Journal of Agricultural Economics Research

Spring 2023. Vol 15. Issue 1

ISSN (Print): 2008-6407 - ISSN (Online): 2423-7248

Research Paper

Developing environmentally friendly cropping pattern with a multi-objective planning approach in Sari County

Ghasem Layani[1], Abdullah Darzi-Naftchali[2], Ali Motevali[3], Mostafa Bagherian- Jelodar[4], Mahdi Keikha[5], Mehdi Nadi[6], Ali Asghar Firouzjaeian[7], Hamid Amirnejad[8], Hemattollah Pirdashti[9]

1. Postdoctoral Researcher, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University and Assistant Professor of Management and Rural Development Department, Shahrekord University (Ghasem.layani@sku.ac.ir)
2. Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
3. Department of Mechanics of Biosystem Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
4. Department of Social Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran.
5. Water Engineering Department, University of Zabol, Zabol, Iran.
6. Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
7. Department of Social Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.
8. Department of Agricultural Economics, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
9. Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Received: 2021/8/3
Accepted: 2023/2/27
PP: 79-96

Use your device to scan and read the article online

DOI: 10.30495/JAE.2023.28625.2277

Keywords:
Life Cycle Assessment, Cultivation Pattern, Multi-Objective Planning, Sustainability

Abstract

Introduction: Due to the negative effects of agricultural production activities on the environment, especially water and soil pollution, one of the most important decisions in the agricultural sector is the optimal allocation of resources. This decision should be in such a way that while maximizing the profit of farmers, it will result in less environmental effects. This action is often done by determining the optimal cropping pattern (CP). In this research, by quantifying the economic, social and environmental effects, a compatible CP with agricultural resources was presented by using a multi-objective planning model.

Materials and Methods: The social effects of different agricultural crops were calculated using various indicators such as social solidarity, social security, participation and quality of life through interviews with farmers. The environmental effects and economic efficiency of the CP were also considered through the concept of life cycle assessment (LCA) and gross margin per ha, respectively. Further, by calculating socio-economic and environmental indicators, the optimal CP was formulated by developing a multi-objective function based on maximizing profit, reducing water and fertilizer consumption, reducing negative environmental effects of production and improving social indicators. In order to solve the multiple programming model, the method of weighted LP-metric model was used. The information required in this study included information on the production pattern, consumption of inputs, price and yeild of major agricultural crops of *Sari County*.

Findings: The results showed that considering the social indicators, the least attention of the farmers was related to corn and onion, and the five priority crops were identified as wheat, cotton, lentils, rice and canola, respectively. The results of LCA showed that the cultivation of tobacco, canola and corn in this city have the most negative environmental effects. In the optimal CP by combining economic, social and environmental goals, alfalfa, cotton and corn were removed from the stydy area, and the cultivated area of cucumber and clover showed positive changes compared to the current pattern. Also, the cultivated area of the cereal decreaseed in the areaChanges in the cultivated area of barley were predicted more than wheat and rice. The total cultivated area reduced by 15%, resulting in 12.91% and 14.46% reduction in water and fertilizer consumption, respectively. In addition, the efficiency of the program in the studied area decreased by 12.97%.

Conclusion: The development of environmental goals in the implementation of CP programs requires that policymakers consider appropriate economic incentives for farmers. Therefore, policy makers should find suitable solutions to make the farmers to follow the proposed CP.

Citation: Layani, G.H., Darzi- Naftchali, A., Motevali, A., Bagherian-Jelodar, M., Keikha, M., Nade, M., Firouzjaeian, A., Amirnejad, H., Pirdashti, H. Developing environmentally friendly cropping pattern with a multi-objective planning approach in Sari County: Journal of Agricultural Economics Research. 2023; 15(1):79-96

⁎**Corresponding author:** Ghasem Layani

Address: Postdoctoral Researcher of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University-Assistant Professor of Management and Rural Development Department, Shahrekord University

Email: Ghasem.layani@sku.ac.ir

Extended Abstract

Introduction:

The agricultural sector plays an essential role in developing countries economic growth and development (19). The agricultural sector is always more closely related to the environment than other economic sectors. The adverse effects of using chemical inputs on the one hand and the need to provide food security, on the other hand, caused serious attention to the issue of sustainability. Allocation of production factors between different agricultural activities in terms of socio-economic and environmental considerations can help to achieve agricultural sustainability. In general, concerns about the effect of the agricultural system on the environment in the world increased. Due to the excessive use of fertilizers and chemical poisons and exploitation of water resources, excessive pressure was placed on the environment (13).

Crop optimization has received extensive attention in recent years and mathematical models have been developed to determine the optimal use of the available resources for maximizing the net benefits subjected to some constraints (20). In this study, an attempt was made to determine the optimal cropping pattern (CP) in Sari County, Mazandaran province of Iran, where managing CP is seriously challenging due to periodic drought. Unlike previous studies, this study tried to pay attention to social considerations along with economic and environmental considerations in modeling. It is hoped that this research will contribute to a deeper understanding of determining CP in this region.

Materials and Methods

As mentioned, there are several goals pursued by users as well as policymakers, which of course are not necessarily in line with each other. Therefore, a multi-objective approach should be used for planning and decision making. In general, multi-objective optimization problems can be defined as the following equations (19):

$$Minimize: \quad f(X) \qquad (1)$$

$$Subject\ to: \quad g_i(X) \le 0 \quad i = 1,2,...,m \qquad (2)$$

$$h_j(X) = 0 \quad j = 1,2,...,l \qquad (3)$$

$$X_{\inf} \le X \le X_{\sup}$$

Where, $f(X) = f_1, f_2, ..., f_k^{\ T} : X \to R^k$ is a vector of the value of the objective function that is minimized. X is the vector of decision variables in the decision space R^k. $X_{\inf}$ and $X_{\sup}$ the lower and upper limits are the decision variables. $g_i(X)$ is the i-*th* unequal constraint and $h_j(X)$ is the j-*th* equal constraint between the constraints.

Some researchers have tried to present and classify different methods for solving multi-objective planning problems with different considerations. Hwang and Masud (12) and then Miettinen (21) suggested *non-preferred methods*, a *priori-methods*, *posteriori-methods*, and *interactive methods*, depending on how decision-making preferences were expressed. In the first method, decision maker preferences are not considered in the modeling process. The problem can be solved in a simple way and the resulting solution is presented to the decision maker who can accept or reject it. In a *priori methods*, the expectations and opinions of the decision maker are considered before the solution process. This method requires the decision maker to be aware of the priority of each goal of the set of goals in the problem of combined optimization. In *posterior methods*, no preference is taken from the decision maker. After producing the Pareto set, the decision maker selects a solution from the set of possible answers. Finally, in *interactive preferential methods*, decision-making preferences are used continuously throughout the process, and as the process continues, these preferences are adjusted to goals (26).

One of the most comprehensive indicators for assessing the environmental sustainability of cropping systems is the concept of life cycle assessment (LCA) based on the ISO 14040 standard. LCA is a comprehensive methodology that seeks to quantify the potential environmental impacts related to both inputs and outputs of a given product or service along its life cycle (24). LCA studies the environmental aspects and potential impacts throughout a product's life cycle (i.e. cradle-to-grave) from raw materials acquisition through production, use and disposal.

Findings

The results show the reduction of the area under cultivation of crops in order to achieve economic, environmental and social goals. By changing the CP towards the suggested pattern for different regions of this county, an average decrease of 12.97% in profit is predicted. But this change is an effective step in controlling the consumption of water, chemical fertilizers and chemical poisons. The optimal CP, emphasizing on economic considerations, can reduce the consumption of water and chemical fertilizers despite the increase in farmers' profit. The greatest reduction in the consumption of water, fertilizer and chemical pesticides was shown in the proposed CP with environmental considerations. Under these conditions, with a decrease of 15.52% in the area of cultivated crops, the amount of water consumption in the agricultural sector was associated with a decrease of -13.95%. The cost of saving water

consumption in the investigated area is a 12.97 percent reduction in the planned efficiency. It seems that in order to compensate the loss resulting from the change of CP, it should be compensated through investment in off-farm employment.

The amount of change in planned yield as a result of the proposed CP with social considerations will be equal to 9.70%. The reduction of the cultivated area in this model led to a 13.8% decrease in the amount of agricultural water demand, a 2.62% decrease in the use of chemical fertilizers, and a 10.95% decrease in the use of chemical pesticides. Finally, the suggested CP under the conditions of combining economic, social and environmental goals was such that it can help to save 12.91% of water consumption. Meanwhile, the rate of change in the program yield in the study area was associated with a decrease of 12.97%.

Discussion

Considering the expected negative effects of the reduction of the cultivated area in the region and its effects on the production and income of farmers, the development of non-agricultural activities and small conversion industries in the villages in order to compensate for the damages caused by possible variability can be effective. The reduction of the rice cultivated area in the proposed model indicates that crops with high profit can create significant environmental effects. Therefore, only paying attention to the economic goals in the design of the CP increases the consumption of pesticides and chemical fertilizers. In the optimal model with the integration of goals, more cultivated area was allocated to cucumber, due to its good profitability, than the basic model. Also, the area under cultivation of tomatoes and potatoes experienced low changes. In the cereals group, the cultivated area of wheat and barley decreased compared to the current pattern. However, changes in the area under wheat cultivation evaluated more than barley. Comparison of gross yield and consumption of inputs for these two crops indicates that although the gross yield of wheat is higher than that of barley, the consumption of water and chemical fertilizer inputs of barley is significantly lower than that of wheat. However, these two crops are considered important from the view point of the cultivated area. In general, the results showed that corn, cotton, and alfalfa are out of the suggested CP and most of the studied crops will experience a decrease in the cultivated area. It seems that the performance and profit of high input systems were not able to compensate the environmental effects on the quality of the ecosystem.

Conclusion

Planning crop production is a very important issue from economically and resource management viewpoints, because a farmer allocates his limited resources to activities with the highest economic return rate. The purpose of this study was to present a CP with the approach of sustainable agricultural development using environmental, social and economic sustainability indicators. The results showed that the current CP, although has some social and economic advantages, is not environmentally sustainable. In other words, farmers generally pay attention to short-term economic benefits, which results in depriving them of opportunities for permanent and sustainable exploitation.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی

بهار۱۴۰۲.دوره ۱۵. شماره ۱

شاپا چاپی: ۶۴۰۷ -۲۰۰۸ – شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۲۴۸

مقاله پژوهشی

تدوین الگوی کشت سازگار با محیطزیست با رویکرد برنامه‌ریزی چندهدفه در شهرستان ساری

قاسم لیانی[۱]، عبداله درزی نفت‌چالی[۲]، علی متولی[۳]، مصطفی باقریان[۴]، مهدی کیخا[۵]، مهدی نادی[۶]، علی‌اصغر فیروزجاییان[۷]، حمید امیرنژاد[۸]، همت‌اله پیردشتی[۹]

۱. پژوهشگر پسادکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و استادیار گروه مدیریت و توسعه روستایی دانشگاه شهرکرد

۲. گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳. گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴. گروه جامعه شناسی، دانشگاه پیام نور

۵. گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل

۶. گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۷. گروه جامعه شناسی، دانشگاه مازندران

۸. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۹. گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۱۲

تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۱۲/۸

شماره صفحات:۹۶-۷۹

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI:
10.30495/JAE.2023.28625.2277

واژه‌های کلیدی:
ارزیابی چرخه حیات، الگوی کشت، برنامه‌ریزی چندهدفه، پایداری.

چکیده

مقدمه و هدف: به دلیل اثرات سوء فعالیت‌های تولیدی بخش کشاورزی بر محیطزیست به‌ویژه آلودگی آب‌وخاک، یکی از مهم‌ترین تصمیمات در بخش کشاورزی تخصیص بهینه منابع است. این تصمیم باید به‌نحوی باشد که ضمن حداکثر سازی سود زارعین، اثرات زیست‌محیطی کمتری را نیز در پی داشته باشد. این عمل اغلب از طریق تعیین الگوی بهینه کشت صورت می‌گیرد. در این تحقیق با کمی سازی اثرات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، الگوی کشت سازگار با منابع کشاورزی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه ارایه شد.

مواد و روش‌ها: اثرات اجتماعی محصولات مختلف زراعی با استفاده از شاخص‌هایی همبستگی اجتماعی، امنیت اجتماعی، مشارکت و کیفیت زندگی از طریق مصاحبه با زارعین محاسبه شد. اثرات زیست‌محیطی و کارایی اقتصادی سیستم کشت نیز به ترتیب از طریق مفهوم ارزیابی چرخه حیات (LCA) و بازده ناخالص در هر هکتار ارزیابی شد. در ادامه با محاسبه شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی، الگوی کشت بهینه با توسعه یک تابع چندهدفه مبتنی بر حداکثر کردن سود، کاهش مصرف آب و کود، کاهش آثار منفی زیست‌محیطی تولید و بهبود شاخص‌های اجتماعی تدوین شد. به‌منظور حل مدل برنامه‌ریزی چندهدفه از روش معیارهای وزنی استفاده شد. اطلاعات موردنیاز در این مطالعه شامل اطلاعات الگوی تولید، مصرف نهاده‌ها، قیمت و عملکرد محصولات عمده زراعی شهرستان ساری بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با ملاحظه شاخص‌های اجتماعی، کمترین توجه کشاورزان مربوط به ذرت و پیاز بوده و پنج محصول اولویت‌دار ازنظر آن‌ها به ترتیب گندم، پنبه، عدس، برنج و کلزا شناسایی شدند. نتایج LCA نیز نشان داد کشت محصولاتی نظیر تنباکو، کلزا و ذرت در این شهرستان بیشترین اثرات منفی زیست‌محیطی را داشتند. در الگوی کشت بهینه با تلفیق اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، یونجه، پنبه و ذرت از الگوی کشت منطقه خارج و سطح زیر کشت خیار، شبدر افزایش یافت. همچنین، تمامی محصولات گروه غلات با کاهش سطح زیر کشت روبرو بوده و در این بین تغییرات سطح زیر کشت جو بیش از گندم و شلتوک پیش‌بینی شد. مجموع سطح زیر کشت با کاهش ۱۵ درصدی همراه بوده به‌گونه‌ای که می‌تواند به‌صرفه‌جویی ۱۲/۹۱ درصدی مصرف آب و ۱۴/۴۶ درصد مصرف کود کمک نماید. علاوه بر این، بازده برنامه‌ای در منطقه مورد مطالعه ۱۲/۹۷ درصد کاهش یافت.

بحث و نتیجه‌گیری: توسعه اهداف زیست‌محیطی در اجرای برنامه‌های الگوی کشت، مستلزم آن است که سیاستگذاران مشوق‌های اقتصادی مناسبی برای زارعین در نظر بگیرند. لذا سیاست‌گذاران باید راه‌حل‌های مناسبی برای متمایل کردن زارعین به الگوی پیشنهادی پیدا کنند.

* **نویسنده مسئول:** قاسم لیانی

نشانی: پژوهشگر پسادکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (مقاله مورد نظر مستخرج از طرح تحقیقاتی با حمایت مالی سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران تحت قرار داد شماره ۹۸/۱۲۴۲۱۱/ب می باشد).

پست الکترونیکی: Ghasem.layani@sku.ac.ir

مقدمه

بخش کشاورزی نقش مهمی در اقتصاد ملی، اشتغال‌زایی و تأمین امنیت غذایی جوامع مختلف دارد. بنابراین لازم است از منابع و ابزارهای تولید در این بخش به بهترین نحو ممکن استفاده شود تا ضمن کاهش مصرف این منابع، سودآوری و رفاه کشاورزان نیز افزایش یابد. از طرفی محدودیت منابع در بخش کشاورزی و نیاز به افزایش تولید محصولات زراعی برای پاسخگویی به تقاضای فزاینده ناشی از رشد جمعیت از یک‌سو و نیز ضرورت مبارزه مدیریت‌شده با آفات از سوی دیگر، سبب فشار بیش‌ازاندازه بر منابع تولید بخش کشاورزی شده است (۱۱). به‌طورکلی، نگرانی‌ها در خصوص اثر سیستم کشاورزی بر محیطزیست در جهان افزایش‌یافته (۲) و مطالعات متعدد به دنبال آن هستند تا منافع و زیان‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی را به‌صورت کمّی بیان کنند. در حال حاضر مهم‌ترین جنبه‌های زیست‌محیطی نگران‌کننده مرتبط با این فعالیت‌ها استفاده از نهاده‌های تهیه‌شده از بخش غیر کشاورزی همانند کودها و سموم شیمیایی و همچنین کاهش سطح آب‌های زیرزمینی می‌باشد (۲۲) چراکه به دلیل اتکای بی‌رویه بر مصرف نهاده‌ها به‌ویژه، کودها و سموم شیمیایی و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب، فشار بی‌رویه‌ای بر محیطزیست وارد شده است (۳) و پایداری کشاورزی را به خطر انداخته است. بنابراین جهت دستیابی به پایداری در بخش کشاورزی لازم است تا منابع تولید ازجمله آب و زمین به بهترین وجه ممکن استفاده شوند تا ضمن کاهش مصرف منابع، سودآوری و رفاه کشاورزان افزایش یابد (۱۹).

ارزشیابی محتوای برنامه‌های توسعه نشان می‌دهد که هرچند وضعیت کلی محتوای برنامه‌ها حاکی از روند رو به رشد توجه و تأکید بر مقوله توسعه پایدار کشاورزی است اما بر مبنای اصول یکپارچه نگری در محتوای برنامه‌های توسعه، به‌طور همسان و برابر ابعاد سازنده توسعه پایدار کشاورزی موردتوجه واقع نشده است به‌گونه‌ای که توجه و تأکید بر ابعاد اقتصادی و زیست‌محیطی بیش از بعد اجتماعی توسعه پایدار می‌باشد. ازاین‌رو، در صورت تداوم این جریان، امکان تحقق مطلوب و همه‌جانبه توسعه پایدار کشاورزی دور از دسترس می‌نماید.

یکی از راه‌های تحقق کشاورزی پایدار، تغییر الگوی کشت موجود و ارایه الگوی کشت بهینه است. این مهم به‌صورت مختلف در برنامه‌های کلان کشور مورد تأکید قرار گرفته است. از اهداف برنامه پنجساله پنجم کشور، کاهش هفت درصدی مصرف کودهای شیمیایی و کاهش یک درصدی مصرف سموم در راستای حفاظت از محیطزیست و کاهش مصرف آب برای حفاظت از منابع آبی کمیاب و توسعه پایدار کشاورزی بود. بند ث ماده ۳۵ قانون برنامه ششم توسعه نیز دولت را مکلف نمود به‌منظور مقابله با بحران کم‌آبی، رهاسازی حقآبه‌های زیست‌محیطی برای پایداری سرزمین، پایداری و افزایش تولید در بخش کشاورزی، تعادل‌بخشی به سفره‌های زیرزمینی و ارتقای بهره‌وری و جبران تراز آب، برنامه الگوی کشت را با تأکید بر محصولات راهبردی، طراحی و تا انتهای برنامه، اجرایی کند.

به‌طورکلی تحقق بسیاری از اهداف در این برنامه‌ها از جمله تأمین امنیت غذایی با تکیه بر تولید از منابع داخلی و نیل به خودکفایی در محصولات اساسی، ارتقاء سطح سلامت مواد غذایی، اصلاح و بهینه کردن الگوی مصرف، حمایت مؤثر از تولید و صادرات با توجه به مزیت‌های نسبی، ارتقا ضریب بهره‌وری از آب در تولید محصولات کشاورزی و استفاده علمی و بهره‌برداری بهینه از سایر نهاده‌های تولید و حمایت موثر از سازمان‌دهی فرآیند تولید و اصلاح نظام بازار محصولات کشاورزی در گرو برنامه‌ریزی الگوی بهینه کشت است که بتواند ملاحظات اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را هم‌زمان موردتوجه قرار دهد.

با توجه به تقاضای در حال افزایش محصولات کشاورزی و محدودیت منابع، راهکارهایی برای بهبود بهره‌برداری از منابع از دیرباز موردتوجه تحلیل‌گران بوده است. ازجمله روش‌های مورد استفاده، تکنیک‌های مشتمل بر تحلیل‌های نهایی مبتنی بر قوانین ریاضی بود (۱۸). با توجه به اثربخشی و مفید بودن این تکنیک‌ها در مدیریت و تخصیص منابع، توجه بیشتر به این تکنیک‌ها نیز منجر به تکمیل روش‌شناسی و بهبود ابزارهای مدیریت منابع شد (۵). ازآنجاکه عوامل مؤثر بر سودآوری واحدهای کشاورزی متعدد می‌باشد لذا سعی می‌شود با استفاده از این مدل‌ها که در واقع نمایش ساده جهان واقعی هستند، ویژگی‌های تصمیم یا مسایله موردنظر از طریق تجرید ریاضی ارایه شود (۲۲). به‌عبارت‌دیگر، ازآنجاکه در دنیای حقیقی حل بسیاری از مسایل مانند مدیریت در مصرف منابع در کشاورزی، به بهینه‌سازی چندین هدف به‌طور توأم در یک‌زمان نیازمند است، بنابراین روش‌های برنامه‌ریزی چندهدفه اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۹).

ازجمله موارد کاربرد الگوهای برنامه‌ریزی چندهدفه، تعیین الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی مبتنی بر ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است. الگوی کشت به تعیین نظام کشت مبتنی بر بهره‌برداری بهینه از منابع و عوامل تولید (۱۹ و ۲۲)، متناسب با پتانسیل‌های منطقه‌ای (۱۶ و ۱۷)، مزیت اقتصادی (۱۹ و ۲۴) با رعایت اصول پایداری تولید محصولات کشاورزی (۲۲ و ۲۳) و ملاحظات محیطی (۷، ۹، ۲۰ و ۲۵) در

راستای سیاست‌های کلان کشور (۱۰) و تأمین امنیت غذایی (۱۶) می‌پردازد. به‌طور جزیی‌تر، توور–فچو (۲۷) در تحقیق خود از برنامه‌ریزی چندهدفه برای تجزیه و تحلیل سیاست‌های زیست‌محیطی در اسپانیا استفاده کرد. وی بیان کرد که این مدل ترکیبی است از روابط بین اثرات اقتصادی، اجتماعی، انرژی و زیست‌محیطی که به ارایه اطلاعات با ارزش برای سیاست‌گذاران به‌منظور بررسی اهداف مختلفی که برای رسیدن به توسعه پایدار لازم است منجر می‌شود. فتحی و زیبایی (۹)، با استفاده از برنامه–ریزی چندهدفه به تعیین الگوی کشت، استراتژی و روش آبیاری بهینه در جهت پایداری منابع آب فیروزآباد فارس پرداختند. بررسی‌های این تحقیق نشان داد که نتایج مطالعه حاضر می‌تواند به کشاورزان در انتخاب الگوی بهینه کشت، استراتژی و روش آبیاری، به‌گونه‌ای که درآمد زارعین و برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی همزمان بهینه گردند، کمک نماید. موسوی و اکبری (۲۴)، به بررسی الگوی کشت بهینه و تأثیر آن بر مدیریت منابع آبی در منطقه مرودشت با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی و خطی فازی پرداختند. در الگوی برنامه‌ریزی خطی فازی، سطح زیر کشت جو و چغندرقند نسبت به وضعیت موجود کاهش و در مورد الگوی برنامه‌ریزی آرمانی در مقایسه با وضع موجود، سطح زیر کشت گندم و جو افزایش و سطح زیر کشت دیگر فراورده‌ها کاهش یافت. میرزایی و همکاران (۲۲) به تعیین الگوهای کشت بهینه‌ی محصولات کشاورزی بخش مرکزی شهرستان سیرجان با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی به‌صورت جداگانه و همزمان پرداختند. در این مطالعه از مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه مقید تعمیم‌یافته (Augmented e-constraint) و روش TOPSIS استفاده شد. مرزبان و همکاران (۲۰) در مطالعه‌ای به بازطراحی الگوی کشت با رویکرد استفاده از ارزیابی چرخه حیات و برنامه‌ریزی چندهدفه در استان لرستان پرداختند. با توجه به یافته‌های این مطالعه، توجه به حفاظت از اکوسیستم در بهینه‌سازی الگوی کشت امری ضروری بوده و استفاده از مدل پیشنهادی می‌تواند علاوه بر استفاده بهینه از منابع، در راستای افزایش سود و کاهش اثرات زیست محیطی موثر باشد. جین و همکاران (۱۳) در مطالعه‌ای از یک الگوریتم ترکیبی بهینه‌سازی برای حل مسایل چندهدفه در تعیین الگوی کشت بهینه استفاده نمود. نتایج این مطالعه نشان داد با تأکید بر اهداف زیست‌محیطی مصرف کود شیمیایی در منطقه موردمطالعه کاهش می‌یابد. چن و همکاران (۴) تحت شرایط رشد جمعیت، ملاحظات اقتصادی و تغییرات اقلیم به تعیین الگوی کشت بهینه با رویکرد توسعه پایدار در کشاورزی پرداختند. نتایج نشان داد که با کاهش سطح زیر کشت برنج و سویا شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست–محیطی نسبت به شرایط فعلی ۱۰/۷ درصد افزایش می‌یابد. به‌عبارت‌دیگر ضمن حصول اطمینان از پایداری در محیطزیست، بهترین منافع اقتصادی نیز در دسترس خواهد بود.

بر اساس مطالعات انجام شده انعطاف‌پذیری بیشتر در تصمیم–گیری، امکان دستیابی هم‌زمان به چند هدف که گاهاً در تضاد هم هستند و اولویت‌بندی اهداف مدیران در بخش کشاورزی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین ویژگی‌های برنامه‌ریزی چندهدفه است. استفاده از شیوه‌های معمول برنامه‌ریزی ریاضی با ساده‌سازی واقعیت توأم است. به‌این‌ترتیب که تنها شرایط مشخصی فرض و بر اساس آن به ارایه الگو پرداخته می‌شود. به‌بیان‌دیگر، می‌توان گفت این نوع از برنامه‌ریزی از پویایی برخوردار نبوده و برای عینیت بخشیدن در شرایط واقعی لاجرم باید تعدیلاتی صورت گیرد. توجه توأم به اهداف گوناگون و تغییرات در متغیرهای تصمیم و اهمیت این اهداف، تناسب الگوهای ساده را در وهله تردید قرار می‌دهد. به‌این‌ترتیب انتظار می‌رود به‌کارگیری نوعی از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی که متناسب با اهداف مختلف، الگوی فعالیت را ارایه نماید، مساعدت مطلوب به بهبود برنامه‌ریزی فعالیت‌های کشاورزی داشته باشد. این نوع از برنامه‌ریزی ریاضی به برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه موسوم است که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است.

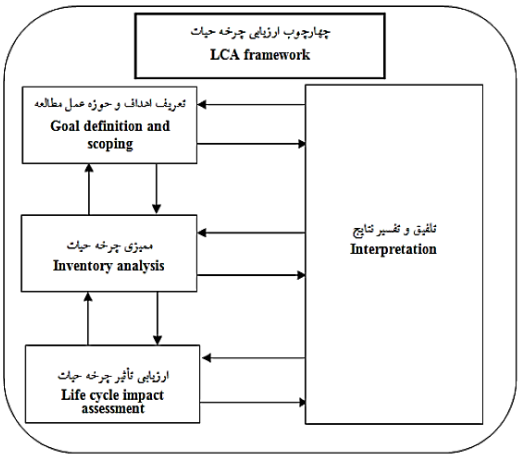
مرور تحقیقات گذشته حاکی از آن است که تاکنون پژوهش جامعی برای تعیین الگوی کشت مناسب با تلفیق مفاهیم پایداری زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی در استان مازندران انجام‌نشده است. لذا، هدف از این تحقیق ارایه یک الگوی کشت سازگار با بوم نظام کشاورزی شهرستان ساری در استان مازندران و با رویکرد توسعه پایدار کشاورزی با استفاده از شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی از طریق کمی سازی میزان اثرات زیست‌محیطی تولید محصولات کشاورزی می‌باشد.

مواد و روش

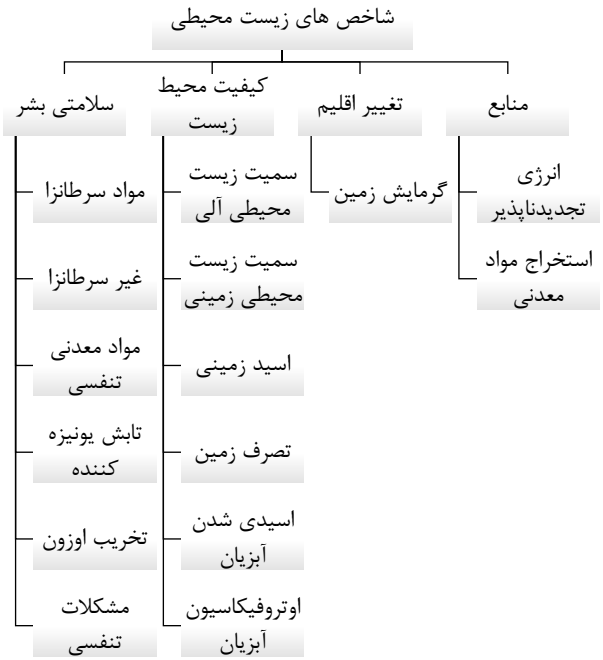
شاخص زیست‌محیطی (ارزیابی چرخه حیات)

اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های بشر یکی از چالش‌های عمده قرن حاضر است و این موضوع منجر به توافق‌های بین‌المللی بین کشورها و همچنین اتخاذ سیاست‌های کلان کاهش این اثرات شده است. ارزیابی چرخه حیات (ارزیابی چرخه عمر) یا به عبارتی Life Cycle Assessment که به‌اصطلاح LCA نامیده می‌شود، یکی از راهکارهای ارزیابی زیست‌محیطی است. این مفهوم امروزه به‌عنوان یکی از روش‌های استاندارد و پرکاربرد در ارزیابی محیطزیستی فرآیندها، محصولات و خدمات مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع ارزیابی چرخه حیات به‌عنوان یکی از روش‌های ارزیابی زیست‌محیطی بعد از ارزیابی فنی و ارزیابی اقتصادی تکمیل‌کننده ضلع سوم یک ارزیابی پایدار می‌باشد که کمک می–کند تا علاوه بر ابعاد فنی و اقتصادی، از منظر محیطزیستی نیز

تولید محصولات یا ارایه خدمات مختلف مورد بررسی قرار گیرد. این روش عبارت است از گردآوری و ارزیابی ورودی‌ها، خروجی‌ها و پیامدهای بالقوه محیطزیستی یک محصول در سراسر چرخه حیات آن. هر مطالعه ارزیابی چرخه حیات دارای چهار مرحله می‌باشد (شکل ۱). ۱) تعیین هدف و حوزه مطالعه ۲) ممیزی چرخه حیات (LCI) ۳) ارزیابی اثر (LCIA) ۴) تفسیر. بر این اساس، در مرحله اول، محصول نهایی مورد انتظار، مرزهای سیستم مورد مطالعه، واحد کارکردی و درنهایت فرض‌های مطالعه مشخص می‌شود. در این راستا، از دستورالعمل پیشنهادات سیستم داده‌های بین‌المللی چرخه حیات (IRLCDS) استفاده می‌گردد (۲۰). دسته‌بندی کلی اثرات زیست‌محیطی که نیاز به بررسی دارند شامل استفاده از منابع، سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم و تغییرات آب و هوایی است که در شکل ۲ ارایه شد (۱۴).



شکل ۱-مراحل اجرای ارزیابی چرخه حیات



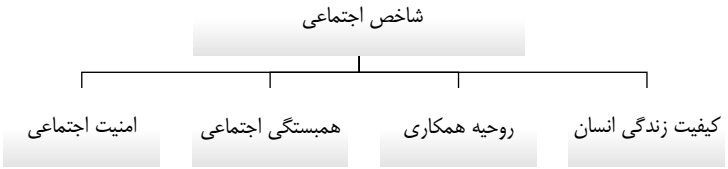
شکل ۲- دسته‌بندی خسارت و اثرات نقطه میانی مرتبط بر اساس روش LCA

برای تجزیه و تحلیل اثرات زیست‌محیطی محصولات زراعی از نرم‌افزار SIMAPRO 9.0 استفاده می‌گردد. این نرم‌افزار می‌تواند اثرات زیست‌محیطی محصولات و خدمات را در سراسر مراحل چرخه زندگی آن‌ها اندازه‌گیری کرده و همچنین اثرات همه مراحل از استخراج مواد خام تا تولید، توزیع، استفاده و دفع را شناسایی نماید و ابزارهای حرفه‌ای را برای جمع‌آوری، ارزیابی و پایش کارایی زیست‌محیطی محصولات، فرآیندها و خدمات مهیا می‌کند. با استفاده از ماتریس معکوس محاسبات مربوط به نظام تولید را انجام می‌دهد و درنتیجه استفاده از الگوریتم‌های با کارایی بسیار بالا امکان محاسبه هزاران فرآیند در ارتباط با یک محصول را فراهم می‌نماید. نتایج خروجی نرم‌افزار نیز منعکس‌کننده طیف وسیعی از اثرات زیست‌محیطی تولید محصول شامل، تخلیه منابع،

سمیت اکوسیستم، سمیت انسانی، گرمایش جهانی، تخریب لایه ازن،... می‌باشد.

شاخص اجتماعی

یکی دیگر از مفاهیم مورد استفاده برای ارزیابی پایداری سیستم الگوی کشت پیشنهادی، مفهوم TBL (Triple Bottom Line) می‌باشد. در پایداری، سه جنبه اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی با هم به‌طور کامل در تعامل هستند و اغلب محققان در این راستا این سه جنبه اصلی را بررسی می‌کنند. در توسعه پایدار اهداف باید در سه جنبه به‌صورت ذیل در نظر گرفته شود: توسعه پایدار کشاورزی باید رشد اجتماعی را که در آن نیازهای همه بهره‌برداران برآورده شده، فراهم آورد، حفاظت مؤثری از محیطزیست به عمل‌آورده و در مصرف منابع طبیعی با دقت عمل کند، این توسعه باید رشد پایدار اقتصادی و رونق اقتصادی را به همراه داشته باشد. توسعه پایدار کشاورزی باید رشد اجتماعی را فراهم کند که در آن نیازهای همه ذینفعان برآورده شود. به‌منظور ارزیابی شاخص‌های اجتماعی، نقش هر محصول در تقویت امنیت اجتماعی، همبستگی اجتماعی، تمایل به همکاری و ارتقای زندگی انسان موردتوجه قرار گرفت. وزن هر محصول در شاخص‌های اجتماعی از روش میانگین هندسی (۲۸) در شهرستان ساری از طریق تکمیل پرسشنامه و تعیین نظر زارعین در خصوص نقش هر محصول در بهبود شاخص‌های اجتماعی بر اساس طیف لیکرت ۱ تا ۵ محاسبه شد.



شکل ۳- عناصر تشکیل‌دهنده شاخص اجتماعی کشت محصول زراعی

شاخص اقتصادی

به‌منظور دستیابی به هدف تحقیق در بعد اقتصادی پایداری کشاورزی از رویکرد حداکثر سازی بازده برنامه‌ای ناخالص استفاده شد، زیرا در این رویکرد عوامل مؤثر بر سود در نظر گرفته می‌شود.

$$GM = TR - VP \qquad (۱)$$

که GM سود ناخالص، TR درآمد کل و VP هزینه‌های متغیر تولید است.

مدل برنامه‌ریزی چندهدفه

از سوی بهره‌برداران و همچنین سیاست‌گذاران چند هدف به‌طور توأم دنبال می‌شود که البته لزوماً با هم هم‌جهت نیستند. ازاین‌رو باید از رهیافت چندهدفی استفاده گردد. بطورکلی مسئله‌های بهینه‌سازی چندهدفه (MOOP) را می‌توان به‌صورت معادلات زیر تعریف کرد (۲۲):

$$Minimize: \quad f(X) \qquad (۲)$$

$$Subject\ to: \ g_i(X) \le 0 \quad i = 1,2,...,m \qquad (۳)$$

$$h_j(X) = 0 \quad j = 1,2,...,l \qquad (۴)$$

$$X_{\inf} \le X \le X_{\sup}$$

بطوریکه $f(X) = f_1, f_2, ..., f_k^{\ T} : X \to R^k$ برداری از مقادیر توابع هدف است که به حداقل می‌رسد. X برداری از متغیرهای تصمیم در فضای تصمیم R^k است. و $X_{\inf}$ و $X_{\sup}$ حد پایین و بالای متغیرهای تصمیم می‌باشند. $g_i(X)$ برابر i امین محدودیت نابرابر و $h_j(X)$ برابرj امین محدودیت برابری در بین محدودیت‌هاست. محدودیت $g_i(X)$ به‌صورت محدودیت کوچک‌تر یا مساوی است و توابع بزرگ‌تر یا مساوی از طریق ضرب‌در ۱- می‌توانند به توابع کوچک‌تر یا مساوی تبدیل شوند. به‌طور مشابه، مسئله حداکثر سازی تابع هدف هم از طریق ضرب‌در ۱-، قابل‌تبدیل به مسئله حداقل سازی است.

برخی از محققان تلاش نمودند تا روش‌های مختلفی برای حل مسائل برنامه‌ریزی چندهدفه با ملاحظات مختلف ارائه و طبقه‌بندی نمایند. هانگ و مسعود (۱۲) و سپس متینن (۲۱) بسته به نحوه بیان ترجیحات تصمیم‌گیرنده، روش‌های بدون ترجیح[1]، روش‌های پیشینی[2]، روش‌های پسینی[3] و تعاملی[4] را پیشنهاد کردند. در روش اول ترجیحات تصمیم‌گیرنده در فرآیند مدل‌سازی در نظر گرفته نمی‌شود. مسئله را می‌توان با یک روش ساده حل کرد و راه‌حل به‌دست‌آمده را به تصمیم‌گیرنده ارائه کرد که می‌تواند آنرا بپذیرد یا رد کند. در روش‌های پیشینی، انتظارات و نظرات تصمیم‌گیرنده قبل از فرآیند حل موردتوجه قرار می‌گیرد. این روش مستلزم این است که تصمیم‌گیرنده از اولویت هر هدف از مجموعه اهداف در مسئله بهینه‌سازی ترکیبی، مطلع باشد. در روش‌های پسینی هیچ ترجیحی از تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته نمی‌شود. پس از تولید مجموعه پارتو، تصمیم‌گیرنده راه‌حلی را از

1 No-preference methods
1 Priori-methods
2 Posteriori-methods
3 Interactive methods

مجموعه جواب‌های ممکن انتخاب می‌کند. درنهایت در روش‌های ترجیحی تعاملی، ترجیحات تصمیم‌گیرنده در طول فرآیند به‌طور مداوم استفاده می‌شود و با ادامه فرآیند این ترجیحات با اهداف تنظیم می‌گردند (۲۶). روش معیارهای وزنی یک رویکرد ارزشمند از گروه روش‌های پیشینی است که برای ترکیب اهداف چندگانه در بهینه‌سازی محاسباتی است. این روش، شامل تعیین وزن برای هر هدف است که نشان‌دهنده اهمیت نسبی آن هدف توسط تصمیم‌گیرنده است. این روش یک رویکرد قابل تنظیم‌تر برای بهینه‌سازی را امکان‌پذیر می‌کند، زیرا به تصمیم‌گیرنده اجازه می‌دهد تا اهمیت نسبی هر هدف را مشخص کند. این روش می‌تواند به‌ویژه در شرایطی که اهداف به یک اندازه مهم نیستند مفید باشد. استفاده از این روش ساده است و یافتن جواب بهینه را تضمین می‌کند.

روش معیارهای وزنی

ایده اصلی این روش یافتن نزدیک‌ترین راه‌حل عملی برای یک نقطه مرجع است که معمولاً نقطه ایدئال نامیده می‌شود. برخی از محققان همچون داوکستین (۶) و زلنی (۲۹) این روش را برنامه‌نویسی توافقی می‌دانند. متداول‌ترین معیارها برای اندازه‌گیری فاصله بین نقطه مرجع و منطقه ممکن، معیارهای Lp-metriC است.

$$L_p(f) = \left[\sum_{i=1}^{k}\left|f_i^{\,0} - f_i(x)\right|^p\right]^{1/p}, \quad 1 \le p \le \infty \qquad (۵)$$

که $f_i^{\,0}$ بردار جواب‌های ایده آل است. در حالت کلی انحراف نسبی را می‌توان به‌صورت $\frac{f_i^{\,0} - f_i(x)}{f_i^{\,0}}$ در نظر گرفت. بنابراین می‌توان نوشت:

هدف حداکثر سازی سود (بازده ناخالص)

هدف حداقل سازی مصرف آب

هدف حداقل سازی مصرف کود

هدف حداکثر سازی امنیت اجتماعی

هدف حداکثر سازی انسجام اجتماعی

هدف حداکثر سازی روحیه همکاری

هدف حداکثر سازی کیفیت زندگی

هدف حداقل سازی اثرات زیان‌بار سلامتی بشر

هدف حداقل سازی اثرات زیان‌بار بر کیفیت محیطزیست

$$L_p(f) = \left[\sum_{i=1}^{k}\left|\frac{f_i^{\,0} - f_i(x)}{f_i^{\,0}}\right|^p\right]^{1/p}, \quad 1 \le p \le \infty \qquad (۶)$$

که $1 \le p \le \infty$ است. ارزش P مشخص‌کننده درجه تأکید به انحرافات موجود است؛ به‌گونه‌ای که هر چه این ارزش بزرگ‌تر باشد، تأکید بیشتری بر بزرگ‌ترین انحرافات خواهد بود و اگر $P=\infty$ شود، بدان مفهوم خواهد بود که بزرگ‌ترین انحراف از انحرافات موجود برای بهینه‌سازی، مدنظر واقع می‌گردد. مقادیر متفاوتی برای p ذکر شده است که برخی $p=1$ و برخی $p=2$ را مناسب دانسته‌اند ، واضح است که حالت اول بدین مفهوم است که مجموع نسبی انحرافات حداقل شود و حالت دوم به مفهوم کمینه کردن مجموع توان دوم انحرافات نسبی می‌باشد.

از روش Lp-metric مسئله توافقی زیر حاصل می‌شود:

$$Minimize \ \left(\sum_{i=1}^{p} w_i \left|\frac{f_i^{\,0} - f_i(x)}{f_i^{\,0}}\right|^p\right)^{1/p} \qquad (۷)$$

$$subject \ \ to \ \ x \in \chi \ , \ \ \sum w_i = 1$$

که w_i وزن اهداف است که نماینده ترجیحات گروه تصمیم‌گیرنده می‌باشد. است. با توجه به وزن‌های مختلف اهداف، می‌توان مجموعه‌ای از نقاط بهینه را برای متغیر تصمیم تعریف کرد. وزن اهداف در این مطالعه از طریق پرسش از خبرگان و روش AHP تعیین شده است. به‌طورکلی در این روش هدف تصمیم‌گیرندگان یافتن مجموعه‌ای جواب‌های بهینه است که فاصله آن از یک حالت ایده آل از پیش تعریف‌شده حداقل ممکن باشد.

بر اساس روش معیارهای وزنی، مسئله تحقیق مطالعه حاضر را می‌توان به‌صورت زیر نوشت. ابتدا تمامی اهداف به‌صورت تکی بیان می‌شود.

$$Max \ Z_1 = \sum_{i=1}^{n} \pi_i \times X_i \quad i = 1,2,...,n$$

$$Min \ Z_2 = \sum_{i=1}^{n} K_i \times X_i \quad i = 1,2,...,n$$

$$Min \ Z_3 = \sum_{i=1}^{n} F_i \times X_i \quad i = 1,2,...,n$$

$$Max \ Z_4 = \sum_{i=1}^{n} A_i \times X_i \quad i = 1,2,...,n$$

$$Max \ Z_5 = \sum_{i=1}^{n} E_i \times X_i \quad i = 1,2,...,n$$

$$Max \ Z_6 = \sum_{i=1}^{n} R_i \times X_i \quad i = 1,2,...,n$$

$$Max \ Z_7 = \sum_{i=1}^{n} Q_i \times X_i \quad i = 1,2,...,n$$

$$Min \ Z_8 = \sum_{i=1}^{n} H_i \times X_i \quad i = 1,2,...,n$$

$$Min \ Z_9 = \sum_{i=1}^{n} ECO_i \times X_i \quad i = 1,2,...,n$$

هدف حداقل سازی اثرات منفی بر تغییرات اقلیم

$$Min\ Z_{10} = \sum_{i=1}^{n} CLIMATE_i \times X_i \quad i = 1,2,...,n$$

هدف حداقل سازی اثرات منفی بر منابع

$$Min\ Z_{11} = \sum_{i=1}^{n} R_i \times X_i \quad i = 1,2,...,n$$

تابع هدف تجمیع شده به‌صورت زیر نوشته خواهد شد:

$$Min\ \ zzf = w_1 \times (\frac{z_1^* - z_1}{z_1^*}) + w_2 \times (\frac{z_2^* - z_2}{z_2^*}) + w_3 \times (\frac{z_3^* - z_3}{z_3^*}) + ... + w_{11} \times (\frac{z_{11}^* - z_{11}}{z_{11}^*}) \quad (8)$$

$$w_1 + w_2 + ... + w_{11} = 1$$

که z_1^*، z_2^* و z_3^* الی z_{11}^* مقادیر ایده آل اهداف موردنظر است. با توجه به اینکه برخی از اهداف از نوع حداکثر سازی و برخی دیگر به‌صورت حداقل سازی است، بنابراین به‌منظور همسان کردن آن‌ها، تابع هدف حداقل سازی در علامت منفی ضرب می‌شود.

این تابع بر اساس محدودیت‌های مربوط به نهاده‌ها که در قسمت قبل بیان شد، حداقل می‌شود. به‌عبارت‌دیگر در این روش ابتدا هر هدف به‌صورت تکی بر اساس محدودیت‌های موردنظر حل‌شده و مقدار بهینه آن محاسبه می‌شود. محدودیت‌های الگو شامل محدودیت زمین، نیروی کار و سم شیمیایی و محدودیت‌های خاص روش برنامه‌ریزی چند هدفی (شامل محدودیت سطح بازده مشخص و میزان معین از مصرف آب، و کود شیمیایی، حداکثر سازی اهداف اجتماعی و حداقل سازی نتایج برگرفته از LCA) است. سپس مقادیر بهینه اهداف حاصل از حل مسئله به‌صورت تکی، در تابع (۸) لحاظ و بر اساس مقادیر مختلف وزن اهداف که بر اساس ترجیحات تصمیم‌گیرندگان (نظرسنجی از خبرگان) تعیین می‌شود، مقادیر متغیر تصمیم که در این مطالعه سطح زیر کشت محصولات زراعی است، به دست می‌آید.

برای محاسبه نیاز آبی محصولات زراعی از نرم‌افزار CROPWAT بهره گرفته شد. سایر اطلاعات موردنیاز از طریق تکمیل ۱۲۰ پرسشنامه و مصاحبه حضوری از میان بهره‌برداران منتخب شهرستان و اطلاعات مستخرج از سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران به دست آمد. نمونه موردنظر نیز به‌صورت تصادفی از طریق فرمول کوکران انتخاب شد. با توجه به اینکه اطلاعات موردنیاز برای مدل‌سازی از طریق مصاحبه با کشاورزان یک شهرستان به دست آمد لذا با توجه به شرایط اقلیمی، اقتصادی و اجتماعی همسان در این منطقه، می‌توان انتظار داشت این کشاورزان تا حد قابل قبولی ازنظر ساختار تولید همگن باشند.

به‌منظور حل مدل برنامه‌ریزی چندهدفه نیز از نرم‌افزار GAMS استفاده شد.

نتایج

بر اساس جدول ۱، برنج با ۲۶۵۲۴ هکتار ۵۱ درصد از سطح زیر کشت شهرستان ساری را به خود اختصاص داد. پس از برنج، گندم و جو در رده‌های بعدی قرار دارند. سطح زیر کشت گندم معادل ۹۱۷۸ هکتار بود که این میزان ۱۷ درصد از سطح زیر کشت منطقه را به خود اختصاص داد. جو نیز با سطحی معادل ۸۶۶۹ هکتار ۱۶ درصد از کل سطح زیر کشت محصولات منتخب در شهرستان ساری داراست. نیاز خالص آبی برآوردی برای این محصولات نیز به ترتیب معادل ۹۰۴۱ مترمکعب (برنج)، ۳۶۵۱ مترمکعب (گندم)، ۲۵۷۸ مترمکعب (جو) محاسبه شد. سطح زیر کشت خیار، گوجه‌فرنگی و پیاز نیز در منطقه موردبررسی به ترتیب معادل ۳۸۰ هکتار، ۶۵ هکتار و ۲۳۵ هکتار بود. سهم این محصولات از کل سطح زیر کشت منطقه به ترتیب معادل ۰/۷۴ درصد، ۰/۱۳ درصد و ۰/۴۶ درصد است. در بین این محصولات، خیار با ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین کود مصرفی و گوجه‌فرنگی با ۶۷۰۸ مترمکعب بیشترین نیاز خالص آبی را به خود اختصاص دادند. سویا و کلزا از دیگر محصولات مهم در الگوی کشت منطقه بود. کلزا با ۳۵۶۱ هکتار از سطح زیر کشت منطقه سهمی معادل ۶/۹ درصد را در بین محصولات منتخب داشت. سطح زیر کشت سویا نیز معادل ۴۶۴ هکتار و نیاز خالص آبی این محصول معادل ۶۵۲۸ مترمکعب بود.

برای محصولات پنبه، کلزا، سویا و گندم بازده ناخالص در هر هکتار به ترتیب ۱۰۹۵۵ هزار ریال، ۳۷۷۰۸ هزار ریال، ۱۴۸۳۵ هزار ریال و ۱۶۱۴۸ هزار ریال بود. برای محصولات شبدر، جو و ذرت بازده ناخالص در هر هکتار پایین‌ترین میزان بود.

جدول ۱- سطح زیر کشت و ضرایب فنی مربوط به محصولات منتخب زراعی شهرستان ساری

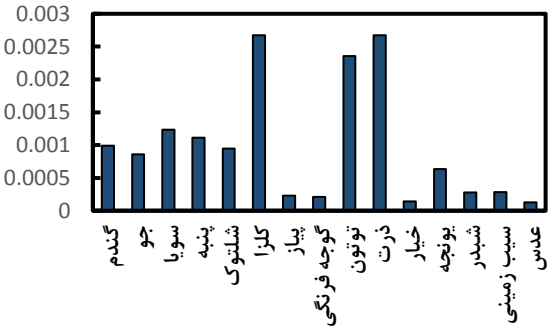
محصولات	سطح زیر کشت (هکتار)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	بازده برنامه‌ای (هزارریال/هکتار)	نیاز آبی (مترمکعب در هکتار)	میزان کود مصرفی (کیلوگرم در هکتار)	میزان سم مصرفی (کیلوگرم در هکتار)	نیروی کار موردنیاز (نفر روز کار)
گندم	۹۱۷۸	۴۲۷۹	۱۶۱۴۸	۳۶۵۱	۳۴۳	۱/۸۱	۱۷
شلتوک	۲۶۵۲۴	۶۸۸۲	۲۰۹۱۲۷	۹۰۴۱	۳۵۱	۹/۵۰	۴۷
جو	۸۶۶۹	۴۱۶۶	۱۰۲۵۸	۲۵۷۸	۱۱۷	۱/۰۵	۱۰
خیار	۳۸۰	۲۸۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۶۳۴۰	۵۰۰	۸/۵۰	۷۱
پیاز	۲۳۵	۱۵۴۵۴	۱۰۱۲۰۵	۶۰۹۱	۴۳۹	۴/۵۰	۵۱
شبدر	۹۱۶	۱۳۰۲۱	۹۳۷۴	۶۹۱۳	۱۸۵	۱/۸۹	۶
کلزا	۳۵۶۱	۱۲۹۸	۳۷۷۰۸	۴۴۸۴	۲۶۰	۱/۵۰	۵
سویا	۴۶۴	۱۳۵۲۴	۱۴۸۳۵	۶۵۲۸	۲۰۰	۱/۵۰	۲۰
سیب‌زمینی	۳۶۰	۱۰۰۰۰	۱۹۴۷۵۳	۶۹۶۸	۶۵۳	۳/۸۰	۲۳
گوجه‌فرنگی	۶۵	۲۹۴۷۳	۸۰۴۲۰	۶۷۰۸	۴۴۷	۴/۶۰	۴۰
یونجه	۴۲	۸۳۷۳	۱۹۵۰۴	۸۰۸۸	۶۰۰	۴/۵۰	۳۴
عدس	۳۳۲	۱۰۰۰	۲۸۸۱۱	۶۱۲۴	۷۸	۰	۲۹
ذرت	۱۵	۳۱۷۸۹	۱۲۰۱۷	۵۶۹۵	۵۵۰	۳/۵۰	۱۵
پنبه	۵/۷۰	۲۱۲۰	۱۰۹۵۵	۶۷۵۵	۲۰۰	۳	۴۰
توتون	۸۵۳	۲۷۷۵	۱۷۲۷۱	۵۵۹۶	۳۹۰	۴	۴۰

نتایج محاسبه وزن شاخص‌های اجتماعی محصولات زراعی در جدول ۲ ارایه شد. وزن محصولات زراعی منتخب ازنظر شاخص امنیت اجتماعی بین ۰/۰۵۵۳ تا ۰/۰۸۷۵ متغیر بود. کمترین وزن امنیت اجتماعی برای محصول شبدر و یونجه و بالاترین وزن امنیت اجتماعی برای محصول عدس به دست آمد. در خصوص شاخص انسجام اجتماعی کمترین وزن شاخص انسجام اجتماعی به محصول پیاز مربوط بود. گوجه‌فرنگی بالاترین وزن را به خود اختصاص داد. وزن این محصول معادل ۰/۰۸۵۶ به دست آمد. وزن شاخص تقویت روحیه همکاری نیز در بازه ۰/۰۴۸۶ تا ۰/۰۷۹۹ متغیر بود. پایین‌ترین وزن مربوط به محصول توتون و بالاترین وزن مربوط به محصول گندم بود. درنهایت نتایج نشان داد که محصول ذرت در بین محصولات موردبررسی پایین‌ترین وزن را ازنظر شاخص کیفیت زندگی داشت. بالاترین وزن ازنظر شاخص کیفیت زندگی به محصول گندم با ۰/۰۷۷۶ اختصاص داشت. درنهایت، باملاحظه شاخص‌های اجتماعی، کمترین توجه کشاورزان مربوط به ذرت و پیاز بود و پنج محصول اولویت‌دار ازنظر آن‌ها به‌ترتیب گندم، پنبه، عدس، برنج و کلزا بودند.

جدول ۲- شاخص‌های اجتماعی محصولات زراعی شهرستان ساری

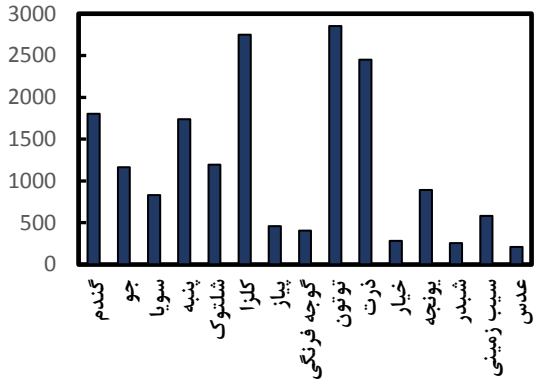
محصول	امنیت اجتماعی	انسجام اجتماعی	تقویت روحیه همکاری	کیفیت زندگی
شلتوک	۰/۰۷۲۰	۰/۰۶۴۲	۰/۰۷۵۶	۰/۰۷۵۱
گندم	۰/۰۷۳۰	۰/۰۶۸۹	۰/۰۷۹۹	۰/۰۷۷۶
کلزا	۰/۰۷۴۳	۰/۰۷۰۳	۰/۰۷۰۹	۰/۰۶۳۱
جو	۰/۰۶۹۸	۰/۰۶۴۸	۰/۰۵۵۷	۰/۰۶۵۷
سیب‌زمینی	۰/۰۶۱۸	۰/۰۵۷۵	۰/۰۶۲۶	۰/۰۷۵۸
سویا	۰/۰۶۳۹	۰/۰۷۲۱	۰/۰۶۶۹	۰/۰۶۶۶
شبدر	۰/۰۵۵۳	۰/۰۶۵۴	۰/۰۷۴۲	۰/۰۷۷۵
گوجه‌فرنگی	۰/۰۵۶۴	۰/۰۸۵۶	۰/۰۶۰۹	۰/۰۵۸۴
پیاز	۰/۰۵۴۵	۰/۰۵۶۹	۰/۰۵۰۵	۰/۰۵۱۷
خیار	۰/۰۶۳۲	۰/۰۶۷۵	۰/۰۷۵۹	۰/۰۶۷۳
یونجه	۰/۰۵۵۳	۰/۰۶۵۴	۰/۰۷۴۲	۰/۰۷۷۵
پنبه	۰/۰۸۷۵	۰/۰۷۷۹	۰/۰۶۷۶	۰/۰۶۴۷
عدس	۰/۰۸۴۳	۰/۰۶۰۳	۰/۰۷۷۳	۰/۰۶۶۰
ذرت	۰/۰۵۲۷	۰/۰۵۴۲	۰/۰۵۹۳	۰/۰۴۶۳
توتون	۰/۰۷۶۰	۰/۰۶۹۱	۰/۰۴۸۶	۰/۰۶۶۷

نتایج اثرات زیست‌محیطی سیستم تولید محصولات زراعی شهرستان ساری در شکل‌های ۴ تا ۷ ارایه شد. شاخص زیست‌محیطی سلامتی انسان برای محصولات مورد بررسی در بازه ۰/۰۰۰۱ و ۰/۰۰۲۶ متغیر بود. پایین‌ترین و بالاترین شاخص به ترتیب به محصولات ذرت علوفه‌ای و عدس اختصاص داشت. میانگین این شاخص برای محصولات منتخب در منطقه موردبررسی معادل ۰/۰۰۰۹۸۳ محاسبه شد. با توجه به کاربرد بالای کود شیمیایی جهت افزایش محصول ذرت علوفه‌ای در فصل زراعی کشت، اثرگذاری این کود در بر سلامتی انسان قابل‌انتظار است. انتشار مستقیم آلاینده از مزرعه ناشی از سوختن دیزل در ماشین‌آلات مورد استفاده در فعالیت‌های کشاورزی، کاربرد کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها در سطح مزرعه نقش بسزایی در انتشار عوامل سرطان‌زا و غیرسرطانزا دارند.



شکل ٤- شاخص زیست‌محیطی سلامتی بشر محصولات زراعی

بر اساس شکل ۵، پایین‌ترین شاخص کیفیت اکوسیستم به محصول عدس و بالاترین شاخص به محصول توتون اختصاص دارد. بنابراین توتون با شاخص کیفیت اکوسیستم حدود ۲۸۵۳ واحد نامناسب‌ترین محصول در این منطقه شناسایی شد. شاخص کیفیت اکوسیستم محصول برنج و گندم در این شهرستان به ترتیب معادل ۱۱۹۳ و ۱۸۰۴ واحد به دست آمد. محصولاتی نظیر کلزا و ذرت نیز ازنظر اثرات زیست‌محیطی وضعیت مناسبی ندارند. بنابراین انتظار می‌رود در الگوی زیست‌محیطی سطح زیر کشت این محصولات با کاهش همراه باشد. میانگین شاخص موردنظر برای محصولات موردمطالعه معادل ۱۱۹۱ محاسبه شد. به‌طورکلی سوخت گازوییل ناشی از احتراق آن در ماشین‌آلات کشاورزی باعث انتشار NOx[1] و هیدروکربن‌ها مثل NMVOC[2] می‌گردد که درنهایت منجر به آلودگی محیطی و اکوسیستم می‌شوند که بر سلامت انسان و کیفیت اکوسیستم تأثیر نامطلوبی دارند. در کنار کنترل مصرف سوخت در ماشین‌آلات کشاورزی و تعیین مصرف بهینه کود شیمیایی همچون کود اوره، می‌توان با انجام فعالیت ماشین‌آلات کشاورزی که باعث احتراق گازوییل و تولید NOx و NMVOC می‌گردند، در ابتدا یا انتهای روز که درجه حرارت پایین‌تر می‌باشد، باعث کاهش اثرات سوء این فاکتور گردد. اثر سیستم تولید محصولات زراعی شهرستان ساری بر شاخص تغییر اقلیم (شکل ۶) منطقه از ۶۷ تا ۱۶۲۳ در نوسان است. پایین‌ترین و بالاترین شاخص تغییر اقلیم به ترتیب به محصول عدس و ذرت علوفه‌ای اختصاص دارد. بنابراین حیث اثرگذاری بر تغییرات اقلیم، عدس مناسب‌ترین و ذرت علوفه‌ای نامناسب‌ترین محصول به شمار می‌رود. همچنین میانگین اثر نهایی محصولات منتخب برای شاخص تغییرات اقلیم معادل ۵۸۲ می‌باشد. گازهای گلخانه‌ای منتشرشده ناشی از فعالیت‌های کشاورزی منجر به گرمایش جهانی می‌شوند.



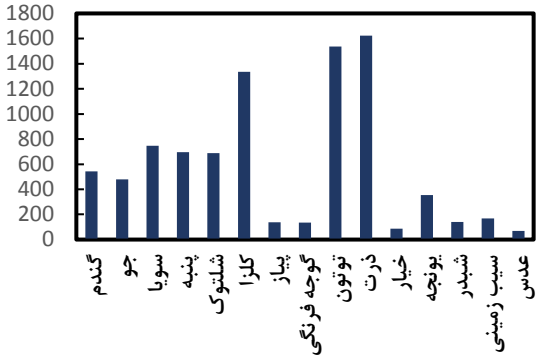
شکل ۵- شاخص زیست‌محیطی کیفیت اکوسیستم محصولات زراعی

گازهای گلخانه‌ای به‌طور مؤثر به‌عنوان یک صافی یک‌طرفه عمل می‌کنند، به نور مرئی اجازه ورود از یک‌جهت را می‌دهند اما از عبور نورهایی با طول موج بلند در جهت مخالف جلوگیری می‌نمایند و بدین‌صورت باعث اثر گلخانه‌ای و گرمایش جهانی می‌شوند. بخارآب در حدود ۷۰-۳۶ درصد، دی‌اکسید کربن ۲۶-۹ درصد، متان ۹-۴ درصد و ازن تروپوسفری با ۷-۳ درصد از کل اثر گلخانه‌ای را دارا می‌باشند. در پژوهشی با مقایسه انتشار دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف انرژی در شالیزارهای مازندران به این نتیجه رسیدند که بیشترین درصد انتشار گاز دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به ورودی نیروی برق مورد استفاده برای پمپ کردن آب بود. کود نیتروژن و سوخت نیز در رتبه‌های دوم و سوم تشدیدکنندگی قرار گرفتند. نتایج مطالعات نشان می‌دهد ۱۴ درصد انتشار خالص دی‌اکسید کربن در بوم نظام‌های زراعی مربوط به عملیات خاک‌ورزی است. بنابراین کاهش عملیات

[1] اکسیدهای ازت

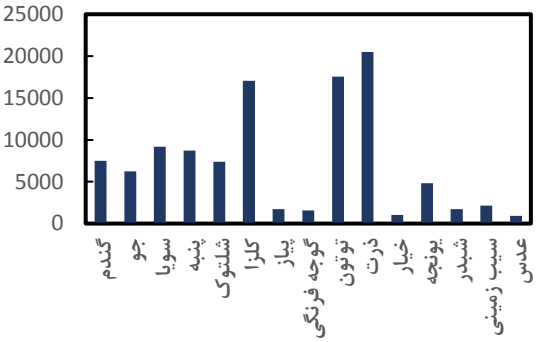
[2] ترکیبات آلی فرار غیرمتانی

خاک‌ورزی و مصرف کودهای آلی بجای مصرف مستقیم کودهای شیمیایی نیتروژنه برای تعدیل اثرات سوء اقلیمی پیشنهاد می‌شود.



شکل ٦- شاخص زیست‌محیطی تغییر اقلیم محصولات زراعی

درنهایت اثر محصولات زراعی موردبررسی در مصرف منابع (شکل ۷) در بازه ۹۲۹ و ۲۰۵۰۵ متغیر بود. کمترین و بیشترین اثر نهایی برای شاخص مصرف منابع به ترتیب به محصولات ذرت علوفه‌ای و عدس اختصاص داشت. میانگین اثر نهایی محصولات موردبررسی معادل ۷۲۰۳ بود.



شکل ۷- شاخص زیست‌محیطی مصرف منابع محصولات زراعی

الگوی کشت بهینه شهرستان ساری

در جدول ۳ نتایج مربوط به الگوی کشت بهینه شهرستان ساری گزارش شد. در الگوی اقتصادی سطح زیر کشت گندم نسبت به الگوی پایه معادل ۸/۱۸ درصد کاهش و سطح زیر کشت برنج رشد ۳/۳۹ درصدی را تجربه نمود. همچنین سطح زیر کشت جو با کاهش ۱۴/۲۳ درصد به ۷۴۳۵ هکتار رسید. سطح زیر کشت خیار، پیاز و گوجه‌فرنگی به ترتیب معادل ۳۶۶ هکتار، ۵۴ هکتار و ۶۴ هکتار به دست آمد. سطح زیر کشت شبدر در سال پایه معادل ۹۱۶ هکتار بود که در الگوی اقتصادی به ۸۴۲ هکتار کاهش یافت. میزان تغییر در سطح زیر کشت شبدر معادل ۸/۰۲- درصد به دست آمد. در الگوی اقتصادی محصولاتی نظیر یونجه، ذرت و پنبه از الگوی کشت منطقه خارج و محصولاتی نظیر سیب‌زمینی و برنج با رشد سطح زیر کشت روبرو بودند. میزان تغییرات سطح زیر کشت سیب‌زمینی معادل ۴۴/۵۹ درصد به دست آمد. همچنین اجرای مدل با تأکید بر ملاحظات اقتصادی منجر شد تا سطح زیر کشت کلزا و سویا به ۲۹۷۴ هکتار و ۴۴۶ هکتار برسد. در این الگو سطح زیر کشت کلزا و سویا حدود ۷ درصد از مجموع سطح زیر کشت منطقه را به خود اختصاص دادند. توتون نیز با سطحی معادل ۸۱۷ هکتار، سطحی معادل ۱/۷ درصد از مجموع سطح زیر کشت محصولات زراعی منطقه را دارا بود.

به‌طورکلی مجموع تغییرات سطح زیر کشت محصولات زراعی در منطقه موردبررسی با تأکید بر ملاحظات اقتصادی بر اساس جدول ۴ معادل ۴/۱۱- درصد پیش‌بینی شد. انتظار می‌رود با کاهش سطح زیر کشت محصولات زراعی مصرف نهاده‌های کشاورزی نیز دستخوش تغییر شود.

در الگوی اجتماعی محصولاتی نظیر گندم، شبدر، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و توتون با رشد سطح زیر کشت روبرو بودند. این در حالی است که محصول یونجه از الگوی کشت پیشنهادی منطقه خارج شد. بنابراین با توجه به اهمیت محصول گندم از منظر خودکفایی، به نظر می‌رسد این الگوی کشت بتواند در راستای اهداف خودکفایی موردتوجه سیاست‌گذاران باشد.

در گروه غلات سطح زیر کشت شلتوک و جو به ترتیب معادل ۲۲۶۴۱ هکتار و ۷۴۳۰ هکتار به دست آمد که نسبت به شرایط فعلی با کاهش ۱۴ درصدی روبرو بودند. سطح زیر کشت ذرت در الگوی فعلی معادل ۱۵ هکتار گزارش شد که با اجرای مدل با تأکید بر ملاحظات اجتماعی به ۱۲ هکتار کاهش یافت. در این الگو میزان تغییر سطح زیر کشت خیار و پیاز نسبت به شرایط پایه به ترتیب معادل ۳/۵۳- درصد و ۷۶/۸۱- درصد به دست آمد. همچنین اجرای مدل با تأکید بر ملاحظات اجتماعی منجر شد تا سطح زیر کشت شبدر نسبت به شرایط پایه با رشد ۲۲/۲۶ درصد به ۱۱۲۰ هکتار برسد.

در الگوی زیست‌محیطی مجموع سطح زیر کشت منطقه موردبررسی با کاهش ۱۵/۵۲- درصدی به ۴۳۵۸۹ هکتار رسید. در بین محصولات موردبررسی محصولاتی نظیر یونجه و پنبه از الگوی کشت خارج و محصولاتی همچون سیب‌زمینی، شبدر و ذرت با افزایش سطح زیر کشت روبرو شدند. در گروه غلات تغییرات سطح زیر کشت گندم و برنج به ترتیب معادل ۱۹/۲۶- درصد و ۱۲/۴۶- درصد بود. میزان تغییر سطح زیر کشت جو نیز معادل ۱۹/۰۸- درصد پیش‌بینی شد. به‌عبارت‌دیگر سطح زیر کشت این محصول پس از اعمال سناریو موردنظر از ۸۶۶۹ هکتار به ۷۰۱۵ هکتار رسید. سطح زیر کشت خیار، پیاز و گوجه‌فرنگی در الگوی بهینه زیست‌محیطی به ترتیب معادل ۳۵۲ هکتار، ۴۷ هکتار و ۵۶ هکتار است. دراین‌بین تغییرات سطح زیر کشت پیاز درنتیجه تأکید بر ملاحظات زیست‌محیطی بیش از دو محصول

دیگر است. نتایج حاکی از آن است که سطح زیر کشت کلزا و سویا در منطقه موردبررسی به ترتیب نیز با کاهش ۲۶/۵۶- درصد و ۱۵/۵۱- درصد همراه هستند. عدس با ۱۹۴ هکتار سطح زیر کشت در الگوی زیست‌محیطی سهمی معادل ۰/۴ درصد از مجموع سطح زیر کشت منطقه را به خود اختصاص داد. برخلاف الگوی‌های قبلی، پنبه از الگوی کشت منطقه خارج و سطح زیر کشت توتون نیز با کاهش ۱۵/۶۸- درصدی نسبت به الگوی فعلی روبرو بود.

در الگوی بهینه با تلفیق اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، محصولاتی نظیر یونجه، پنبه و ذرت از الگوی کشت منطقه موردبررسی خارج شدند و سطح زیر کشت خیار، شبدر با تغییراتی مثبتی نسبت به الگوی فعلی همراه بودند. در الگوی پیشنهادی تمامی محصولات گروه غلات با کاهش سطح زیر کشت روبرو بوده و دراین‌بین تغییرات سطح زیر کشت جو بیش از گندم و شلتوک است. تغییرات سطح زیر کشت خیار در الگوی کشت پیشنهادی معادل ۲۵/۸۱+ درصد به دست آمد. در مقابل سطح زیر کشت پیاز با کاهش ۷۹/۴۷- درصدی روبرو بود. به‌طوری‌که سهم این محصول در الگوی کشت منطقه به ۰/۱۱ درصد کاهش یافت. این نتیجه برای گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی هم صادق بود به‌طوری‌که سطح زیر کشت این محصولات از ۶۵ هکتار و ۳۶۰ هکتار در الگوی فعلی به ۵۷ هکتار و ۳۰۷ هکتار در الگوی ترکیبی کاهش یافت. سطح زیر کشت کلزا و سویا نیز با تغییرات ۲۶/۱۰- درصد و ۱۴/۹۸- درصد همراه بودند. به نظر می‌رسد سیاست‌های فعلی در تولید این دو محصول نتواند با اهداف تعیین شده همخوانی داشته باشد. به‌طوری‌که کاهش سطح زیر کشت این دو محصول در جهت دستیابی به مجموعه اهداف موردنظر نقش موثری دارد. مجموع سطح زیر کشت محصولات زراعی در الگوی بهینه با تلفیق اهداف در منطقه با کاهش ۱۵ درصدی نسبت به الگوی پایه به ۴۳۸۶۰ هکتار رسید. بر اساس جدول ۴، در الگوی اقتصادی، کاهش سطح زیر کشت در منطقه موردبررسی با کاهش ۰/۷۷ درصدی میزان مصرف آب و کاهش ۱/۸۹ درصدی میزان مصرف کود شیمیایی همراه بود. میزان تغییر در بازده برنامه‌ای در منطقه موردبررسی نیز معادل ۲/۳۸+ درصد پیش‌بینی شد.

جدول ۳- الگوی کشت بهینه با ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در منطقه ساری

محصول	سطح زیر کشت فعلی	سطح زیر کشت با تأکید بر ملاحظات اقتصادی	سطح زیر کشت با تأکید بر ملاحظات اجتماعی	سطح زیر کشت با تأکید بر ملاحظات محیط‌زیستی	سطح زیر کشت با ترکیب اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی
گندم	۹۱۷۸	۸۴۲۷	۱۲۶۹۱	۷۴۱۰	۷۴۵۶
شلتوک	۲۶۵۲۴	۲۷۴۲۳	۲۲۶۴۱	۲۳۲۱۹	۲۳۲۰۷
جو	۸۶۶۹	۷۴۳۵	۷۴۳۰	۷۰۱۵	۶۵۷۹
خیار	۳۸۰	۳۶۶	۳۶۶	۳۵۲	۴۷۸
پیاز	۲۳۵	۵۴	۵۴	۴۷	۴۸
شبدر	۹۱۶	۸۴۲	۱۱۲۰	۱۱۴۳	۱۸۰۱
کلزا	۳۵۶۱	۲۹۷۴	۲۹۷۲	۲۶۱۵	۲۶۳۱
سویا	۴۶۴	۴۴۶	۴۴۵	۳۹۲	۳۹۴
سیب‌زمینی	۳۶۰	۵۲۰	۴۲۹	۴۰۳	۳۰۷
گوجه‌فرنگی	۶۵	۶۴	۹۴	۵۶	۵۷
یونجه	۴۲	۰	۰	۰	۰
عدس	۳۳۲	۱۹۸	۲۲۳	۱۹۴	۱۷۵
ذرت	۱۵	۰	۱۲	۱۸	۰
پنبه	۵	۰	۳	۰	۰
توتون	۸۵۳	۸۱۷	۹۳۳	۷۱۹	۷۲۳

همان‌طور که ملاحظه شد الگوی کشت پیشنهادی با تأکید بر ملاحظات اقتصادی می‌تواند علی‌رغم افزایش سود زارعین، مصرف نهاده‌های آب و کود شیمیایی را نیز کاهش دهد. بیشترین کاهش در میزان مصرف نهاده‌های آب و کود و سموم شیمیایی در الگوی کشت پیشنهادی با ملاحظات زیست‌محیطی نمایان شد. تحت این شرایط با کاهش ۱۵/۵۲ درصدی سطح زیر کشت محصولات زراعی، میزان مصرف آب در بخش کشاورزی با کاهش ۱۳/۹۵- درصدی همراه بود. اما هزینه صرفه‌جویی در مصرف آب کاهش ۱۲/۹۷ درصدی در بازده برنامه‌ای است. به نظر می‌رسد میزان تغییر در بازده برنامه‌ای درنتیجه الگوی کشت پیشنهادی با ملاحظات اجتماعی معادل ۹/۷۰ درصد خواهد

بود. کاهش سطح زیر کشت در این الگو به ترتیب منجر به کاهش ۸/۱۳ درصد در میزان تقاضای آب کشاورزی و کاهش ۲/۶۲ درصدی مصرف کود شیمیایی و کاهش ۱۰/۹۵ درصدی مصرف سموم شیمیایی شد. درنهایت الگوی کشت پیشنهادی تحت شرایط تلفیق اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به‌گونه‌ای بود که می‌تواند به‌صرفه‌جویی ۱۲/۹۱ درصدی مصرف آب کمک نماید. این در حالی است که میزان تغییر در بازده برنامه‌ای با کاهش ۱۲/۹۷ درصدی همراه بود.

جدول ٤- تاثیر الگوی کشت پیشنهادی بر شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شهرستان ساری

شاخص‌ها	سطح زیر کشت فعلی	درصد تغییرات سطح زیر کشت و مصرف نهاده در شرایط مختلف			
		ملاحظات اقتصادی	ملاحظات زیست‌محیطی	ملاحظات اجتماعی	ترکیبی
بازده برنامه‌ای (میلیون ریال)	۶۱۱۵۲۷/۶	+۲/۳۸	−۱۲/۹۷	−۹/۷۰	−۱۲/۹۷
مصرف آب (میلیون مترمکعب)	۳۳۵/۰۸۰	−۰/۷۷	−۱۳/۹۵	−۸/۱۳	−۱۲/۹۱
مصرف کود (هزار کیلوگرم)	۱۵۶۳۰/۵۶۸	−۱/۸۹	−۱۴/۹۶	−۲/۶۲	−۱۴/۴۶
مصرف سم (هزار لیتر)	۲۹۵/۰۱۵	+۱/۴۰	−۱۳/۲۴	−۱۰/۹۵	−۱۲/۷۶
کل سطح زیر کشت (هکتار)	۵۱۶۰۰/۵۰	−۳/۹۳	−۱۵/۵۲	−۴/۰۰	−۱۵/۰۰

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در راستای هدف اصلی مطالعه، تعیین الگوی کشت بهینه در راستای توسعه پایدار با تأکید بر ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، از برنامه‌ریزی چندهدفه استفاده شد. به‌طورکلی نتایج بیانگر کاهش سطح زیر کشت محصولات زراعی در جهت دستیابی به اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی بود. با تغییر الگوی کشت به سمت الگوی پیشنهادی برای شهرستان ساری، کاهش ۱۲/۹۷ درصدی سود پیش‌بینی‌شده است. اما این تغییر گام مؤثری در کنترل مصرف آب، کود شیمیایی و سموم شیمیایی است. نتایج مطالعه چن و همکاران (۴) نیز تأییدی بر بهبود شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی با کاهش سطح زیر کشت محصولات زراعی است. با توجه تأثیرات منفی انتظاری کاهش سطح زیر کشت در منطقه و تأثیرات آن بر تولید و درآمد کشاورزان، توسعه فعالیت‌های غیر زراعی و صنایع کوچک تبدیلی در روستاها به‌منظور جبران آسیب‌های ناشی از تغییرپذیری‌های احتمالی می‌تواند مؤثر واقع شود. کاهش سطح زیر کشت محصول برنج در الگوی پیشنهادی بیانگر آن است که محصولاتی با سود بالا می‌توانند اثرات محیطی قابل‌توجهی ایجاد کنند. لذا توجه صرف به اهداف اقتصادی در طراحی الگوی کشت باعث افزایش مصرف سموم و کود شیمیایی می‌شود (۱۹) که این امر اثرات محیطی ازجمله اسیدی سازی و یوتویفیکاسیون در بوم نظام‌های کشاورزی را تشدید خواهد کرد (۱). بر اساس آمار، ۵۱ درصد سطح زیر کشت محصولات زراعی در منطقه به محصول برنج اختصاص دارد، و این محصول بازده برنامه‌ای قابل‌توجهی نسبت به سایر محصولات داراست. لذا کاهش سطح زیر کشت این محصول به‌طور مستقیم می‌تواند بر سود زارعین و انگیزه تولید آنان اثرگذار باشد. این در حالی است که محصول کم بازدهی همچون شبدر جزو محصولات اصلی در الگوی بهینه بشمار می‌رود که توصیه به افزایش سطح زیر کشت آن نسبت به شرایط فعلی شده است. ازآنجاکه برنج محصولی پربازده و شبدر محصولی کم بازده است، بهره‌برداران کمتر تمایل به این تغییر نشان می‌دهند. ازاین‌رو توسل به ابزارهای حمایتی مانند حمایت قیمتی از محصولات با نیاز آبی کمتر می‌تواند مؤثر واقع شود. محصولی نظیر خیار نیز به دلیل سوددهی مناسب، در الگو بهینه با تلفیق اهداف، سطح زیر کشت بیشتری را نسبت به الگوی پایه به خود اختصاص داد. همچنین سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی نیز تغییرات پایینی را تجربه نمودند. در گروه غلات، سطح زیر کشت گندم و جو کاهش سطح زیر کشت را در مقایسه با الگوی فعلی تجربه می‌کنند. اما تغییرات سطح زیر کشت گندم بیش از جو ارزیابی شده است. مقایسه بازده ناخالص و مصرف نهاده‌ها برای این دو محصول حاکی از آن است که اگرچه بازده ناخالص گندم بیشتر از جو بیان شده است اما میزان مصرف نهاده آب و کود شیمیایی محصول جو به‌طور قابل‌توجهی پایینتر از

محصول گندم است. بااین‌حال این دو محصول، به‌عنوان اصلی‌ترین محصول از منظر میزان سطح زیر کشت به‌حساب می‌آید. به‌طورکلی نتایج نشان داد محصولاتی نظیر ذرت، پنبه و یونجه از الگوهای پیشنهادی کشت خارج‌شده و اکثر محصولات موردبررسی کاهش سطح زیر کشت را تجربه خواهند کرد. به نظر می‌رسد عملکرد و سود بیشتر نظام‌های پر نهاده قادر به جبران اثرات محیطی بر کیفیت اکوسیستم نبود (۸، ۱۵).

در الگوهای پیشنهادی اگرچه محصول کلزا کاهش سطح زیر کشت را تجربه می‌کند، اما این محصول جزو محصولات اساسی در ترکیب کشت این شهرستان به شمار می‌رود. کشت دانه روغنی کلزا برای تولید پایدار گندم نیز ضروری است، زیرا این دانه روغنی در تناوب کشت با گندم سبب تقویت خاک، کاهش آفات و بیماری‌ها، استفاده بهینه از آب و درنهایت افزایش تولید گندم می‌شود. کشت مداوم گندم در اراضی زراعی سبب کاهش توان رویشی اراضی و افت قابل‌توجه میزان تولید گندم می‌گردد که برای جلوگیری از این روند باید محصول دیگری را در تناوب کشت گندم برای کشت جایگزین در نظر داشت و بررسی‌های علمی نشان می‌دهد دانه روغنی کلزا بهترین نوع محصول در این زمینه است. با توجه به کاهش سطح زیر کشت کلزا در الگوی پیشنهادی به نظر می‌رسد افزایش عملکرد در واحد سطح این محصول به‌منظور نیل به اهداف خودکفایی روغن امری ضروری است.

هرچند که در حال حاضر الگوی فعلی بهره‌برداران دارای تنوع بالاتری نسبت به الگوهای پیشنهادی است و این تمایل به تنوع بخشیدن به الگوی فعالیت از تدبیر ریسک گریزی آن‌ها ناشی می‌شود، اما درعین‌حال میان الگوی بهینه حداکثر سود، الگوی زیست‌محیطی، الگوی ترکیبی و الگوی فعلی فاصله دیده می‌شود. همچنین نتایج حاکی از آن است که در الگوی بهینه ترکیبی می‌توان از الگوی کشت تخصصی‌تر برخوردار بود. الگوی تخصصی امکان بهره‌گیری از مزایایی همانند کشت تخصصی و صرفه‌های حاصل از مقیاس را نیز فراهم خواهد کرد. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود با تبعیت از الگوی بهینه دارای تنوع کمتر و تخصصی‌تر از امکان کاهش ریسک نیز استفاده نمود.

بر اساس نتایج مشخص شد که با ورود اهداف زیست‌محیطی تفاوت میان الگوی فعلی و الگوی زیست‌محیطی به‌دست‌آمده نسبت به سایر الگوها به‌مراتب عمیق‌تر می‌شود. تغییر الگوی کشت بر اساس ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌تواند در کاهش مصرف نهاده‌های آب، کود و سموم شیمیایی مساعدت نماید. هرچند ممکن است اهداف زیست‌محیطی ازجمله کاهش مصرف آب به‌عنوان هدف آنی بهره‌برداران موردتوجه نباشد اما در بلندمدت می‌توان بهره‌برداران را نسبت به کاهش مصرف آب متقاعد نمود. چراکه با توجه به شرایط خشک‌سالی کشور نمی‌توان از هیچ الگوی فزاینده مصرف آب حمایت نمود. ضمن اینکه با توجه به نتایج با کاهش مصرف آب و کود شیمیایی به‌عنوان اهداف زیست‌محیطی اهداف بهره‌برداران شامل افزایش بازده ناخالص به خطر می‌افتد. به‌عبارت‌دیگر طرح هدف کاهش مصرف آب یا اهداف مشابه که خارج از مزرعه اهمیت دارند امکان بهبود در اهداف داخل مزرعه بهره‌برداران را در معرض خطر قرار می‌دهد. به نظر می‌رسد به‌منظور جبران ضرر حاصل از تغییر الگوی کشت، باید از طریق سرمایه‌گذاری در اشتغال خارج مزرعه جبران شود. بنابراین اگر سیاست‌گذار تمایل دارد به اهداف زیست‌محیطی متمایل شود باید این نکته را در نظر گیرد که مشوق اصلی زارعین برای تولید انگیزه‌های اقتصادی تولید است. لذا سیاست‌گذاران باید راه‌حل‌های مناسبی جهت متمایل کردن زارعین به الگوی پیشنهادی پیدا کنند.

References

1. Acosta-Alba, I., Chia, E., & Andrieu, N. (2019). The LCA4CSA framework: Using life cycle assessment to strengthen environmental sustainability analysis of climate smart agriculture options at farm and crop levels. *Agricultural Systems*, *171*, 155-170. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X1830564X

2. Bailey, A. P., Rehman, T., Park, J., Keatinge, J. D. H., & Tranter, R. B. (1999). Towards a method for the economic evaluation of environmental indicators for UK integrated arable farming systems. *Agriculture, ecosystems & environment*, *72*(2), 145-158. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880998001716

3. Bylin, C., Misra, R., Murch, M., & Rigterink, W. (2004). *Sustainable Agriculture: Development of an On-farm Assessment Tool: a Project Submitted in Partial Fulfillment... for the Degree of Master of Science/Master of Forestry/Master of Landscape Architecture...* University of Michigan. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12077

4. Chen, Y., Zhou, Y., Fang, S., Li, M., Wang, Y., & Cao, K. (2022). Crop pattern optimization for the coordination between economy and environment considering hydrological uncertainty. *Science of the Total Environment*, *809*, 151152. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721062306

5. San Cristóbal, J. R. (2012). A goal programming model for environmental policy analysis: Application to Spain. *Energy Policy*, *43*, 303-307. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421512000109

6. Duckstein, L. (1981). *Multiobjective optimization in structural design: The model choice problem*. Arizona Univ Tucson Dept of Systems and Industrial Engineering. https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADP000073

7. Emamzadeh, S. M., Forghani, M. A., Karnema, A., & Darbandi, S. (2016). Determining an optimum pattern of mixed planting from organic and non-organic crops with regard to economic and environmental indicators: A case study of cucumber in Kerman, Iran. *Information processing in agriculture*, *3*(4), 207-214. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214317315300366

8. Fantin, V., Righi, S., Rondini, I., & Masoni, P. (2017). Environmental assessment of wheat and maize production in an Italian farmers' cooperative. *Journal of cleaner production*, *140*, 631-643. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261630823X

9. Fathi, F., & Zibaei, M. (2012). Water resources sustainability using goal programming approach in optimizing crop pattern, strategy and irrigation method. *Iran-Water Resources Research*, *8*(1), 10-19. http://www.iwrr.ir/article_17413.html?lang=en

10. Galán-Martín, Á, Pozo, C., Guillén-Gosálbez, G., Vallejo, A. A., & Esteller, L. J. (2015). Multi-stage linear programming model for optimizing cropping plan decisions under the new Common Agricultural Policy. *Land use policy*, *48*, 515-524. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837715002008

11. Halkidis, I., & Papadimos, D. (2007). Technical report of LIFE Environment project: Ecosystem based water resources management to minimise environmental impacts from agriculture using state-of-the-art modeling tools in Strymonas basin. *Greek Biotope/Wetland Center (EKBY)*. https://www.mdpi.com/2073-4433/11/7/677

12. Hwang, C. L., & Masud, A. S. M. (2012). *Multiple objective decision making—methods and applications: a state-of-the-art survey* (Vol. 164). Springer Science & Business Media. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=M0noCAAAQBAJ&oi

13. Jain, S., Ramesh, D., & Bhattacharya, D. (2021). A multi-objective algorithm for crop pattern optimization in agriculture. *Applied Soft Computing*, *112*, 107772. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1568494621006931

14. Khodarezaie, E., Veisi, H., Noori, O., Taheri, M., & Khoshbakht, K. (2017). Environmental impact assessment of olive production using Life Cycle Assessment: A case study, Tarom County, Zanjan province. *Journal of Agroecology*, 9(2), 458-474. doi: 10.22067/jag.v9i2.46350 https://agry.um.ac.ir/article_35864.html?lang=en

15. Li, R., Lv, F., Yang, L., Liu, F., Liu, R., & Dong, G. (2020). Spatial–temporal variation of cropping patterns in relation to climate change in Neolithic China. *Atmosphere*, *11*(7), 677. https://www.mdpi.com/2073-4433/11/7/677

16. Lundberg, L., Jonson, E., Lindgren, K., Bryngelsson, D., & Verendel, V. (2015). A cobweb model of land-use competition between food and bioenergy crops. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *53*, 1-14. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165188915000044

17. Manos, B., Papathanasiou, J., Bournaris, T., & 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. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147971000068X

18. Mansuri, H. and Kohansal, M.R. (2007). Determine the optimum cropping pattern based on economic and environmental approach, the Sixth Conference of Agricultural Economics, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian) https://gdij.usb.ac.ir/article_5061_a5b8b8674ad93aa39ad804ac70047122.pdf

19. Najafabadi, M. M., Ziaee, S., Nikouei, A., & Borazjani, M. A. (2019). Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. *Agricultural Systems*, *173*, 218-232. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X18306644

20. Marzban, Z., Asgharipour, M., Ganbari, A., Nikouei, A., Ramroudi, M., Seyedabadi, E. (2020). Reducing Environmental Impacts through Redesigning Cropping Pattern Using LCA and MOP (Case study: East Lorestan Province). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(3), 311-330. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ20210229021

21. Miettinen, K. (2001, July). Some methods for nonlinear multi-objective optimization.

In *Evolutionary Multi-Criterion Optimization: First International Conference, EMO 2001 Zurich, Switzerland, March 7–9, 2001 Proceedings* (pp. 1-20). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-44719-9_1

22. Mirzaei, A., Layani, G., Azarm, H., Jamshidi, S. (2019). Determination Optimal Crop Pattern of Sirjan County Central Part Based on Stability of Water Resources and Environmental. Agricultural Economics Research, 9(36), 283-304. https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183102413

23. Mosleh, Z., Salehi, M. H., Fasakhodi, A. A., Jafari, A., Mehnatkesh, A., & Borujeni, I. E. (2017). Sustainable allocation of agricultural lands and water resources using suitability analysis and mathematical multi-objective programming. *Geoderma*, *303*, 52-59. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706117300174

24. Mousavi, S. N., Saleh, I., and Akbari, S. M. (2015). The Optimal cropping pattern and its impact on water resources management (Case study: Mrvdsht- Karbala region). Water Engineering, 7: pp. 101-110. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706117300174

25. Pedro-Monzonís, M., Jiménez-Fernández, P., Solera, A., & Jiménez-Gavilán, P. (2016). The use of AQUATOOL DSS applied to the of Environmental-Economic Accounting for Water (SEEAW). *Journal of hydrology*, *533*, 1-14. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002216941500921X

26. Rao, AR, Scanlan JP & Keane AJ. (2007). Applying Multiobjective Cost andWeight Optimization to the Initial Design of Turbine Disks. J. Mech. Des., 129: 1303. https://asmedigitalcollection.asme.org/mechanicaldesign/article-abstract/129/12/1303/461929/Applying-Multiobjective-Cost-and-Weight

27. Tovar-Facio, J., Guerras, L. S., Ponce-Ortega, J. M., & Martin, M. (2021). Sustainable Energy Transition Considering the Water–Energy Nexus: A Multiobjective Optimization Framework. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 9(10), 3768-3780. https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acssuschemeng.0c08694

28. Xu, Z. (2000). On consistency of the weighted geometric mean complex judgement matrix in AHP. *European journal of operational research*, *126*(3), 683-687. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037722179900082X

29. Zeleny, M. (1973). Compromise programming. In Cochrane, J.; Zeleny, M., eds., Multiple Criteria Decision Making, 262–301. University of South Carolina Press, Columbia, 1973. https://cir.nii.ac.jp/crid/1573387450346632704