، افزایش ۸ درصدی تولید روغن بوده است، بر اساس نتایج، با تغییر سهم کشت کلزا و سویا می‌توان به این آرمان دست یافت. بر اساس نتایج، با پیروی از الگوی کشت بهینه چندهدفه آرمانی، با اختصاص سهم زیادی از زمین شلتوک شیروودی به شلتوک طارم و سویا در محصولات بهاره و اختصاص بخشی از سهم جو به گندم و کلزا در محصولات پاییزه، می‌توان نسبت به شرایط فعلی به سود بالاتر، کالری بالاتر و تولید روغن بیشتر دست یافت و از سوی دیگر، کود کمتری مصرف نمود. به عبارتی، شاخص‌های محیط زیستی، اجتماعی و اقتصادی بهبود یافته است که با مطالعاتی همچون آهنی و همکاران (Ahani et al., 2023)، نورپوری و همکاران (Nourpouri et al., 2023)، لی و همکاران (Li et al., 2019) و زو و همکاران (Zuo et al., 2021) مطابقت دارد. تغییر میزان کشت محصولات در مدل پیشنهادی منجر به تغییر تولید غذا و ریزمغذی‌ها شده است. بر اساس نتایج سناریوی اول تحقیق، با اینکه تولید کل محصولات کاهش یافته است اما تولید اکثر ریزمغذی‌های مورد بررسی همچون پروتئین، پتاسیم و آهن حدود ۴/۸، ۱ و ۰/۷ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی افزایش یافته شده است که می‌تواند حاکی از بهبود امنیت غذایی باشد. از سوی دیگر، با ترکیب کشت شلتوک طارم (۷۷ درصد)، گندم (۱۵ درصد)، کلزا (۴ درصد)، سویا (۲ درصد)، شلتوک شیروودی (۱ درصد) و جو (۱ درصد)، میزان کالری تولیدی نسبت به الگوی کشت فعلی، ۲/۷ درصد افزایش یافته است که این نتیجه نیز مؤید بهبود امنیت غذایی است که با نتایج مطالعه گودرزی و همکاران (Goodarzi et al., 2023) و بدیع برزین و همکاران (Badih Barzin et al., 2022) هم‌راستا بوده ولی با نتیجه مطالعه آهنی و همکاران (Ahani et al., 2023) و نورپوری و همکاران (Nourpouri et al., 2023) مطابقت ندارد. همچنین در سناریوی دوم تحقیق نیز میزان کالری نسبت به الگوی فعلی حدود ۲/۹ درصد افزایش یافته است که می‌تواند نشانگر بهبود امنیت غذایی باشد.

با توجه به نتایج این تحقیق، افزایش سطح کشت محصول شلتوک طارم و گندم نسبت به سایر محصولات می‌تواند در راستای تأمین غذای جامعه باشد. بنابراین توسعه کشت این محصولات به

لحاظ نقش ویژه آن‌ها در تأمین غذای موردنیاز جامعه، در بخش رودپی شهرستان ساری توصیه می‌شود. از سوی دیگر، توسعه کشت دانه‌های روغنی، مستلزم صرف نظر کردن از بخشی سود می‌گردد که لازم است در راستای توسعه کشت این محصولات و کاهش وابستگی به واردات آن، مشوق‌ها و یارانه‌هایی جهت به صرفه نمودن تولید این محصولات توسط دولت صورت گیرد.

همان‌گونه که در قسمت مواد و روش‌ها بیان شد، برخی پارامترها از جمله میزان کالری و انواع مواد مغذی موجود در هر کیلو از محصول به صورت یک رابطه تصادفی در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه اکثر پارامترهای مورد نیاز در مسائل بهینه‌سازی الگوی کشت، متغیری قطعی نمی‌باشند از این‌رو پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، علاوه بر پارامترهای فوق‌الذکر، سایر پارامترها نیز به صورت غیرقطعی مورد بررسی قرار گیرند. همچنین در مطالعه حاضر صرفاً یک بخش از شهرستان به عنوان مورد مطالعه در نظر گرفته شده است و مواردی همچون واردات و صادرات محصولات در مدل پژوهش حاضر لحاظ نگردید. در راستای تأمین امنیت غذایی پیشنهاد می‌شود مدل‌های فرمانطقه‌ای که در آن به طور همزمان الگوی بهینه تولید و تجارت محصولات محاسبه می‌شود، طراحی و مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

1. Aalinejad, M., Joulaei, R., & Shirani Bidabadi, F. (2015). Determining the optimal crop cultivation pattern in Babol city using linear programming. Third National Conference of Student Scientific Associations in Agriculture and Natural Resources, Karaj, Available at <https://civilica.com/doc/457439>. [In Persian]
2. Afshar zadeh, N. & Papzan, A. (2011). Women's indigenous knowledge in process of sustainable agricultural development. *Journal of Women in Development and Policy*, 9(4), 115-133. [In Persian]
3. Ahani, A., Ziaee, S., Mohammadi, H., Mardani Najafabadi, M. & Mirzaei, A. (2023). Proposing the structure of a multi-objective mathematical programming model with water-food-energy nexus approach for crop production. *Journal of Agricultural Economics & Development*, 37(1), 83-102. <https://doi.org/10.22067/jead.2022.77691.1147> [In Persian]

4. Badih Barzin, H., Hosseini, S.M., Hashmi-Tabar, M. & Mardani Najafabadi, M. (2022). The application of the water-energy-food Nexus approach in the planning of cultivation in the Sistan basin. *Journal of Agricultural Production and Marketing Economics*, 1(1), 149-168. [In Persian]
5. Bagheri, M., Haddad, H., & Shirvanian, A. (2019). Investigating the relationship between food security and income poverty in rural areas of Guilan province, case study: Amlash County. *Journal of Village and Development*, 22(88), 157-180. DOI: 10.30490/RVT.2020.293733.1076. [In Persian]
6. Goodarzi, M., Ghadbeiklou, J., Ghadiri, A. & Khodshenas, M.A. (2023). Determining the Optimal Cropping Pattern Based on the Multiple Objectives of Water, Energy, Food and Economic Profit Indices (Case Study: Markazi Province - Farahan Plain). *Journal of Water and Soil*, 37(2), 187-202. <http://doi.org/10.22067/jsw.2023.79946.1233> [In Persian]
7. Gunes, M., & Umarosman, N. (2005). Fuzzy goal programming approach on computation of the fuzzy arithmetic mean. *Mathematical and Computational Applications*, 10(2), 211-220. DOI: 10.3390/mca10020211
8. Hashemi Tabar M., Akbari, A. & Derini, M. (2018). Analysis of factors affecting food security in rural areas in the south of Kerman province. *Space Economy and Rural Development*. 2(24), 1-19. [In Persian]
9. Hertel, T. (2011). The global supply and demand for agricultural land in 2050: a perfect storm in the making? *American Journal of Agricultural Economics*, 93(2), 259-275. DOI: 10.1093/ajae/aaq189.
10. Hoddinott, J. & Yohannes, Y. (2002). Dietary Diversity as a Household Food Security Indicator. Washington, D.C.: Food and Nutrition Technical Assistance Project. Academy for Educational Development.
11. Li, M., Fu, Q., Singh, V. P., Liu, D., Li, T., & Li, J. (2020). Sustainable management of land, water, and fertilizer for rice production considering footprint family assessment in a random environment. *Journal of Cleaner Production*, 258(2), 120785. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120785>

12. Mardani Najafabadi, M., Abdeshahi, A. & 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. DOR: 20.1001.1.24764310.1399.30.1.15.6 [In Persian]
13. Mohammadi, M. Mohammadi, H. & Javid, S. (2023). Investigating the factors affecting the type and amount of edible oil consumed by households in Mashhad County of Iran. *Agricultural Economics and Development*, 30(3), 153-174. DOI: 10.30490/AEAD.2023.356344.1387 [In Persian]
14. Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Jafari, A., & Mohammadi, A. (2011). Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Journal of Energy*, 36(5), 2765-2772. [In Persian]
15. Nadimi, N. (2011). Investigating food security in Iran and its influencing factors. Master's thesis, Islamic Azad University, Central Tehran Branch. [In Persian]
16. Nourpouri, E., Moosavi, S.N. & Moghaddasi, R. (2024). Modifying cropping pattern for the sustainable development of agriculture in Shiraz County based on water-food-environment nexus. *Journal of Agricultural Economics*, 18(1), 121-150. Doi: 10.22034/iaes.2023.2006473.2004 [In Persian]
17. Otieno, F. & Adeyemo, J. (2019). Multi-objective cropping pattern in the Vaalharts irrigation scheme. *International Journal of Irrigation and Water Management*, 6(4), 1-9. DOI: 10.1016/j.energy.2011.02.016
18. Porzand, F. & Bakshudeh, M. (2012). Assessing the sustainability of agriculture in Fars province using consensus planning approach, *Journal of Agricultural Economics Research*, 4(1), 1-26. DOR: 20.1001.1.20086407.1391.4.13.1.1 [In Persian]
19. Saiban, F., Abdshahi, A. & Mardani, M. (2017). Determining the optimal model of agricultural crop cultivation with the aim of maximizing the gross profit of farmers in Behbahan city. *specialized scientific quarterly of entrepreneurial research approaches in agriculture*, 4, 53-63. [In Persian]

20. Salari Berdesiri, M. (2021). Compilation of the optimal pattern of water security and the quantitative dimension of food security in different climate zones. Doctoral dissertation. Shahid Bahonar University of Kerman, Faculty of Agriculture. [In Persian]
21. Shirani Bidabadi, F., Darijani, A. & Joolaei, R. (2012). Application of Coping Strategy (CSI) in estimating food security status among service workers of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. *Research Journal*, 9, 10-17. [In Persian]
22. Singh, A. (2022). Judicious and optimal use of water and land resources for long-term agricultural sustainability. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 13, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200067>
23. Wineman, A. & Crawford, E. (2014). Climate change and crop choice in Zambia: A mathematical programming approach. Selected Paper prepared for presentation at the Agricultural & Applied Economics Association's, Minneapolis, July 27-29. DOI: 10.22004/ag.econ.170646
24. Zarei, A. (2015). Factors affecting the development of oilseed cultivation among farmers, a case study: Marvdasht city. Master's thesis, Islamic Azad University of Marvdasht. [In Persian]
25. Zuo, Q., Qingsong, W., YU. Lie, P., Yongping, L. & Yurui, F. (2021). Optimization of uncertain agricultural management considering the framework of water, energy and food. *Agricultural Water Management*. 253, 209-224. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.106907.

