https://gep.ui.ac.ir/?lang=en
Geography and Environmental Planning
E-ISSN: 2252- 0910
Document Type: Research Paper
Vol. 35, Issue 2, No.94, Summer 2024, pp.1- 4
Received: 21/08/2023 Accepted: 02/04/2024

Optimizing the Crop Cultivation Pattern of Sahne Township Based on Limited Water Resources

Azadeh Azami [1], Ali Asghar Mirakzadeh [2]*, Arash Azari [3]

1- MA Student, Department of Agriculture Extension and Education, Faculty of Agricultural, Razi University, Kermanshah, Iran
azami.azadeh89@gmail.com

2- Associate Professor, Department of Agriculture Extension and Education, Faculty of Agricultural, Razi University, Kermanshah, Iran
Mirakzadeh@razi.ac.ir

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural, Razi University, Kermanshah, Iran
a.azari@razi.ac.ir

Abstract

The increasing demand for limited resources, especially water resources, is one of the most fundamental problems of the agricultural sector. The excessive extraction of water resources, especially underground water resources, has caused the level of underground water resources to decrease. In this regard, planning for the optimal use of these limited resources, taking into account the conflicting goals of increasing profit, increasing performance, and environmental goals, including reducing the consumption of water, fertilizers, and chemical poisons seems necessary. It should be noted that decision-making in such conditions is associated with many complications. The present study aims at optimizing the production of agricultural products by simultaneously considering the goals of profit maximization, yield increase, and minimization of water, fertilizer, and chemical pesticide consumption by using the fuzzy goal programming in the Sanheh Plain for 7 products including wheat, sugar beet, alfalfa, coriander, sunflower, grain corn, and rice. Exploitation of deep

*Corresponding Author
Azami, A., Mirakzadeh, A. A., & Azari, A. (2024). Optimizing crop production in Sahne Township based on limited water resources. *Geography and Environmental Planning*, 35 (2), 1 - 4 .

2252-0910 © University of Isfahan
This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0).

10.22108/GEP.2024.138492.1598

and semi-deep wells of this plain was selected as the statistical population of the study. The results show that in the optimal model in the final scenario, in addition to the fact that the cultivated area is in a good condition and less than the existing condition, the economic benefit environmental goals and increased yield have also been provided. As a result, it is suggested that to obtain better results in the studied society, the current situation should be gradually improved and the model should be updated to ensure the expected results according to the existing conditions.
Keywords: Agricultural Development, Optimization, Multi-criteria Decision Making, Fuzzy Goal, Resource limitation, Programming.

Introduction

Due to agricultural activities that depend heavily on water resources, a shortage of water poses a significant challenge to maintaining income-generating production activities and making efficient use of resources, necessitating the use of a complementary water source (Muditha Perera, 2009). A thorough analysis of Iran's water resource situation reveals significant issues. The country's water situation has gotten to a critical point due to frequent droughts and excessive surface and subsurface water harvesting (Madani et al., 2016). This has led to the country moving toward the escalation of long-term water tensions. Furthermore, there should be a rise in the number of forbidden plains, which hold over 95% of the nation's subsurface water potential (Ministry of Energy, 2019). However, under the current agricultural system, farmers view maximizing profit as their primary objective and constantly raise input costs to increase profit. An imbalance between agriculture and the environment has resulted from excessive use, which has lowered agricultural product quality standards and even contaminated the environment (Suying, 2017). All of the plains in the agricultural hub province of Kermanshah are in poor condition. The 3% decrease in rainfall over the same long-term period has also led to an increase in the amount of subsurface water resources being extracted. This sum suggests a nine percent reduction in the Sahneh Plain (Regional Water Company of Kermanshah Province, 2023). We see the cultivation of water-intensive crops like rice, the use of traditional irrigation methods, the illegal drilling of wells and the deepening of underground wells, the negligent harvesting of these resources, and the negligent application of chemical fertilizers despite these issues. The result of the country's trustees for water resources' efforts to protect and replenish existing resources and use water as efficiently as possible has been undermined by the pursuit of economic profit maximization, despite the deplorable state of the environment and water resources, which farmers are concerned about. In such a situation, implementing tactics to maximize product output while maximizing the utilization of available resources can be considered a suitable course of action.

Materials and Methods

This applied research was carried out using the survey method. For the data analysis, descriptive-analytical data processing was employed. In order to maximize profit, increase yield, and minimize the use of water, chemical fertilizers, and chemical poisons in the Sahneh Plain, this research was conducted to optimize agricultural product production. Users of deep and semi-deep wells (421 users) comprised the investigated community. The Cochran formula, which has 201 users, was used to calculate the sample size. The Agricultural Organization, the Regional Water Organization of Kermanshah Province, the Water Resources Management of Iran, and the Statistics Organization were used to gather secondary data. A researcher-made questionnaire was used to gather the necessary data for the field section. After collecting the data according to the scenarios, the information related to the decision variables for each decision variable is extracted separately and replaced in the objective function. To verify the intended scenarios, a fuzzy goal-planning technique was employed.

Research Findings

Seven irrigated crops with the greatest area under cultivation have been studied as decision factors in this study: Wheat, sugar beet, coriander, sunflower, alfalfa, grain corn, and rice are some of these products.

Results of the first objective: profit maximization

This scenario defines 7 decision variables, 1 fuzzy constraint, and 45 definite constraints in total. The model's results indicate that, if maximizing profit is the sole objective, then cultivating wheat, sugar beet, and alfalfa crops, which yield the highest scenario profit, should be taken into consideration.

The results of the second objective: increasing performance

In this scenario, a total of 45 definite constraints, 2 fuzzy constraints, and 7 decision variables are defined. The most optimal possible state, in which the sum of deviations in the objective function is zero, is an increase of 77.7% in the area under wheat cultivation and 34.52% in the area under sugar beet cultivation. In the above scenario, increasing the yield of two crops, wheat and sugar beet, is more strategically important. Therefore, it is possible to use the above function in situations where only increasing performance is of interest.

The results of the third objective: minimizing the consumption of water, fertilizers, and chemical poisons

In this scenario, a total of 45 deterministic constraints, 3 fuzzy constraints, and 7 decision variables are defined. In this function, three ideas of minimizing the consumption of water, fertilizer, and chemical poisons are simultaneously included in the model. According to the obtained results, it can be concluded that the goal of minimizing the consumption of water, fertilizer, and chemical toxins will be achieved by considering the cultivation of crops such as sunflower, coriander, and wheat. In addition, the production of crops such as rice and alfalfa should be avoided.

The results of the fourth objective: Optimizing the production of agricultural products by simultaneously considering the goals of maximizing profit-increasing yield and minimizing the consumption of water, fertilizers, and chemical pesticides

In this scenario, a total of 45 definite constraints, 6 fuzzy constraints, and 7 decision variables are defined. The above goal seeks to cover as many beneficiaries as possible. The results obtained from the analysis of the obtained model show that the highest rate of achieving the result is related to the sunflower crop. Therefore, the cultivation of the above crop can provide favorable economic benefits for farmers. In addition, from an environmental point of view, it has met the goal of minimizing the use of fertilizers and chemical poisons due to the use of less water and less use of fertilizers and chemical poisons than other products. In general, to achieve the above goal, the cultivation of crops such as sunflower, sugar beet, and alfalfa should be on the agenda, and on the other hand, corn cultivation, which has the lowest rate of achieving the goal, should be avoided.

Water Consumption

Examining the amount of water consumption in all the investigated scenarios shows a reduction in consumption compared to the current situation. In the high-level profit maximization scenario allocated to the alfalfa product, which is caused by the high economic value of this product, it has caused the lowest amount of water reduction compared to the existing situation. In the second

scenario, however, due to the consideration of two crops, wheat and sugar beet, and not considering other crops in the water consumption model, it may be placed in the lowest state compared to other scenarios. In the third scenario, based on the aim of minimizing the consumption of water, fertilizers, and chemical pesticides, the cultivation of sunflower, coriander, and wheat should be considered. On the other hand, crops such as rice and corn should be avoided. In the fourth goal, the three goals of profit maximization, efficiency increase, and minimization of water, chemical fertilizer, and chemical poison consumption are taken into consideration at the same time. In the above function, the amount of water consumption has decreased significantly compared to the existing conditions, which can be caused by the decrease in the area under rice cultivation. In general, the obtained results show that if the optimized model is used, the amount of water consumption will decrease by 1023/15$\times 10^3 m^3$ compared to the existing state

Discussion of Results and Conclusions

It is necessary to employ strategies that enable the simultaneous consideration of these competing objectives in order to arrive at this model. As the seven crops with the largest cultivated area in the community under study (i.e. wheat, sugar beet, alfalfa, coriander, sunflower, seed corn, and rice), the present study was conducted to maximize crop productivity in the Sahneh Plain. Farmers' cultivation practices are not optimal, according to a comparison of the results from the optimized proposed model regarding all of the study area's limitations. Optimizing this model appears to be essential for providing farmers with the expected profit while also allocating scarce resources in the best possible way. The suggested model has accomplished all the intended objectives of raising profit, yield, and decreasing water, fertilizer, and chemical toxicity. The model's optimization results demonstrate that, despite a rise in profit, the above model's application has resulted in a notable reduction in water consumption. It recommended taking action to encourage farmers to use this model by putting in place support programs and policies from the government and pertinent institutions, as a new model might be difficult for the society to accept.

جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی
سال ۳۵، پیاپی ۹۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۱۱۴– ۸۷
وصـول: ۱۴۰۲/۵/۳۰ پـذیرش: ۱۴۰۳/۱/۱۴

مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات زراعی شهرستان صحنه براساس محدودیت منابع

آزاده اعظمی، دانشجوی کارشناسی ارشد توسعهٔ روستایی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
azami.azadeh89@gmail.com
علی‌اصغر میرک‌زاده *، دانشیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
Mirakzadeh@razi.ac.ir
آرش آذری، دانشیار گروه مهندسی منابع آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
a.azari@razi.ac.ir

چکیده

رشـد روزافزون تقاضـا برای منابع محدود به‌ویژه منابع آب یکی از اسـاسـی‌ترین مسـائل بخش کشـاورزی اسـت به طوری که برداشـت بی‌رویه از منابع آبی به‌ویژه منابع آب زیرزمینی سـبب کاهش سـطح منابع آب زیرزمینی شـده اسـت. در همین راسـتا، برنامه‌ریزی در راستای استفادهٔ بهینه از این منابع محدود با در نظر گرفتن هدف‌های متضاد ضروری است؛ بنابراین باید توجه داشت که تصمیم‌گیری در چنین شرایطی با پیچیدگی‌های بسیاری همراه است. در پژوهش حاضر بهینه‌سازی تولید محصولات زراعی با در نظر گرفتن همزمان تولید آرمان‌های حداکثرسازی سود، افزایش عملکرد و کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی در دشـت صـحنه برای ۷ محصـول گندم، چغندرقند، یونجه، گشـنیز، آفتابگردان، ذرت دانه‌ای و برنج بررسـی می‌شـود. بهره‌برداران از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق این دشـت به‌عنوان جامعهٔ آماری مطالعه‌شـده انتخاب شـد. مقایسـهٔ الگوی کشـت موجود و سـطح تولید بهینه‌شـده، بهینه‌نبودن وضـعیت موجود به‌ویژه در بُعد زیسـت‌محیطی را نشـان می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که میزان مصـرف آب در بالاترین حد از وضعیت موجود در دشت صحنه قرار دارد. این موضوع اقتصادی‌بودن سیستم کشت موجود را تأیید می‌کند. نتایج نشان می‌دهد در مدل بهینهٔ سناریوی نهایی بررسی‌شده علاوه‌بر آنکه سطح کشت در وضعیت مناسب و کمتر از وضعیت موجود قرار دارد، سود اقتصادی، هدف‌های زیست‌محیطی و افزایش عملکرد نیز تأمین شده است؛ درنتیجه پیشنهاد می‌شود که برای حصول نتایج بهتر در جامعهٔ مطالعه‌شـده به‌تدریج به اصـلاح وضـعیت موجود اقدام و سـپس برای اطمینان از بروز نتایج مورد انتظار باتوجه به شـرایط موجود، مدل بهینه به روز رسانی شود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی، بهینه‌سازی، توسعهٔ کشاورزی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، آرمانی فازی، محدودیت منابع.

*نویسنده مسؤول

اعظمی، آزاده، میرک زاده، علی اصغر، آذری، آرش. (۱۴۰۳). بهینه سازی تولید محصولات زراعی شهرستان صحنه بر اساس محدودیت منابع آب. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۳۵ (۲)، ۱۱۴– ۸۷.

2252-0910 © University of Isfahan
This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0).

10.22108/GEP.2024.138492.1598

مقدمه

باوجود آنکه محصولات کشاورزی جزء جدایی‌ناپذیر زندگی روزمره مردم است (Shen et al., 2020)، به‌دلیل ماهیت فعالیت‌ها کشاورزی همواره به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کنندهٔ منابع آبی بوده است (یوسف‌دوست و همکاران، ۱۳۹۵). در سال‌های اخیر مدیریت نادرست منابع و به‌ویژه استفاده از آب آبیاری در کشورهای درحال توسعه یکی از مهم‌ترین موانع پیش رو بخش کشاورزی است (Karthikeyan et al., 2020). به‌گونه‌ای که می‌توان گفت پایداری جزء با مدیریت صحیح منابع آب میسر نمی‌شود (سروریان و سلیمانی، ۱۴۰۰). درواقع، به‌دلیل وابستگی فعالیت‌های کشاورزی به منابع آبی، کمبود آب مانعی بزرگ برای استفادهٔ مؤثر از منابع و حفظ فعالیت‌های تولیدی درآمدزاست که همین مسئله استفاده از یک منبع مکمل آب را ضروری می‌کند (Muditha- Perera, 2009). از سویی دیگر، خشکسالی‌های طولانی‌مدت نیز سبب افزایش وابستگی محصول به منابع آب زیرزمینی برای آبیاری شده است (Karthikeyan et al., 2020). از آنجایی که کشاورزان در سیستم کشت موجود حداکثر سود را به‌عنوان هدف اصلی درنظر می‌گیرند، برای دستیابی به سود بیشتر به‌طور مداوم، ورودی را افزایش می‌دهند. استفادهٔ بیش از حد از اب، کود و سموم شیمیایی منجر به کاهش استانداردهای کیفیت محصولات کشاورزی و حتی آلودگی محیط زیست شده که این مسئله ازطرفی، بی‌تعادلی محیط زیست و کشاورزی را به دنبال داشته است (Suying, 2017) و از طرف دیگر، سبب به وجود آمدن مشکلات زیست محیطی زیادی شده است (Savci, 2012).

نگاهی به وضعیت منابع آب در ایران نشان از وجود مشکلات جدّی دارد. خشکسالی‌های مکرر همراه با برداشت بیش از حد از آب‌های سطحی و زیرزمینی وضعیت آب کشور را به سطح بحرانی رسانده (Madani et al., 2016) و به‌دنبال آن سبب شده است کشور به سمت تشدید تنش‌های آبی بلندمدت حرکت کند و به این ترتیب بر تعداد دشت‌های ممنوعه که بیش از ۹۵ درصد پتانسیل آب زیرزمینی کشور را در خود جای داده‌اند، افزوده شود (مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۸). استان کرمانشاه به‌عنوان قطب کشاورزی در غرب کشور حدود ٤/۳ درصد از کل تولید کشور را به خود اختصاص داده است (سازمان امور اراضی، ۱٤۰۰). آمارها نشان از کاهش ۳درصدی میزان بارندگی نسبت به دورهٔ مشابه بلندمدت دارد که سبب افزایش استحصال از منابع آب زیرزمینی شده است. این میزان درسطح شهرستان صحنه کاهشی ۹درصدی را نشان می‌دهد (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمانشاه ، ۱٤۰۲). با وجود این، توسعهٔ کشت برنج در اراضی بالادست (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، ۱۳۹۹) در کنار استفاده از شیوه‌های سنتی آبیاری، حفر غیرمجاز چاه و افزایش عمق چاه‌های زیرزمینی و برداشت بی‌رویه از این منابع و استفادهٔ بیش از حد از کودهای شیمیایی سبب بحرانی‌شدن وضعیت شده است. این درحالی است که برنامه‌ها و تلاش‌های متولیان منابع آبی کشور در راستای بازسازی و حفظ منابع موجود و بهینه‌سازی مصرف منابع آب است؛ اما حداکثرسازی سود اقتصادی بدون توجه به وضعیت نامناسب منابع آب و محیط زیست که مورد توجه کشاورزان است، سبب تخریب نتایج تلاش‌های متولیان منابع آبی کشور شده است.

به نظر می‌رسد یافتن روشی برای متقاعدکردن کشاورزان به تولید محصولات با مقدار مشخص در شرایطی که حداکثرسازی سود و استفادهٔ بهینه از منابع آب مورد توجه است، می‌تواند بسیار مؤثر باشد (جهانتیغ، ۱٤۰۱). درواقع،

باتوجه به محدودبودن اراضی و منابع که عمده‌ترین محدودیت در تولید محصولات کشاورزی است (Tang et al., 2020)، ضروری است ساختار کشاورزی برای بهبود کارآیی محصولات کشاورزی تنظیم شود و سپس برای حل معضل توسعهٔ کشاورزی، تخصیص منابع کشاورزی افزایش و کیفیت و بهره‌وری تولید کشاورزی ارتقا یابد (Suying, 2017) و به‌دنبال آن برنامه‌ریزی به روشی صورت پذیرد که بتواند روابط میان کلیهٔ فعالیت‌های کشاورزی را به‌صورت پویا در نظر بگیرد (امینی، ۱۳۹۲). به عبارت دقیق‌تر، باتوجه به اینکه ذی‌نفعان مختلفی هدف‌های مختلف و گاهی متضاد را در بخش کشاورزی دنبال می‌کنند، استفاده از روش‌هایی که امکان تحقق هدف‌های مختلف و گاهی متضاد را فراهم آورد، می‌تواند بسیار مؤثر باشد. در این راستا، استراتژی‌های استفادهٔ بهینه از منابع می‌تواند شایان توجه قرار گیرد (Tang et al., 2020). تکنیک‌های بهینه‌سازی مانند برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی غیرخطی، برنامه‌ریزی پویا و الگوریتم‌های ژنتیک روشی مؤثر و کارآمد برای مدیریت منابع آب و زمین کشاورزی هستند (Li et al., 2020).

بسیاری از محققان طراحی و اجرای الگوی کشت را به‌عنوان یک استراتژی مناسب معرفی می‌کنند. پژوهش‌های گسترده‌ای نیز دربارهٔ این مسئله انجام شده است. این درحالی است که لازمهٔ اجرای یک الگوی کشت حذف و یا وارد کردن برخی محصولات به الگوی کشت موجود است که کشاورزان کمتر پذیرفته‌اند. در این میان، اتخاذ راهبردهای بهینه‌سازی تولید محصولات زراعی که در آن هیچ‌یک از محصولات از الگوی کشت موجود حذف نمی‌شود، می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مناسب بررسی شود. باتوجه به اهمیت و محدودیت منابع آب دربارهٔ بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی مطالعاتی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. بررسی مطالعات صورت‌گرفته به‌طور کلی نشان می‌دهد که محققان به حداکثرسازی بازدهٔ اقتصادی براساس محدودیت منابع آب بیشتر توجه کرده‌اند.

آسیابانی (۱۳۹۵) پژوهشی با عنوان «تخصیص بهینهٔ نهاده‌های کشاورزی به مزارع استان البرز» انجام داد. محقق در این مطالعه تعیین سطح بهینهٔ اختصاص نهاده‌های کشاورزی را به محصولات زراعی با استفاده از الگوی کشت و توجه به مزیت نسبی برای کشاورزان شهرستان نظرآباد در استان البرز بررسی کرده است. در این پژوهش از رهیافت بیشینهٔ بی‌نظمی استفاده شده است. نتایج نشان داد که افزایش بازدهٔ خالص موجب کاهش هزینه‌های کل تولید می‌شود و رعایت الگوی کشت بهینه با در نظر گرفتن مزیت نسبی سود چشمگیری را برای کشاورزان نمونه به همراه دارد.

راحلی نمین (۱۳۹۵) پژوهشی با عنوان «اولویت‌بندی و بهینه‌سازی تخصیص اراضی برای محصولات زراعی شرق استان گلستان» انجام داد. محقق در این مطالعه به بهینه‌سازی، تخصیص اراضی و اولویت‌بندی محصولات کشاورزی آبی شامل گندم، جو، برنج، کلزا، سویا و ذرت در شرق استان گلستان توجه کرده است. بدین منظور از رویکرد سناریوسازی و درنظر گرفتن شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی با استفاده از ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری MCAT استفاده شده است. نتایج نشان داد که کشت برنج باتوجه به مصرف فراوان آب ازنظر محیط زیستی مقرون به صرفه نیست. همچنین، در هر دو سناریوی اقتصادی و اجتماعی کشت سویا به دلایلی همچون بی‌ثباتی قیمت، کمبود ادوات زراعی، مکانیزاسیون، ادوات و ماشین‌آلات خاص مراحل کاشت، وجین، سم‌پاشی و برداشت دانه رد می‌شود.

یوسف دوست و همکاران (۱۳۹۵) پژوهشی با عنوان «تعیین سطح زیر کشت بهینهٔ برخی از محصولات کشاورزی در شرایط متفاوت آب‌وهوایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در دشت قزوین» انجام دادند. محققان در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. نتایج نشان داد که در شرایط آب‌وهوایی نرمال، مرطوب، خشک و گرم و خشک سود حاصل از الگوی کشت جدید ارائه‌شدهٔ مدل نسبت به الگوی کشت فعلی افزایش چشمگیری داشته است؛ بنابراین محققان الگوی کشت جدید را پیشنهاد کردند؛ زیرا در این الگو سود کشاورز تأمین و حجم آب ذخیره‌شده در مخزن برای نیازهای دیگر سد ذخیره می‌شود.

عوض یار و همکارن (۱۳۹۷) پژوهشی با عنوان «بهینه‌سازی الگوی کشت جهت افزایش بازده آبیاری در اراضی پایاب سد ملاصدرا در استان فارس» و با هدف بیشینه‌سازی سود ناخالص سالانه و تخصیص بهینهٔ آب‌های سطحی و زیرزمینی با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی و محدودیت‌های قطعی و تصادفی انجام دادند. محققان بیان کردند که با اعمال برنامه‌ریزی بلندمدت از یکسو سود ناخالص سالانهٔ کشاورزان منطقه از ۳۹۰ میلیارد ریال به ۶۰۲ میلیارد ریال در سال افزایش می‌یابد و از سویی دیگر، سالانه بیش از ۱ میلیون مترمکعب نیز در مصرف آب‌های زیرزمینی صرفه‌جویی می‌شود.

نظری‌فر و همکاران (۱۳۹۷) پژوهشی با عنوان «توسعهٔ یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی برای تعیین الگوی کشت بهینه در شرایط کم آبیاری» انجام دادند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در تمامی سناریوهای به‌دست‌آمده محصول گندم بیشترین سطح زیرکشت و آفتابگردان کمترین سطح زیرکشت را داشته است. درواقع، ترکیب متفاوت از سناریوها نتایج مختلفی را نشان می‌دهد.

علی‌پور و همکاران (۱۳۹۸) پژوهشی با عنوان «تدوین ترکیب بهینهٔ تولید محصولات زراعی با تأکید بر افزایش کارایی مصرف آب: مطالعهٔ موردی: مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین» انجام دادند. این محققان یک ترکیب بهینهٔ تولید محصولات زراعی را با تأکید بر افزایش کارایی مصرف آب پیشنهاد کردند که در آن خالص انرژی تولیدی، سود ناخالص، و کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. هدف‌های سودآوری و افزایش تولید که مدیران واحدهایی تولیدی به آن توجه کرده‌اند، به میزان چشمگیری در مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین دردسترس خواهد بود.

سروریان و سلیمانی (۱۴۰۰) پژوهشی با عنوان «بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات دشت مهران براساس محدودیت‌های منابع آب، سطح زیرکشت و تنوع زیستی» انجام دادند. نتایج نشان داد که در تمام سناریوها سود حاصل‌شده و تنوع زیستی بیشتر از شرایط موجود است. گندم بیشترین سطح زیرکشت و گوجه‌فرنگی، یونجه و ذرت کمترین سطح زیرکشت را به‌دلیل سود پایین و مصرف فراوان آب داشته است.

پناهی و فلسفیان (۱۴۰۰) پژوهشی با عنوان «بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی در دشت شبستر تحت شرایط محدودیت منابع آب» انجام دادند. محققان در این مطالعه بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی را در دشت شبستر باتوجه به محدودیت آب و با هدف دستیابی همزمان به حداکثر سود و حداقل مصرف آب زیرسناریوهای مختلف بررسی کردند. بدین منظور از برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی آرمانی بهره گرفته شد. نتایج حکایت از افزایش

سطح زیرکشت جو آبی و دیم و کلزا دارد که در این میان، بیشترین افزایش سطح زیرکشت مربوط به محصول کلزا بوده که یک محصول استراتژیک است و کشت گندم دیم نیز در منطقه همچنان حفظ شده است.

جهانتیغ (۱۴۰۱) پژوهشی با عنوان «بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی در راستای مدیریت مصرف آب در شهرستان گرگان» انجام داد. محقق در این مطالعهٔ بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی را در راستای مدیریت مصرف آب در شهرستان گرگان با استفاده از الگوریتم ژنتیک و زیر سه سناریو حداکثرسازی بازدهٔ اقتصادی، حداکثرسازی تولید و حداکثرسازی همزمان بازدهٔ اقتصادی و تولید با تأکید بر مدیریت مصرف آب بررسی کرده است. نتایج نشان داد که دستیابی به هدف‌های فوق با حذف محصول ذرت علوفه‌ای، کاهش سطح زیرکشت برنج و افزایش سطح زیر کشت آفتابگردان، سویا و پنبه امکان‌پذیر است.

صدیق‌کیا و همکاران پژوهشی با عنوان «بهینه‌سازی الگوهای کشت کشاورزی تحت محدودیت‌های مصرف آب آبیاری» انجام دادند. محققان این مطالعه را به‌دلیل الزامات جریان زیست‌محیطی و تغییرات آب‌وهوا با استفاده از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات و برای به حداکثر رساندن سود اقتصادی در حوضهٔ رودخانهٔ تجن انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که به کار گرفتن چارچوب زیست‌محیطی به طور چشمگیری عرضهٔ آبیاری را کاهش می‌دهد و اثرهای فراوانی بر سود کشاورزان دارد (Sedighkia et al., 2023).

مهرپور و همکاران پژوهشی با عنوان «ادغام ویژگی‌های استراتژیک و عملیاتی برای محاسبهٔ سطح کشت بهینهٔ محصولات یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه» انجام دادند. محققان در این مطالعه با در نظر گرفتن معیارهای استراتژیک طبقه‌بندی‌شده ازنظر پایداری ازجمله ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی دریافتند که سیر خشک، شلغم، علوفه، ارزن و خصیل محصولات مناسب برای دورهٔ شش ماههٔ بهار و تابستان است؛ درحالی که سیب‌زمینی، چغندر علوفه، شاه‌دانه و ماش جایگزین‌های بهینه برای دورهٔ شش ماهه است (Mehrpour et al., 2024).

گروت و همکاران پژوهشی با عنوان «بهینه‌سازی چندمنظوره و طراحی سیستم‌های کشاورزی» انجام دادند. محققان در این مطالعه با ارائهٔ مدل FarmDESIGN و برای غلبه بر محدودیت‌ها یک الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه را که یک مجموعهٔ بزرگ از پیکربندی‌های بهینهٔ مزرعه را ایجاد می‌کند، با هدف به حداکثررساندن سود عملیاتی و تعادل مواد آلی و به حداقل‌رساندن نیروی کار و تلفات ازت خاک در کشور هلند بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل درمقایسه با پیکربندی موجود مزرعه عملکرد بهتری داشته و تغییرات به‌نسبت کوچک در پیکربندی مزرعه منجر به بهبود چشمگیر عملکرد مزرعه شده است (Groot et al., 2012).

مانوس و همکاران پژوهشی با عنوان «بهینه‌سازی پایدار تولیدات کشاورزی» انجام دادند. محققان در این مطالعه با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی مبتنی بر تکنیک‌های چندمعیاره برای بهینه‌سازی پایدار تولیدهای کشاورزی در منطقهٔ تسالی یونان نشان دادند که برنامهٔ تولید بهینه منجر به بازدهٔ ناخالص بیشتر، مصرف کمتر کودها و مصرف کمتر آب آبیاری نسبت به طرح تولید موجود شده است (Manos et al., 2013).

تان و همکاران پژوهشی با عنوان «استفادهٔ بهینه از منابع آب و زمین کشاورزی ازطریق پیکربندی مجدد ساختار کاشت محصول تحت اهداف اجتماعی–اقتصادی و اکولوژیکی» انجام دادند. آنها استفادهٔ بهینه از آب و منابع کشاورزی

را با پیکربندی مجدد ساختار کشت گیاهان زراعی و با هدف‌های اجتماعی-اقتصادی و اکولوژیکی در شمال غربی چین و استفاده از روش برنامه‌نویسی فازی-هدفمند چندمنظوره (MOFRP) را برای حمایت از استفادهٔ بهینه از زمین و آب بررسی کردند و نتیجه گرفتند استفاده از زمین و آب در مقایسه با وضع موجود برنامهٔ بهینه‌سازی شده مزایای اقتصادی و زیست محیطی را افزایش می‌دهد (Tan et al., 2017).

گوپتا و همکاران پژوهشی با عنوان «یک مدل برنامه‌ریزی هدف چندمعیاره برای تجزیه‌وتحلیل اهداف پایدار هند» انجام دادند. آنها برای دستیابی به هدف‌های آینده درزمینه‌های تولید ناخالص داخلی، مصرف برق و انتشار گازهای گلخانه‌ای و با استفاده از روش مدل‌سازی چندمعیاره در چارچوب مسئلهٔ برنامه‌نویسی خطی مدلی را طراحی کردند که امکان تخصیص بهینهٔ منابع را فراهم می‌آورد (Gupta et al., 2017).

جین و همکاران پژوهشی با عنوان «یک الگوریتم چندهدفه برای بهینه‌سازی الگوی محصول در کشاورزی» انجام دادند. آنها الگوریتم چندهدفه را با استفاده از رویکرد فراابتکاری برای بهینه‌سازی الگوی محصول در کشاورزی پیشنهاد کردند. در این مطالعه الگوریتم پیشنهادی با در نظر گرفتن هشت محصول برای یافتن یک الگوی کشت بهینه که بازدهٔ خالص سالانه را همراه با کاهش مصرف کود افزایش می‌دهد، تجزیه‌وتحلیل شد. اجرای مدل برنامه‌ریزی زراعی فوق افزایش سطح زیرکشت نیشکر، جوار و بادام زمینی را درعین کاهش سطح محصول برنج و پنبه پیشنهاد می‌کند (Jain et al., 2021).

هوآنگ و همکاران پژوهشی با عنوان «بهینه‌سازی الگوی کشت با در نظر گرفتن قیمت سایه آب و جریان آب مجازی: مطالعهٔ موردی حوضهٔ رودخانهٔ زرد در چین» انجام دادند. این پژوهشگران پی بردند با الگوی کشت بهینه که به‌طور مناسب، مقیاس کاشت سبزیجات را با قیمت ردپای آب و مزیت نسبی بیشتر گسترش و کاشت محصول را با قیمت ردپای آب پایین‌تر و مصرف آب آبیاری بیشتر (مانند سویا و گندم) کاهش می‌دهد، می‌توان کمبود آب آبی را کاهش داد (Huang et al., 2023).

لیو و همکاران در پژوهشی با عنوان «بهینه‌سازی تمام مقیاس ساختار کاشت فضایی محصول و اثرات مرتبط با آن در بخش میانی-بالایی حوضهٔ رودخانهٔ هیهه در استان گانسو، چین» دریافتند که بهینه‌سازی ساختار کاشت به‌طور چشمگیری مزایای منابع آب منطقه‌ای و مزایای زیست‌محیطی را در مقیاس‌های مختلف بهبود می‌بخشد (Liu et al., 2022).

جین و همکاران در پژوهشی با عنوان «ارزیابی الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری برای تخصیص بهینهٔ منابع آب سطحی و زیرزمینی برای تولید محصول با استفاده از الگوریتم شکارچیان دریایی» دریافتند که برای دستیابی به راه‌حل‌های بهینه باید مدیران آب یک رویکرد بهینه‌سازی مناسب را براساس ماهیت مسئله انتخاب کنند. مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن انحراف سطح زیر کشت ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪ و ۲۵٪ بهینه شد و سپس میزان مجاز استخراج آب زیرزمینی به‌طور تصادفی بین ۰٪ و ۷۰٪ درطول فرآیند بهینه‌سازی تغییر کرد (Jain et al., 2023).

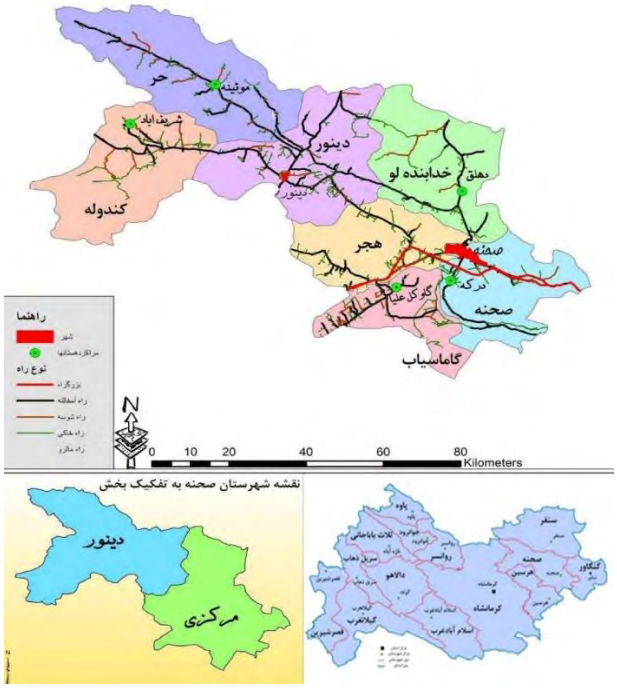
بررسی مطالعات صورت‌گرفته در این زمینه نشان می‌دهد که محققان همواره به بهینه‌سازی الگوی کشت و به‌ویژه محصولات زراعی همواره توجه کرده‌اند. در بیشتر مطالعات صورت‌گرفته در تدوین مدل‌های پیشنهادی هدف تعیین

الگوی کشت جدید با حذف و یا واردکردن محصول جدید به الگوی کشت موجود است. این درحالی است که تدوین الگوی کشت باید براساس پتانسل‌های اقتصادی و جغرافیایی و دانش بومی یک منطقه تعریف شده باشد؛ به‌گونه‌ای که پذیرش آن ازسوی کشاورزان با مشکل مواجه نشود. در پژوهش پیش‌رو بهینه‌سازی براساس محصولات موجود و زیرکشت و با فرض ثابت‌بودن میزان عملکرد انجام شده است و هیچ‌یک از متغیرهای تصمیم در سناریوهای چهارگانهٔ حداکثرسازی سود، کمینه‌سازی مصرف آب کود و سموم شیمیایی، افزایش عملکرد و در نظر گرفتن همزمان سناریوهای فوق حذف نشده است. در مدل پیشنهادی علاوه‌بر بهینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی به‌عنوان یکی از سناریوهای پژوهش، بهینه‌بودن عوامل تولید (نیروی کار، ماشین‌آلات کشاورزی، زمین و سرمایه، کود و سموم شیمیایی، آب) نیز لحاظ شده است. مدل فوق براساس ترکیبی از توابع متضاد طراحی شده است که امکان دستیابی همزمان به آرمان‌های فوق را براساس تمامی محدودیت‌های موجود در یک الگوی کشت به کشاورزان می‌دهد. علاوه‌بر اینکه تاکنون مطالعه‌ای درزمینهٔ بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات زراعی در دشت صحنه انجام نشده است، قرارگرفتن این دشت در فهرست دشت‌های ممنوعهٔ استان به‌علت افت سطح آب از سال ۱۳۹۷ (وزارت نیرو، ۱۳۹۸) نشان از بحرانی‌بودن وضعیت منابع آبی در این شهرستان دارد. نکتهٔ مهم تمایل بهره‌برداران به کشت محصولات آب‌بر در این شهرستان است. ممنوع‌بودن کشت این محصول در دشت صحنه منجر به امحا ۹۰۰ خزانه کشت برنج در خرداد ۱۴۰۱ در این منطقه شده است که می‌تواند سطح کشتی نزدیک به ۲۴۰۰ هکتار را زیر پوشش قرار دهد (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، ۱۴۰۲). بنابراین محققان در پژوهش حاضر ضمن تدوین مدلی بهینه با در نظر گرفتن همزمان آرمان‌های حداکثرسازی سود، کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی، افزایش عملکرد و بررسی میزان تغییرات مصرف آب در سناریوهای مختلف به‌دنبال پاسخگویی به این سؤال هستند که میزان مصرف آب در سناریوهای مختلف به چه میزان است و بهینه‌ترین حالت در کدام یک از سناریوهای بررسی‌شده اتفاق می‌افتد؟

معرفی منطقهٔ مطالعه‌شده

دشت صحنه با مساحتی در حدود ۱۶۱۲ کیلومتر مربع در شرق استان کرمانشاه، بین عرض‌های جغرافیایی ′۲۰ °۳۴ و ′۵۰ °۳۴ درجهٔ شمالی و طول‌های جغرافیایی ′۱۰ °۴۷ و ′۵۰ °۴۷ درجهٔ شرقی واقع شده است. براساس آخرین سرشماری، جمعیت این شهرستان درمجموع ۷۰۷۵۷ نفر است که ۳۴۳۲۵ نفر در منطقه‌های روستایی ساکن هستند. براساس تقسیمات کشوری این شهرستان ۲ شهر، ۲ بخش، ۷ دهستان و ۲۲۱ روستا دارد. مساحت اراضی زراعی زیر بهره‌برداری در این شهرستان ۳۴۲۵۵ هکتار است که با ۷۵۲۰ بهره‌بردار بهره‌برداری می‌شود. از این میزان ۱۳۶۴۸ هکتار آن را اراضی زراعی آبی تشکیل می‌دهد. ظرفیت‌های بسیار زیاد شهرستان صحنه در بخش کشاورزی به‌لحاظ تولید محصولات زراعی مانند جایگاه اول تولید برنج، سوم تولید جو (درگاه ملی آمار، ۱۳۹۹) و محصولات استراتژیک مانند گندم و چغندرقند زمینهٔ مناسبی را برای توسعهٔ بخش کشاورزی فراهم کرده است. داده‌های هواشناسی به‌لحاظ ویژگی‌های اقلیمی میانگین بارش ۲۱۳/۲ و متوسط دمای ۱۸/۵ را نشان می‌دهد که نشان از قرارگیری این دشت در منطقه‌های نیمه‌خشک دارد. همچنین، بررسی آخرین وضعیت بارندگی شهرستان صحنه کاهش

٪۱۴ بارندگی را در بلندمدت نشان می‌دهد (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، ۱۴۰۲). این شهرستان یکی از قطب‌های کشاورزی استان کرمانشاه است که در آن بارش به‌صورت پاییزه و بهاره انجام می‌گیرد. کشت محصولات بهاره شامل برنج، گشنیز، یونجه، چغندرقند، ذرت، گندم، آفتابگردان است که محصولاتی با نیاز آب بالا هستند. در سویی دیگر، کشاورزان به کشت محصولاتی مانند لوبیا و انواع صیفی‌جات به‌صورت کشت دوم بسیار توجه می‌کنند. این درحالی است که بررسی وضعیت روزهای بارانی درسطح شهرستان حکایت از کمترین میزان بارندگی در شش ماه نخست سال دارد که سبب شده است کشاورزان به استفاده از منابع آب زیرزمینی روی آورند. آخرین داده‌های جمع‌آوری‌شده تعداد ۴۲۱ حلقه چاه فعّال را در شهرستان صحنه تأیید می‌کند که بیشتر برای مصرف‌های کشاورزی بهره‌برداری می‌شود. ازطرفی، روند تغییرات تعداد بهره‌برداران براساس آمارهای مربوط به سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۰ نشان‌دهندهٔ رشد تقریبی ۲۸۲/۷۳ درصدی در طی یک دهه است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی شهرستان صحنه نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهرستان صحنه براساس آخرین تقسیمات کشوری (منبع: درگاه ملی آمار، ۱۳۹۹)

Figure 1: The geographical location of Sahneh city is based on the latest country divisions

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌لحاظ هدف کاربردی، ازنظر شیوهٔ گردآوری داده‌ها از نوع پژوهش‌های اسنادی و پیمایشی و ازلحاظ روش دستیابی به حقایق و داده‌پردازی توصیفی-تحلیلی است. جامعهٔ آماری شامل بهره‌برداران از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق درسطح شهرستان صحنه است (۴۲۱ بهره‌بردار) که حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران ۲۰۱ بهره‌بردار تعیین شده است. داده‌های لازم در بخش داده‌های اسنادی و کتابخانه‌ای که شامل داده‌های اولیه و ثانویه

همچون سطح زیرکشت محصولات آبی، تعداد بهره‌برداران چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق شهرستان صحنه، بررسی سطح منابع آب زیرزمینی در چند سال گذشته، میزان بارش سالیانه و تعداد ماه‌ها و روزهای بارانی شهرستان، روند سطح زیرکشت برنج محصولات آبی، بررسی الگوی کشت شهرستان صحنه و روند تغییرات اراضی زراعی استان از سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه، سازمان آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، مدیریت منابع آب ایران و سازمان آمار استعلام است، مورد استفاده قرار گرفته است. بررسی در بخش میدانی شامل بهره‌برداران از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق است که اطلاعات لازم با استفاده از پرسشنامهٔ محقق‌ساخته جمع‌آوری شده است. در پرسشنامهٔ مدنظر اطلاعات مربوط به نوع مالکیت، مساحت اراضی زیرکشت و آیش، اراضی آبی و دیم، محصولات زیرکشت و تقسیم‌بندی به‌لحاظ پاییزه و بهاره‌بودن محصولات پرسیده شده است. سپس برای هریک از متغیرهای تصمیم به‌صورت جداگانه و در قالب جدول اطلاعات لازم که شامل تعداد دفعات و ساعات آبیاری محصولات در ماه، میزان استفاده از سایر نهاده‌ها، بذر، کود و سموم شیمیایی لازم در یک هکتار از محصول، ادوات کشاورزی استفاده‌شده، ساعات استفاده درطول یک سال زراعی به‌صورت ماهانه برای هریک از محصولات در طی عملیات زراعی، نیروی کار لازم به‌صورت روزانه و ماهانه در طی یک سال زراعی، میزان برداشت محصول در هکتار و کل سرمایهٔ دردسترس کشاورزان است، پرسیده شده است. پرسشنامهٔ مدنظر شامل متغیرهای اسمی، ترتیبی و فاصله‌ای-نسبی است. بعد از جمع‌آوری داده‌ها باتوجه به آرمان‌های مدنظر، اطلاعات مربوط به متغیرهای تصمیم مانند محدودیت‌ها برای هر متغیر تصمیم به‌صورت جداگانه استخراج و در تابع هدف مدنظر جایگزین شد. در این پژوهش برای بررسی آرمان‌های مدنظر از تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی فازی استفاده شده است. یکی از مزایای استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی درمقایسه با سایر روش‌ها این است که در محیطی کنترل‌نشده و نادقیق و در زمانی که میان هدف‌های مختلف تضاد وجود دارد، امکان تصمیم‌گیری و رسیدن به منطقی‌ترین تصمیم را باتوجه به مجموع محدودیت‌ها فراهم می‌آورد. در پژوهش حاضر هدف‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و افزایش عملکرد به‌دلایلی همچون تأمین نیازهای نامحدود جامعه، تمایل به افزایش سطح رفاه اقتصادی و محدودبودن منابع دردسترس در تضاد کامل با یکدیگر قرار دارند. واضح است تعیین سطحی که در آن رفاه اقتصادی و نیازهای جامعه تأمین شود و محدودیت منابع مورد توجه قرار گیرد، جزء با بهره‌گیری از تکنیک‌هایی که امکان تخصیص بهینهٔ منابع را در شرایط عدم قطعیت فراهم آورد، وجود ندارد. همچنین، از آنجایی که در این پژوهش به هدف‌هایی توجه شده است که باتوجه به ماهیتشان قابل جمع نیستند و ممکن است درطول زمان دچار تغییر شوند، از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی استفاده شده است.

برنامه‌ریزی آرمانی فازی

برای تعیین الگوی بهینهٔ کشت محصولات زراعی از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی و برای ساخت توابع عضویت مربوط به آرمان‌های پژوهش از روش یانگ و همکاران (Yang et al., 1991) استفاده شده است. در برنامه‌ریزی آرمانی فازی تمایزی میان هدف‌ها و محدودیت‌ها وجود ندارد و این توابع به‌صورت تصمیم فازی وارد مدل می‌شوند و به‌جای تحقق یک هدف سطح رضایتمندی از چند آرمان مدنظر قرار می‌گیرد.

در محیط تصمیم‌گیری فازی هدف‌ها با توابع عضویت (Membership Functions) مربوط به خود که از تعریف تغییرات قابل تحمل بالا و پایین به دست می‌آید، مشخص می‌شود و نوع تابع عضویت بستگی به نوع هدف دارد. در این محیط دستیابی هدف فازی به سطح آرزویش به‌معنی دستیابی تابع عضویت مرتبط با آن به بیشترین مقدار (یک) است. توابع عضویت با تعیین‌کردن بالاترین مقدار (یک) به‌عنوان سطح مطلوب و معرفی متغیرهای انحرافی بالا و پایین برای هرکدام از آنها به هدف‌های عضویت تغییر پیدا می‌کنند. سپس متغیرهای انحرافی در تابع هدف تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی فازی براساس اهمیت دستیابی به مقدارهای مطلوب به حداقل می‌رسند (کهنسال و محمدیان، ۱۳۸۶). درصورتی که $f_i(X)$ نشان‌دهندهٔ iامین آرمان فازی با یک تابع عضویت مثلثی باشد، مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی به‌صورت ذیل فرمول‌بندی می‌شود:

اگر $b_i < f_i(0) \le b_i + t_i$ باشد:

$$\mu(x) = \frac{(b_i + t_i) - f_i(0)}{t_i} \quad (۱$$

اگر $b_i - t_i \le f_i(0) < b_i$ باشد:

$$\mu(x) = \frac{f_i(0) - (b_i - t_i)}{t_i} \quad (۲$$

اگر $f_i(0) > b_i + t_i$ و $f_i(0) < b_i - t_i$ باشد

$$\mu(x) = 0 \quad (۳$$

اگر $f_i(x) = b_i$ باشد

$$\mu(x) = 1 \quad (۴$$

در توابع فوق $(b_i - t_i)$ و $(b_i + t_i)$ به‌ترتیب محدودهٔ تغییرات قابل تحمل پایین و بالا نامیده می‌شوند. همچنین، b_i بیانگر سطح آرزو (Aspiration Level) یا هدف تعیین‌شدهٔ مرتبط با $f_i(0)$ است.

الف) تعیین متغیرهای پژوهش: در پژوهش حاضر ۷ محصول گندم، چغندرقند، یونجه، گشنیز، آفتابگردان، ذرت دانه‌ای و برنج به‌عنوان متغیرهای تصمیم انتخاب و با اندیس x_{ij} نام‌گذاری شده است. اندیس i مربوط به متغیرهای تصمیم و j مربوط به سطح زیرکشت محصولات است.

ب) سناریوهای پژوهش و توابع هدف: در برنامه‌ریزی آرمانی فازی، مدل ابتدا مجموعه درجه‌های عضویت، آرمان‌ها را مینیمم و سپس از بین مینیمم‌ها، ماکزیمم را انتخاب می‌کند که به‌ترتیب، انحرافات منفی و مثبت از iامین آرمان فازی را نشان می‌دهد. باتوجه به اهمیت یکسان هریک از آرمان‌ها، وزن یکسانی برای آنها درنظر گرفته می‌شود.

سناریو اول: بهینه‌سازی تولید محصولات زراعی با در نظر گرفتن آرمان حداکثرسازی سود

در این سناریو و تمامی سناریوهای پژوهش علاوه‌بر بهینه‌سازی الگوی کشت، عوامل تولید شامل نیروی کار، ماشین‌آلات، آب، کود و سموم شیمیایی، سرمایهٔ دردسترس و میزان اراضی زیرکشت به‌صورت کلی و میزان اراضی آبی درحالتی بهینه قرار می‌گیرند.

برای آرمان «حداکثرسازی سود» تابع هدف به‌صورت معادلهٔ ذیل تعریف می‌شود:

$$min = w_1 d_1^- \quad (۵$$

در تابع فوق d_1^- معرّف مجموع انحرافات منفی از تابع هدف آرمان حداکثرسازی سود و w_1 وزن تابع است.

تابع فوق از نوع ماکسیمم‌سازی و با هدف افزایش سود است؛ بنابراین پایین‌ترین حد قابل تحمل برای این تابع درنظر گرفته می‌شود. در این میان، پایین‌ترین حد ممکن میزان سود کشاورزان در شرایط موجود است. ازطرفی، حد مطلوب برای محدویت فوق افزایش ۲۰٪ سودآوردی محصولات کشاورزی است که باتوجه به انتظارات کشاورزان تعیین شده است. در این تابع مجموع انحرافات منفی در آرمان به حداقل می‌رسد. به این مفهوم که در تابع فوق اگر میزان سودآوری مدنظر از سطح بهینهٔ مدنظر کمتر باشد، این مقدار کمبود در مدل به حداقل می‌رسد.

سناریو دوم: بهینه‌سازی تولید محصولات زراعی با در نظر گرفتن آرمان افزایش عملکرد

یکی از هدف‌هایی که همواره مدنظر کشاورزان و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی است، افزایش عملکرد به‌خصوص با محصولات استراتژیک است. برای دستیابی به آرمان افزایش عملکرد نیاز است که مجموعه انحرافات منفی، حداقل شود. تابع هدف برای این آرمان به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$min = w_2 d_2^- + w_3 d_3^- \quad (۶$$

در تابع فوق d_2^- معرّف مجموع انحرافات منفی از تابع هدف برای آرمان افزایش عملکرد در محصول گندم، d_3^- مجموع انحرافات منفی از تابع هدف برای محصول چغندرقند ، w_2 و w_3 به‌ترتیب مربوط به وزن توابع گندم و چغندرقند است.

در آرمان مدنظر مجموع انحرافات منفی باید حداقل شود. در تابع فوق اگر میزان عملکرد از سطح بهینهٔ مدنظر کمتر باشد، این مقدار در مدل حداقل می‌شود.

سناریو سوم : بهینه‌سازی تولید محصولات زراعی با در نظر گرفتن آرمان کمینه‌سازی آب، مصرف کود و سموم شیمیایی

برای آرمان فوق تابع هدف به‌صورت معادلهٔ ذیل تعریف می‌شود:

$$min = w_4 d_4^+ + w_5 d_5^+ + w_6 d_6^+ \quad (۷$$

در تابع فوق d_4^- معرّف مجموع انحرافات منفی از تابع هدف آب در آرمان کمینه‌سازی آب، مصرف کود و سموم شیمیایی، d_5^- مجموع انحرافات منفی از تابع هدف کود شیمیایی در آرمان کمینه‌سازی آب، مصرف کود و سموم شیمیایی، d_6^- مجموع انحرافات منفی از تابع هدف سموم شیمیایی در آرمان کمینه‌سازی آب، مصرف کود و سموم شیمیایی، w_4 و w_5 w_6 به‌ترتیب مربوط به وزن توابع کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی است.

باتوجه به هدف کمینه‌سازی مصرف آب، کود شیمیایی و سموم شیمایی مجموع انحرافات مثبت در این آرمان باید حداقل شود؛ به این معنا که در این تابع اگر میزان مصرف آب، کود شیمیایی و سموم شیمیایی از سطح بهینهٔ مدنظر بیشتر باشد، این مقدار در مدل حداقل می‌شود.

سناریو چهارم: بهینه‌سازی تولید محصولات زراعی با در نظر گرفتن همزمان آرمان‌های حداکثرسازی سود و افزایش عملکرد و کمینه‌سازی مصرف آب، کود شیمیایی و سموم شیمیایی

در آرمان فوق تابع هدف به‌گونه‌ای تعریف می‌شود که مجموع انحرافات منفی آرمان حداکثرسازی سود، افزایش عملکرد و کمینه‌سازی مصرف آب حداقل شود. اگر میزان به‌دست‌آمده بیشتر از میزان مطلوب باشد، این میزان در مدل حداقل می‌شود و درنهایت، به یک جواب بهینه میرسد. تابع هدف به‌صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$minZ = w_1 d_1^- + w_2 d_2^- + w_3 d_3^- + w_4 d_4^+ + w_5 d_5^+ w_6 d_6^+ \quad (8$$

ج) تعیین محدودیت‌های مدل: محدودیت‌های موجود در این پژوهش در غلالب دو گروه محدودیت‌های قطعی شامل محدودیت نیروی کار به‌صورت ماهانه (۱۲ محدودیت)، محدودیت ماشین‌آلات به صورت ماهانه (۱۲ محدودیت)، محدودیت آب (۱۲ محدودیت)، محدودیت دسترسی به انواع کودهای ازته، فسفات و پتاس (۳ محدودیت)، محدودیت دسترسی به انواع سموم شامل علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش (۳ محدودیت)، محدودیت سرمایه (یک محدودیت)، دو محدودیت مربوط به زمین کشاورزی (اراضی به‌صورت کل و اراضی آب) و محدودیت‌های فازی بررسی می‌شود.

محدودیت نیروی کار: باتوجه به نقش نیروی کار در بخش کشاورزی هریک از مراحل کاشت تا برداشت به‌عنوان محدودیت درنظر گرفته شده است. در این پژوهش نیروی کار لازم برای هریک از متغیرهای تصمیم به‌صورت جداگانه تعیین و در مدل وارد شد. محدودیت مربوط به نیروی کار به‌صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{7} l_i X_i \leq L_j \quad (9$$

در تابع فوق X_i متغیر تصمیم، l_i نیروی کار لازم برای یک هکتار از محصول i و L_j نیروی کار برای هر محصول در ماه است.

محدودیت ماشین‌آلات: باتوجه به اهمیت مکانیزاسیون، دسترسی به ادوات کشاورزی در طی مراحل مختلف اهمیت فراوانی دارد. در این پژوهش ساعت کار هریک از ادوات به‌صورت ماهانه محاسبه و در مدل وارد شد.

$$\sum_{i=1}^{7} m_i X_i \leq M_j \quad (10$$

در این تابع X_i متغیر تصمیم، m_i ساعت کار ماشین‌آلات لازم برای یک هکتار از محصول، i و M_j کل ساعت کار ماشین‌آلات موجود است.

محدودیت آب: باتوجه به اهمیت منابع آبی و لزوم بهره‌برداری مناسب از این منابع محدودیت آب به‌عنوان یک محدودیت درنظر گرفته شده است. از آنجایی که نیاز آبی گیاهان در هریک از مراحل رشد متفاوت است، محدودیت فوق به‌صورت ماهانه برای هریک از متغیرهای تصمیم تعریف شده است.

$$\sum_{i=1}^{7} w_i X_i \leq W_j \qquad (11$$

در این معادله X_i متغیر تصمیم، w_i آب لازم برای یک هکتار از محصول، i و W_i کل آب دردسترس است.

محدودیت دسترسی به انواع کودهای شیمیایی: باتوجه به روند افزایشی استفاده از انواع کودهای شیمیایی که اثرهای مخرب زیست‌محیطی را به دنبال داشته است، به‌عنوان محدودیت در نظر گرفته شد. در اینجا سه محدودیت کودهای شیمیایی ازته، پتاس و فسفره درنظر گرفته شده است.

$$\sum_{i=1}^{7} f_i X_i \leq F_j \qquad (12$$

در تابع فوق X_i متغیر تصمیم، f_i کود لازم برای یک هکتار از محصول، i و F_j کل کود دردسترس است.

محدودیت دسترسی به انواع سموم شیمیایی: باتوجه به روند روبه‌رشد استفاده از سموم شیمیایی برای مقابله با آفات و بیماری‌های گیاهی این مواد به‌عنوان محدودیت در مدل وارد شده است. در این مدل سه محدودیت مربوط به سموم شیمیایی (علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و آفت‌کش) درنظر گرفته شده است.

$$\sum_{i=1}^{7} p_i X_i \leq P_j (13$$

در تابع فوق X_i متغیر تصمیم، p_i مقدار سموم لازم برای یک هکتار از محصول، i و P کل سم دردسترس است.

محدودیت سرمایه: تأمین منابع مالی نقش بسیاری در تصمیم‌گیری کشاورزان برای تعیین محصول در طی عملیات زراعی دارد. محدودیت فوق شامل تمامی هزینه‌های مربوط به عملیات زراعی در طی یک سال زراعی است.

$$\sum_{i=1}^{7} c_i X_i \leq C_j \qquad (14$$

در تابع فوق X_i متغیر تصمیم، c_i سرمایهٔ لازم برای یک هکتار از محصول، i و C_j سرمایهٔ موجود است.

محدودیت زمین: دو محدودیت شامل محدودیت کل سطح زیرکشت محصولات، X_i و سطح زیرکشت محصولات آبی است.

$$\sum_{i=1}^{7} 1 * X_i \leq G (15$$

$$\sum_{i=1}^{7} 1 * X_i \leq TG (16$$

در تابع فوق X_i متغیر تصمیم، G کل اراضی زراعی موجود و TG کل اراضی زراعی آبی است.

محدودیت‌های فازی: شامل محدودیت سودآوری محصولات x_{1j} تا x_{7j} (درآمد و هزینه)، افزایش عملکرد x_{1j}، و x_{2j}، کمینه‌سازی آب، مصرف کود و سموم شیمیایی محصولات x_{1j} تا x_{7j} و در نظر گرفتن همزمان سودآوری محصولات (درآمد و هزینه)، کمینه‌سازی آب، مصرف کود و سموم شیمیایی برای محصولات x_{1j} تا x_{7j} و افزایش عملکرد x_{1j} و x_{2j} است. محدودیت‌های فازی باتوجه به توابع هدف در هر آرمان تعیین می‌شود. در آرمان سودآوری از آنجایی که هدف افزایش سود به میزان ۲۰٪ است، میزان سود باید در محدودهٔ درآمد موجود و سطح آرمان ۲۰٪ افزایش سود قرار بگیرد. در افزایش عملکرد نیز با اعمال این محدودیت فازی سطح تولید باید در محدودهٔ سطح کشت موجود و سطح آرمانی مدنظر (میانگین عملکرد درسطح استان ٤/٩ تن در هکتار گندم و ۵۵/۵۳ تن در هکتار برای چغندرقند) قرار بگیرد. در کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی محدودیت در حد فاصل میزان مصرف موجود، ۳٪ کاهش مصرف آب و ۲۰٪ کاهش مصرف کود و سموم شیمیایی تعیین شده است. موارد فوق به‌صورت همزمان در محدودیت فازی مربوط به آرمان چهارم لحاظ می‌شود.

نیاز آبی متغیرهای تصمیم

برای تعیین نیاز آبی خالص داده‌های لازم در بازهٔ زمانی ۲۰ ساله، یعنی از ابتدای سال 2000 تا سال 2020 جمع‌آوری و با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT نتایج استخراج شد. نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: نیاز خالص آبی متغیرهای تصمیم

Table 1: Net water requirement of decision variables

محصول	آغاز کشت	نیاز آبی خالص در سال (مترمکعب در هکتار) نرم‌افزار CROPWAT
گندم	اوایل آبان	٤٢٠٠
آفتابگردان	نیمهٔ فروردین	٦٠٧٥
چغندرقند	اواخر اسفند	١١٨٠٠
یونجه	اوایل فروردین	٦٤٢٠
گشنیز	پاییزه: اواسط آبان بهاره: اواخر اسفند	٤٤٩٠
برنج	اواخرخرداد-اوایل تیر	٧٢٧٦
ذرت دانه‌ای	اردیبهشت	٥٣٣٠

منبع :نگارندگان، ١٤٠٠

یافته‌های پژوهش و تجزیه‌وتحلیل

در جامعهٔ مطالعه‌شده گندم با سطح کشت ۱۱۸۰ هکتار، چغندرقند با ۲۲۰ هکتار، یونجه با ۸۹۰ هکتار، گشنیز با ٦٧٣ هکتار، ذرت دلنه‌ای با ۱۵۵ هکتار، آفتابگردان با ١٦٨ هکتار و برنج با ٢٤٠ هکتار است. پس از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و کدنویسی در محیط نرم‌افزار GAMS نتایج در قالب آرمان‌های فوق ارائه شد.

نتایج آرمان اول: حداکثرسازی سود

در این آرمان درمجموع، ٤٥ محدودیت قطعی، ۱ محدودیت فازی و ۷ متغیر تصمیم تعریف شده است. در جدول ۲ نتایج حاصل از بهینه‌سازی تولید محصولات زراعی با هدف حداکثرسازی سود ارائه شده است. نتایج به‌دست‌آمده از مدل بهینه با فرض ثابت‌بودن میزان عملکرد در هکتار حاکی از آن است که در زمانی که هدف افزایش سود است، باتوجه به واردشدن ارزش اقتصادی و میزان درآمد در هکتار هریک از محصولات فوق در مدل، محصولاتی در اولویت قرار می‌گیرند که بیشترین میزان سود را داشته باشند که در اینجا محصولات یونجه، چغندرقند و گندم بیشترین سود آرمانی و بالاترین سطح زیرکشت را دارند. نکتهٔ مهم در این مدل این است که هیچ‌یک از محصولات از سیستم کشت حذف نشده است. محدودیت‌های قطعی شامل محدودیت‌های ماشین‌آلات، آب، زمین و سرمایه در حالت بهینه است که نیروی کار، کود و سموم شیمیایی در فاز کاهشی قرار دارند. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش تان و همکاران و گروت و همکاران (Tan et al., 2017; Groot et al., 2012) از این لحاظ که مدل پیشنهادی باعث افزایش مزایای اقتصادی می‌شود، مطابقت دارد. مقایسهٔ سطح زیرکشت بهینه‌شده با میزان سود در هکتار هریک از محصولات نشان می‌دهد که بالاترین سود مربوط به محصول یونجه است که بیشترین سطح زیرکشت را دارد. بعد از این محصول چغندرقند قرار دارد که به‌لحاظ درآمدی نیز در رتبهٔ دوم درآمد در هکتار قرار دارد. میزان دستیابی به آرمان ۱۰۰٪ برای تمامی محصولات است. نکتهٔ مهم دیگر این است باوجود آنکه سطح کشت بهینهٔ مجموع سطح کشت موجود فراتر نرفته، سود به میزان چشمگیری افزایش یافته است که ناشی از افزایش سطح زیرکشت محصول یونجه نسبت به سطح کشت موجود است. از آنجایی که تابع فوق فقط حداکثری‌سازی سود را درنظر می‌گیرد، به‌روشنی مشخص است که محصولی مانند گندم که سود پایین‌تری نسبت به یونجه دارد، در اولویت قرار نگیرد. سایر محصولات مانند برنج و ذرت باوجود آنکه سود چشمگیری را دارند، به‌دلیل محدودیت منابع آب سطح زیرکشت پایینی را داشته‌اند.

جدول ۲: سطح کشت بهینه و میزان دستیابی به آرمان حداکثرسازی سود

Table 2: The optimal cultivation area and the degree of achieving the goal of profit maximization

محصول	سطح کشت موجود (هکتار)	سطح کشت بهینه (هکتار)	سود موجود (یک بر یک میلیارد ریال)	سود آرمانی به‌دست‌آمده (یک بر یک میلیارد ریال)	تغییرات تابع هدف	میزان دستیابی به آرمان
گندم	۲۹۴/۹	۹۲/۳۷۶	۱۸/۲۶	۲۱/۹۲	۰	۱۰۰٪
چغندرقند	۱۰۴	۱۷۷/۲۴۲	۲۵/۱۷	۳۰/۲	۰	۱۰۰٪
یونجه	۱۹۰/۱	۴۵۲/۶۳۵	۴۳/۰۰	۵۰/۷۴	۰	۱۰۰٪
گشنیز	۱۶۷/۹	۶۰/۸۰۰	۱۴/۷۶	۱۷/۷۱۳	۰	۱۰۰٪
ذرت	۲۷	۶/۶۰۱	۳/۹۷	۴/۷۷	۰	۱۰۰٪
آفتابگردان	۳۲	۱۴/۱۴۰	۷/۲۵	۸/۷	۰	۱۰۰٪
برنج	۴۶	۱۰/۲۳۱	۶،۵	۷/۸۷	۰	۱۰۰٪
کل سطح کشت	۸۶۱/۹	۸۱۴/۰۲۵	–	–	–	–

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۰

نتایج آرمان دوم: افزایش عملکرد

در این آرمان درمجموع، ۴۵ محدودیت قطعی، ۲ محدودیت فازی و ۷ متغیر تصمیم تعریف شده است. نتایج مربوط به آرمان افزایش عملکرد در جدول ۳ آمده است. در آرمان فوق که افزایش عملکرد محصولات گندم و چغندرقند به‌دلیل اهمیت استراتژیک این دو محصول در منطقه بررسی شد، بهینه‌ترین حالت ممکن که در آن مجموع انحرافات در تابع هدف صفر است، افزایش ۲۸/۸۶ درصدی در سطح زیرکشت گندم و ۱۸۹/۶۴ درصدی سطح زیرکشت چغندرقند است. درسطح کشت موجود عملکرد ۴/۲۱ تن در هکتار برای گندم و ۵۳/۷۵ تن در هکتار برای چغندرقند به ثبت رسیده است. از آنجایی که در این تابع تنها دو محصول گندم و چغندرقند وارد شده است، می‌توان چنین نتیجه گرفت درصورتی که هدف افزایش عملکرد باشد، برای دستیابی ۱۰۰٪ به آرمان فوق باید ۸۱/۸۶ درصد از سطح زیرکشت به این دو محصول اختصاص یابد. گفتنی است که محصولات گندم، یونجه، گشنیز، آفتابگردان، ذرت و برنج در این تابع از مدل حذف شدند. محدودیت‌های ماشین‌آلات، آب، زمین، سرمایه به‌لحاظ وضعیت محدودیت‌های قطعی در وضعیت بهینه و محدودیت نیروی کار در وضعیتی نزدیک به سطح بهینهٔ مدنظر قرار دارد. محدودیت‌های کود و سموم شیمیایی نیز روندی کاهشی مطلوبی را نشان می‌دهد. بررسی مطالعات صورت‌گرفته نشان می‌دهد که نتایج به‌دست‌آمده در این آرمان با نتایج ستوده (۱۳۹۳) دربارهٔ دستیابی به خودکفایی برای محصول گندم همخوانی دارد.

جدول ۳: سطح کشت بهینه و میزان دستیابی به آرمان افزایش عملکرد

Table 3: The optimal cultivation area and the rate of achieving the goal of increasing yield

محصول	سطح کشت موجود (هکتار)	عملکرد درسطح کشت موجود (تن)	سطح کشت بهینهٔ به‌دست‌آمده (هکتار)	عملکرد درسطح کشت بهینه (تن)	مقدارهای کمبود در تابع هدف	میزان دستیابی به آرمان
گندم	۲۹٤/۹	۱۲٤۲.۵	۳۷۹/٤٤۰	۱۸۵۹/۲۵	۰	۱۰۰٪
چغندرقند	۱۰٤	۵۵۹۰	۳۰۱/۲۳۳	۱٦۷۲۳/٤۳	۰	۱۰۰٪
کل سطح کشت	۳۹۸/۹	–	٦۸۰/٦۸۳	–	–	–

منبع: نگارندگان، ۱٤۰۰

نتایج آرمان سوم: کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی

در این آرمان درمجموع، ٤۵ محدودیت قطعی، ۳ محدودیت فازی و ۷ متغیر تصمیم تعریف شده است. در این تابع سه آرمان کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی به‌صورت همزمان در مدل لحاظ شده است. نتایج حاصل از مدل بهینه‌شده نشان می‌دهد که کمترین میزان سطح زیرکشت مربوط به محصول آفتابگردان (۲۳ هکتار) و بیشترین مقدار مربوط به محصول گندم است که شامل ۲۳۸ هکتار می‌شود. نتایج مربوط به آرمان کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سم در جدول ٤ آمده است. نکته‌ای که باید به آن اشاره کرد این است که سطح مطلوب دستیابی به آرمان فوق کاهش ۳٪ مصرف آب و ۲۰٪ مصرف کود و سموم شیمیایی است. محدودیت‌های قطعی نیروی کار، ماشین‌آلات، آب، زمین و سرمایه در حالت بهینه و محدودیت‌های کود و سموم شیمیایی در فاز کاهشی قرار دارند. در این مدل برخلاف آرمان حداکثر سازی سود بیشترین میزان موفقیت در آرمان مربوط به محصولات آفتابگردان، گشنیز و گندم است که بیش از ۹۹٪ موفقیت در آرمان را کسب کرده‌اند. درمقابل، محصولات برنج و یونجه ثبت کمترین میزان دستیابی به آرمان را داشته‌اند که میزان فراوان مصرف آب دلیل اصلی سطح پایین زیرکشت در این محصولات است. درسطح کشت موجود کمترین میزان مصرف آب مربوط به گشنیز، گندم و آفتابگردان است. برنج، آفتابگردان و گشنیز به‌لحاظ مصرف کودهای شیمیایی نیز کمترین میزان مصرف و کمترین میزان مصرف سموم شیمیایی نیز مربوط به آفتابگردان، گشنیز و ذرت دانه‌ای است. با بررسی نتایج به‌دست‌آمده می‌توان دریافت که درسطح بهینهٔ به‌دست‌آمده محصولات آفتابگردان، گشنیز رتبه‌های اول و دوم را به‌لحاظ دستیابی به آرمان به دست آورده‌اند؛ بنابراین اگر تنها هدف کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی باشد، این دو محصول می‌توانند باتوجه به مجموع محدودیت‌های موجود آرمان مدنظر را تأمین کنند. نتایج به‌دست‌آمده با پژوهش تان و همکاران و مانوس و همکاران (Tan et al., 2017; Manos et al., 2013)، علیپور و همکاران (۱۳۹۸) و راحلی نمین (۱۳۹۵) دربارهٔ افزایش کارایی مصرف آب و سازگاری با محیط زیست مطابقت دارد.

جدول ٤: سطح کشت بهینه و میزان دستیابی به آرمان کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی

Table 4: Of the optimal cultivation area and the degree of achieving the goal of minimizing the consumption of water, fertilizers and chemical pesticides

محصول	سطح کشت موجود (هکتار)	سطح کشت بهینهٔ به‌دست‌آمده (هکتار)	مقدارهای کمبود در تابع هدف	میزان دستیابی به آرمان
گندم	۲۹٤/۹	۲۳۸	۰/۹۳٤	۹۹/٤۸٪
چغندرقند	۱۰٤	۵۸	۰/۷۳	۹۸/٤٦٪
یونجه	۱۹۰/۱	۹۹/٦	۱/۰٤	٦٦/۰۵٪
گشنیز	۱٦۷/۹	۱۰٤	۰/٤۸	۹۹/٦٤٪
ذرت	۲۷	۳۲	>۱۰	٦٦/۵۲٪
آفتابگردان	۳۲	۲۳	۰/۰٦۳	۹۹/۹۷٪
برنج	٤٦	۲۳	۰/٤۷	٤۹/۹۸٪

منبع: نگارندگان، ۱٤۰۰

نتایج آرمان چهارم: بهینه‌سازی تولید محصولات زراعی با در نظر گرفتن همزمان آرمان‌های حداکثرسازی سود و افزایش عملکرد و کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی

در این آرمان درمجموع، ٤۵ محدودیت قطعی، ٦ محدودیت فازی و ۷ متغیر تصمیم تعریف شده است. آرمان فوق به‌دنبال پوشش حداکثری تمامی ذی‌نفعان است. نتایج حاصل از بررسی مدل به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که بیشترین میزان دستیابی به آرمان مربوط به محصول آفتابگردان با انحراف ۰/۰۳ است که سطح دستیابی ۹۹/۹۸٪ را دارد. محصول ذرت کمترین میزان دستیابی به آرمان را با ۷۹/٦۱٪ دارد. درواقع، آرمان مدنظر درصورتی محقق می‌شود که سطح کشت گندم به ۲۳۸، چغندرقند به ۱۲٦/٦۵، یونجه به ۱۸۵/۰۳، گشنیز به ٤۳/٦۹، ذرت به ٤/۹، آفتابگردان به ۱۰/۲۲ و برنج به ۸/۵٤ هکتار برسد. نتایج مربوط به بهینه‌سازی تولید محصولات زراعی با در نظر گرفتن همزمان آرمان‌های سودآوری، کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی و افزایش عملکرد در جدول ۵ آمده است. نکتهٔ حائز اهمیتی که باید به آن توجه کرد این است که در نظر گرفتن هدف‌های متعدّد به‌صورت همزمان می‌تواند تأثیرات متفاوت از زمانی را به دست دهد که هدف‌ها به‌صورت جداگانه و مستقل بررسی می‌شود. در تابع فوق باوجود هدف‌های متضاد، نحوهٔ تخصیص منابع محدود به‌گونه‌ای است که هدف‌های ذی‌نفعان بخش‌های مختلف را برآورده می‌کند؛ بنابراین محصولاتی در اولویت قرار گرفته‌اند که بتوانند این هدف‌ها را تأمین کنند. در آرمان سودآوری دو محصول آفتابگردان و چغندرقند بیشترین سطح دستیابی به آرمان را داشته‌اند. همچنین، دو محصول گندم و آفتابگردان که بالاترین سطح دستیابی به آرمان را در آرمان کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی به خود اختصاص داده‌اند، می‌توانند آرمان را تأمین کنند. تابع عملکرد تحت‌تأثیر دو تابع سودآوری و حداکثرسازی در تأمین آرمان موفق نبوده است و در آرمان فوق باوجود سطح کشت مناسب به‌دست‌آمده محصول گندم نتوانسته در جایگاه مناسبی قرار بگیرد. به‌صورت کلی می‌توان اینگونه استنباط کرد که باتوجه به مجموع محدودیت‌های موجود و در شرایطی که هدف

یافتن راه‌حلی بهینه برای هدف‌های مختلف باشد، مدل پیشنهادی می‌تواند درسطح‌های مختلف کشت مورد استفاده قرار گیرد. دربارهٔ محدودیت‌های قطعی، محدودیت‌های نیروی کار، ماشین‌آلات، آب، زمین و سرمایه حالت بهینه را نشان می‌دهند و محدودیت‌های کود و سموم شیمیایی در فاز کاهشی مناسبی قرار دارند. در پژوهش تان و همکاران (Tan et al., 2017) هدف‌های اقتصادی در کنار هدف‌های اکولوژیکی بررسی شده است که در این میان، تابع مدنظر توانسته هدف‌های مدنظر و مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی را تأمین کند. تابع پیشنهادی به‌لحاظ مزایای زیست‌محیطی می‌تواند با پژوهش تان و همکاران (Tan et al., 2017) همسو باشد. همچنین، مانوس و همکاران (Manos et al., 2013) نیز توانسته‌اند تابعی را طراحی کنند که میزان مصرف کود و سموم را کاهش دهد که از این حیث نیز با نتایج به‌دست‌آمده همسوست. همچنین، در نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش جهانشاهی امجزی و همکاران (۱۳۹٤) تابع توانسته میزان مصرف کود و سموم را کاهش دهد که از این حیث نیز می‌تواند با نتایج به‌دست‌آمده همسو باشد.

جدول ۵: سطح کشت بهینه و میزان دستیابی به آرمان حداکثرسازی سود، افزایش عملکرد و کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی

Table 5: The optimal cultivation area and the degree of achieving the goal of profit maximization, yield increase and minimization of water, fertilizer and chemical pesticides consumption

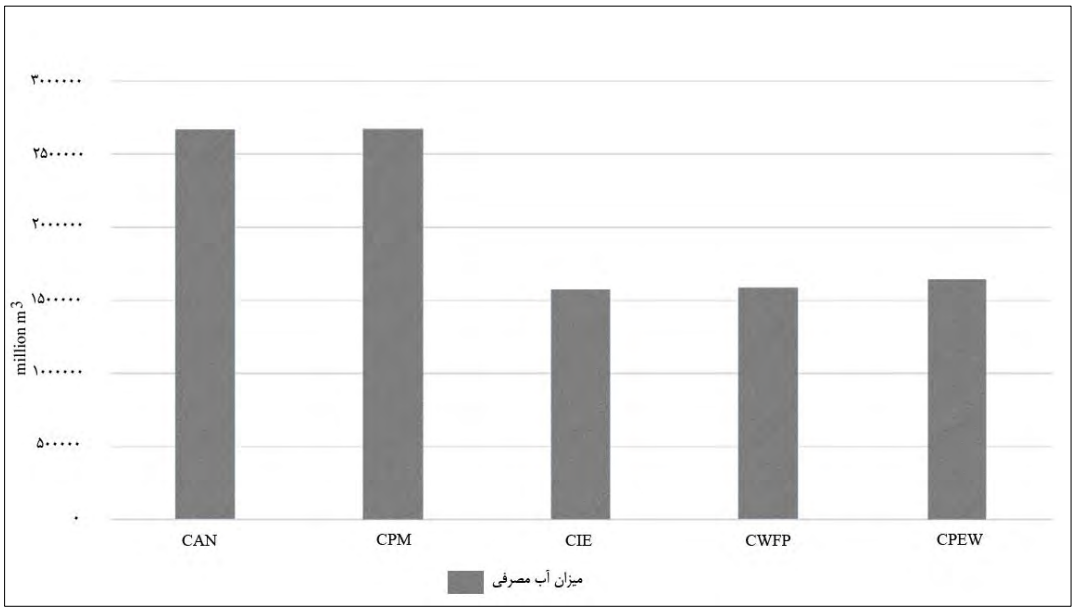
محصول	سطح کشت موجود (هکتار)	سطح کشت بهینهٔ به‌دست‌آمده(هکتار)	مقدارهای انحراف در تابع-هدف	میزان دستیابی به آرمان	سود موجود (یک بر یک میلیارد ریال)	سود آرمانی به‌دست‌آمده (یک بر یک میلیارد ریال)
گندم	۲۹٤/۹	۲۳۸	۲/۵۳۷	۹۰/۵۲٪	۱۸/۲٦	۲۱/۹۲
چغندرقند	۱۰٤	۱۲٦/٦۵	۰/۲۹٤	۹۹/٤۱٪	۲۵/۱۷	۳۰/۱۸
یونجه	۱۹۰/۱	۱۸۵/۰۳	۰/۵۹۵	۹۹/۱۷۵٪	٤۳/۰۰	۵۰/۵۰
گشنیز	۱٦۷/۹	٤۳/٦۹	۰/۳۹٦	۹۷/۸٦٪	۱٤/۷٦	۱۷/۷۰
ذرت	۲۷	٤/۹	۱۰	۷۹/۷۳٪	۳/۹۷	٤/۵۰
آفتابگردان	۳۲	۱۰/۲۲	۰/۰۲۵	۹۹/۷٤٪	۷/۲۵	۸/۷
برنج	٤٦	۸/۵٤٦	۰/۱۲۱	۹۸/۳٦٪	–	۷/۷٦

منبع: نگارندگان، ۱٤۰۰

میزان مصرف آب

در شکل ۲ میزان مصرف آب برای متغیرهای تصمیم در ٤ سناریو اعمال‌شده به دست آمده است. در سناریو اول (CPM) با هدف حداکثرسازی سود ۸۱٤/۰۲۵ هکتار از اراضی در مدل پیشنهادی زیرکشت قرار می‌گیرد. براساس نتایج میزان مصرف آب در این سناریو $۲٦٦۳/۱۸۵ \times 10^3 m^3$ برای کل سطح زیرکشت بهینه به دست آمده است. در سناریو دوم (CIE) با هدف افزایش بازده دو محصول گندم و چغندرقند طراحی شده است. درسطح زیرکشت٦۹۸/٦۷۳ هکتار میزان مصرف آب $۱۵۷۰/۳۷۲ \times 10^3 m^3$ است. در سناریو سوم (CWFP) با هدف کمینه‌سازی مصرف آب، کود

شیمیایی و سموم شیمیایی درسطح ۵۷۷/۶ هکتار، میزان مصرف آب $10^3 m^3$ ×۱۵۸۸/۰۹است. سناریو چهارم (CPEW) که سه آرمان حداکثرسازی سود، افزایش بازده و کمینه‌سازی مصرف آب، کود شیمیایی و سموم شیمیایی به‌صورت همزمان لحاظ شده است، درسطح زیرکشت ۶۱۷/۰۳۶ هکتار، میزان مصرف آب $10^3 m^3$ ×۱۶۴۰/۴۲ است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد درصورت به‌کارگیری الگوی بهینه‌شده با در نظر گرفتن همزمان آرمان‌های فوق میزان مصرف آب $10^3 m^3$ ×۱۰۲۳/۱۵۱ نسبت به حالت موجود (CAN) کاهش می‌یابد.



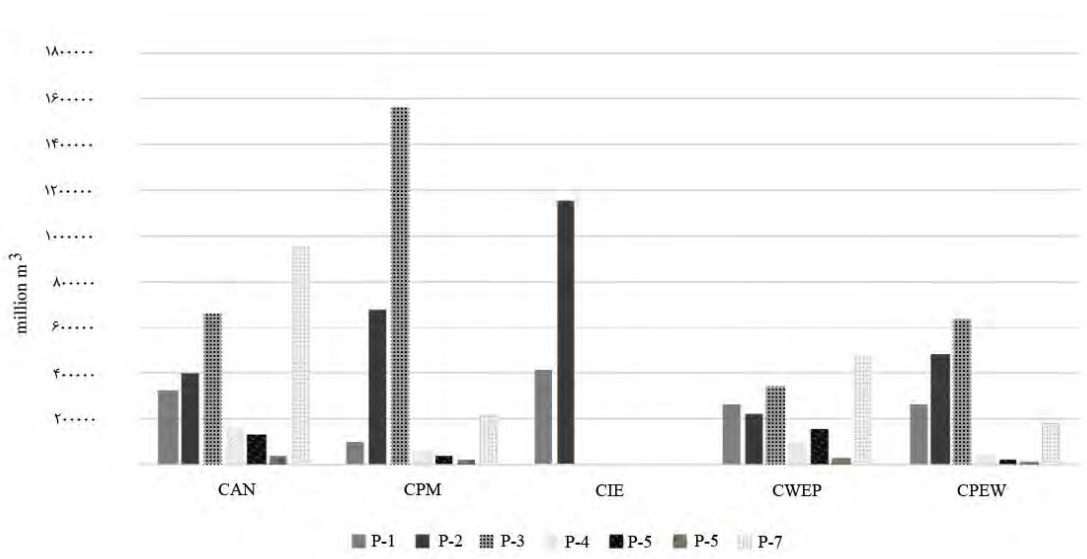
شکل ۲: میزان آب مصرفی درسطح کشت موجود و سناریو های بررسی‌شده (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۰)

Figure 2: The amount of water consumed in the existing cultivated area and the scenarios examined

درسطح کشت موجود بیشترین میزان مصرف آب شامل محصولاتی مانند برنج با m^3 ۹۵۸۱۸۲/۳، یونجه با m^3 ۶۵۶۷۳۹/۳ و چغندرقند با m^3 ۳۹۸۵۴۸/۲۹ است. در سناریو اول با هدف حداکثرسازی سود، یونجه با m^3 ۱۵۶۳۷۲۰/۱۱، چغندرقند با m^3 ۶۷۹۲۲۵/۹۲۳ و گندم با m^3 ۱۰۱۲۷۴/۰۶۹ بیشترین میزان مصرف آب را درنتیجهٔ اختصاص سطح بیشتر کشت داشته‌اند.

در سناریو دوم که تابع برروی دو محصول گندم و چغندرقند متمرکز است، میزان مصرف آب گندم m^3 ۴۱۵۹۸۹/۳۵ و چغندرقند m^3 ۱۱۵۴۳۸۳/۶۲۵است. در این تابع نیز ۹۹/۴۴ درصد سطح زیرکشت به این دو محصول اختصاص یافته است. در سناریو سوم که کمینه‌سازی مصرف آب، کود شیمیایی و سموم شیمیایی لحاظ شده است، میزان مصرف آب در سه محصول پرمصرف شامل برنج m^3 ۴۷۹۰۹۱/۱۵ یونجه m^3 ۳۴۴۰۸۸ و گندم با m^3 ۲۶۰۹۲۵/۲۲ است. در این سناریو گندم بیشترین سطح زیرکشت، گشنیز در جایگاه دوم و یونجه و چغندرقند به‌ترتیب رتبهٔ سوم و چهارم را داشته‌اند. نکتهٔ مهم سطح بالای کشت گشنیز نسبت به یونجه و چغندرقند است. با وجود این گشنیز در جایگاه ششم مصرف آب قرار دارد. در سناریو چهارم که سه آرمان فوق به‌صورت همزمان بررسی شده است، میزان مصرف آب برای محصولات به‌ترتیب بیشترین میزان مصرف شامل یونجه m^3 ۶۳۹۲۲۳/۹ درسطح

زیرکشت ۱۸۵/۰۳ هکتار، چغندرقند m^3 ۴۸۵۳۵۷/۵ درسطح زیر کشت ۱۲۶/۶۵ هکتار، گندم m^3 ۲۶۰۹۲۵/۲ با سطح زیرکشت ۲۳۸ هکتار، برنج m^3 ۱۷۸۰۱۳/۶ با سطح زیرکشت ۸/۵۴۶ هکتار، گشنیز m^3 ۴۰۰۱۷/۵۳ با سطح زیرکشت ۴۳/۶۹ هکتار، ذرت دانه‌ای m^3 ۲۴۱۶۶/۰۶ با سطح زیرکشت ۴/۹ هکتار و آفتابگردان m^3 ۱۲۷۲۶/۴۷ در سطح زیرکشت ۱۰/۲۲ است. در این تابع نیز بیشترین سطح زیرکشت مربوط به گندم، یونجه و چغندرقند است. در شکل ۳ میزان مصرف آب برای هریک از محصولات در وضعیت موجود و چهار سناریو مدنظر نشان داده شده است. در این شکل برای معرفی متغیرهای تصمیم به‌ترتیب، P-1 گندم، P-2 چغندرقند، P-3 یونجه، P-4 گشنیز، P-5 ذرت دانه‌ای، P-6 آفتابگردان و P-7 برای برنج به کار گرفته شده است.



شکل ۳: میزان آب مصرفی برای هریک از متغیرهای تصمیم درسطح کشت موجود و سناریوهای بررسی‌شده (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۰)

Figure 3: The amount of water consumed for each of the decision variables in the existing cultivated area and the investigated scenarios

به‌صورت کلی میزان مصرف آب در سناریو اول نسبت به وضعیت موجود وضعیتی مشابه را با حالت موجود نشان می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که میزان مصرف آب درمقایسه با سطح زیرکشت موجود ۰۰/۰۱درصد صرفه‌جویی خواهد شد. این مقدار کاهش در سناریو دوم ۴۱/۰۴ درصد است. در سناریو سوم میزان کاهش مصرف آب درمقایسه با حالت موجود ۴۰/۳۷ درصد است. آرمان چهارم نیز درمقایسه با حالت موجود کاهشی ۳۸/۴۱ درصدی را نشان می‌دهد.

به‌صورت کلی، می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که با بهره‌گیری از تابع سودآوری که حالتی مشابه با وضعیت موجود را به‌لحاظ مصرف آب نشان می‌دهد، کشاورزان می‌توانند بیشترین میزان سود را کسب کنند. همچنین، نزدیک‌بودن میزان مصرف آب در سناریو اول و سطح موجود می‌تواند تأییدکنندهٔ این موضوع باشد که کشاورزان به افزایش سود به‌عنوان هدف اصلی توجه کرده‌اند. در سناریو دوم که تابع عملکرد برای دو محصول گندم و چغندرقند طراحی شده

است و از آنجایی که محصولات با نیاز آبی فراوان مانند برنج و یونجه از تابع کنار گذاشته شده‌اند، میزان مصرف در کمترین حالت موجود نسبت به سایر آرمان‌ها قرار دارد. در سناریو سوم که تنها هدف‌های زیست‌محیطی مورد توجه قرارگرفته است، باتوجه به اعمال محدودیت مصرف آب به‌عنوان یکی از هدف‌های ذیل این سناریو میزان مصرف آب درمقایسه با حالت موجود به‌صورت چشمگیری کاهش یافته است؛ بنابراین می‌توان استنباط کرد که الگوی استفاده‌شدهٔ کشاورزان به‌لحاظ مصرف آب بهینه نبوده است و منابع آبی موجود درصورت به‌کارگیری مدل پیشنهادی می‌تواند به‌لحاظ مصرف در وضعیتی بهینه قرار گیرد. میزان مصرف آب سناریو چهارم که هدف‌های متضاد را زیر پوشش قرار داده است، یکی از مناسب‌ترین گزینه‌ها باتوجه به پتانسیل‌ها و شرایط موجود جامعهٔ مطالعه‌شده است. در این تابع باتوجه به کاهش سطح زیرکشت برنج و ذرت دانه‌ای به‌عنوان محصولات آبی که میزان مصرف آب بالایی دارند، تابع توانسته نسبت به سطح کشت موجود به‌لحاظ مصرف آب در وضعیت مناسبی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر بهینه‌سازی تولید محصولات زراعی در دشت صحنه است. در این پژوهش ۷ محصول آبی که بیشترین سطح زیرکشت را در جامعهٔ مطالعه‌شده داشته‌اند، به‌عنوان متغیرهای تصمیم انتخاب شدند. این محصولات شامل گندم، چغندرقند، یونجه، گشنیز، آفتابگردان، ذرت دانه‌ای و برنج بود. در این میان، برای بهینه‌سازی و دستیابی به آرمان‌های مدنظر از برنامه‌ریزی آرمانی فازی استفاده شد. در این راستا، ابتدا سه تابع حداکثرسازی سود، افزایش عملکرد و کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی بررسی و در گام آخر که هدف اصلی پژوهش را شامل می‌شود، سه آرمان فوق به‌صورت همزمان بررسی شد. در مدل بهینه‌شده هیچ‌یک از محصولات از مدل حذف نشد. در تمامی سناریوهای موجود سطح کشت بهینه نسبت به حالت موجود کاهش یافته است. در سناریوهای سوم و چهارم محصول ذرت بیشترین میزان انحراف از آرمان و کمترین میزان سطح کشت را ثبت کرده است؛ بنابراین می‌توان اینگونه استنباط کرد زمانی که هدف‌های زیست‌محیطی مدنظر باشد، محصول ذرت نمی‌تواند آرمان مدنظر را به‌دلیل مصرف بالای آب تأمین کند. میزان پایین‌تر مصرف آب، کود و سموم شیمیایی نسبت به سایر محصولات می‌تواند از دلایل عمدهٔ موفقیت محصول آفتابگردان باشد. باید توجه کرد که در نظر گرفتن هدف‌های متعدّد به‌صورت همزمان می‌تواند تأثیرات متفاوت را از زمانی که هدف‌ها به‌صورت جداگانه و مستقل بررسی می‌شود، به دست دهد. باتوجه به سطح‌های آرمانی به‌دست‌آمده در تابع هدف دو محصول گشنیز و آفتابگردان که بالاترین سطح دستیابی به آرمان را داشته‌اند، می‌توانند آرمان مدنظر، یعنی بهینه‌سازی تولید محصولات زراعی را با در نظر گرفتن همزمان آرمان حداکثرسازی سود، افزایش بازده و کمینه‌سازی مصرف کود شیمیایی و سموم شیمیایی تأمین کنند. قرارگرفتن سطح زیرکشت گندم درسطحی نزدیک با سال‌های پیشین در جامعهٔ مدنظر و سطح بالای محصول چغندرقند می‌تواند ناشی از اهمیت بالای این دو محصول و تأثیر تابع عملکرد بر تابع کلی باشد که سبب شده است این دو محصول دربین سه محصولی که بیشترین میزان سطح کشت را داشته‌اند، قرار بگیرند. سطح بهینهٔ تولید با فرض ثابت‌بودن عملکرد در هکتار سطح کشت بهینه و باتوجه به مجموعه محدودیت‌ها و ظرفیت‌های موجود در منطقهٔ مطالعه‌شده به دست آمده

است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود برای دستیابی همزمان به آرمان‌های بهینه‌سازی تولید محصولات زراعی و با در نظر گرفتن همزمان آرمان‌های حداکثرسازی سود، افزایش عملکرد و کمینه‌سازی مصرف آب، کود و سموم شیمیایی و از آنجایی که سطح بالای دستیابی به آرمان چهارم برای دو محصول آفتابگردان و چغندرقند به ثبت رسیده است، کشت این دو محصول مورد توجه قرار گیرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود که از ارقام پربازدهٔ این محصولات و گسترش سطح زیرکشت اراضی آبیاری زیرفشار که می‌تواند علاوه‌بر افزایش سودآوری کشاورزان به‌لحاظ صرفه‌جویی در مصرف آب، افزایش کارایی و راندمان آبیاری نیز مورد توجه قرار گیرد، استفاده شود. دربارهٔ محصولاتی که بیشترین سطح کشت و بالاترین میزان دستیابی به آرمان را در مدل بهینهٔ نهایی داشته‌اند، سطح چشمگیری از اراضی با استفاده از روش سنتی آبیاری می‌شوند؛ بنابراین تسهیلات مناسب برای افزایش سطح اراضی زیرفشار می‌تواند در بهبود شرایط مؤثر باشد. باتوجه به اهمیت محصولاتی مانند گندم و چغندرقند به‌عنوان محصولات استراتژیک منطقه پیشنهاد می‌شود باتوجه به هزینه‌های تولید مانند سیستم آبیاری و الگوی نیروی کار استفاده‌شده برای جبران بخشی از هزینه‌ها از ارقامی که بازدهٔ بالاتری نسبت به سایر ارقام دارند، استفاده شود. در همین راستا، تجهیز و مکانیزاسیون زمین‌های کشاورزی، کاهش طول زنجیرهٔ تأمین (حذف دلّالی نهاده‌ها) با نهادسازی و توسعهٔ تشکّل‌ها و اتحادیهٔ کشاورزان می‌تواند توجیه‌کنندهٔ سود به‌دست‌آمده از الگوی کشت با حفظ منابع آبی و هدف‌های زیست‌محیطی باشد. در سویی دیگر، کشاورزان همواره درمقابل تغییرات از خود مقاومت نشان می‌دهند. یکی از دستاوردهای مدل پیشنهادی این است که هیچ‌یک از محصولات از مدل حذف نشده است و مدل فوق قابلیت اجرا در هر سطح را دارد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود برای دستیابی به نتایج بهتر تغییرات مدنظر به‌تدریج در الگوی کشت منطقه لحاظ و سپس ضمن ایجاد تغییرات نسبت به بروز رسانی مدل اقدام شود. از چالش‌برانگیزترین محصولات درسطح منطقهٔ مطالعه‌شده محصول برنج است. گروهای حامی کشاورزان کشت این محصول را به‌دلیل سود بالا و دورهٔ کشت کوتاه که اغلب به‌عنوان کشت دوم از آن استفاده قرار می‌شود، پیشنهاد می‌کنند. در سویی دیگر، کشت این محصول به‌لحاظ زیست‌محیطی فشار بسیار زیادی را به‌ویژه بر منابع آبی وارد کرده است. اعمال سیاست‌های ممنوعیت کشت این محصول نیز نتوانسته چندان کارساز باشد. از آنجایی که در مدل نهایی علاوه‌بر افزایش سود که مورد توجه کشاورزان است، میزان مصرف آب نیز به میزان چشمگیری کاهش می‌یابد؛ بنابراین استفاده از مدل پیشنهادی می‌تواند مورد توجه برنامه‌ریزان در بخش توسعهٔ کشاورزی قرار گیرد. یکی از نتایج پژوهش حاضر شناسایی محصولات نامناسب و گاه ناسازگار با اقلیم و محدودیت‌های منطقه است؛ مانند محصول ذرت که در سناریو اول پایین‌ترین سود آرمانی و در سناریو سوم و چهارم در دستیابی به آرمان ناموفق‌تر از سایر محصولات عمل کرده است. با شناسایی دقیق محصولاتی که متناسب با شرایط منطقه هستند، می‌توان نسبت به برنامه‌ریزی مناسب در راستای رسیدن به یک مدل و سیستم پایدار به‌ویژه در بخش محصولات زراعی گام برداشت.

منابع

امینی، عباس (۱۳۹۲). برنامه‌ریزی و تخصیص بهینهٔ منابع تولید کشاورزی در شرایط عدم قطعیت: کاربرد رهیافت چندهدفه برنامه‌ریزی آرمانی فازی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۴ (۳)، ۱۰۶-۱۲۸.
https://gep.ui.ac.ir/article_18617.html?lang=fa

آسیابانی، ناصر (۱۳۹۵). *تخصیص بهینهٔ نهاده‌های کشاورزی به مزارع استان البرز* [پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد]. گنج.
https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/c75d4bb3e5f2395e7c203166a82cac7c

پناهی، علی، و فلسفیان، آزاده (۱۴۰۰). بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی در دشت شبستر تحت شرایط محدودیت منابع آب. *نشریهٔ حفاظت منابع آب و خاک*، ۱۰ (۴)، ۳۵-۴۸.
https://doi.org/10.30495/wsrcj.2021.18079

سازمان امور اراضی ایران (۱۴۰۰). *آمارنامهٔ تخصصی اراضی کشاورزی*. https://B2n.ir/a11764

ستوده، آذین (۱۳۹۳). *کاربرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی در مدیریت الگوی کشت محصولات زراعی منتخب استان گلستان: مطالعهٔ موردی: شهرستان گرگان* [پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور کرج]. گنج.
https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/efca1543dc50c037431e0a9c51ecd8f7

شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان (۱۴۰۲). آمار وضعیت بارندگی. آب منطقه‌ای استان کرمانشاه.
https://www.kshrw.ir/st/61

شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمانشاه (۱۳۹۹). *آب منطقه‌ای استان کرمانشاه*.
https://kshrw.ir/cs/News/118/2313

جهانشاهی امجزی، کورش، اسلامی، محمدرضا، و علیپور، محمدصادق (۱۳۹۴). *تعیین الگوی بهینهٔ کشت مبتنی بر منطق فازی در بخش کشاورزی شهرستان جیرفت با هدف مدیریت آب و منابع طبیعی*. دومین همایش ملی آب، انسان و زمین، اصفهان. https://civilica.com/doc/535261

جهانتیغ، حسین (۱۴۰۱). بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی در راستای مدیریت مصرف آب در شهرستان گرگان. *نشریهٔ علمی-پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۲ (۳)، ۳۶۹-۳۸۵.
https://doi.org/10.22125/iwe.2022.146415

درگاه ملی آمار (۱۳۹۹). *سالنامهٔ آماری استان کرمانشاه* (فصل پنجم-کشاورزی، جنگلداری و شیلات). مرکز آمار ایران. http://mpo-ksh.ir/wp-content/uploads/2022/04/salnameh99-1.pdf

راحلی‌نمین، بهناز (۱۳۹۵). *اولویت‌بندی و بهینه‌سازی تخصیص اراضی برای محصولات زراعی شرق استان گلستان* [پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه ملایر]. گنج. https://B2n.ir/g68298

سروریان، جواد، و سلیمانی، پریا (۱۴۰۰). بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات دشت مهران براساس محدودیت‌های منابع آب، سطح زیرکشت و تنوع زیستی. *نشریهٔ مدیریت آب و آبیاری*، ۱۱ (۴)، ۷۲۵-۷۳۷.
https://doi.org/10.22059/jwim.2022.326446.899

علیپور، علیرضا، موسوی، سید حبیب‌الله، و ارجمندی، امین (۱۳۹۸). تدوین ترکیب بهینهٔ تولید محصولات زراعی با تأکید بر افزایش کارایی مصرف آب: مطالعهٔ موردی: مجتمع کشاورزی و دامپروری ورامین. *نشریهٔ علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۲۳ (۲)، ۲۵۱-۲۶۵. 10.29252/jstnar.23.2.251

عوض‌یار، محمدرضا، احمدپور برازجانی، محمود، و ضیایی، سامان (۱۳۹۷). بهینه‌سازی الگوی کشت جهت افزایش بازده آبیاری در اراضی پایاب سد ملاصدرا در استان فارس. *مجلهٔ مهندسی منابع آب*، *۱۱*(۳۶)، ۲۱-۳۲.
https://wej.marvdasht.iau.ir/article_3031.html

کهنسال، محمدرضا، و محمدیان، فرشاد (۱۳۸۶). کاربرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی در تعیین الگوی بهینهٔ کشت محصولات زراعی. *اقتصاد کشاورزی (اقتصاد و کشاورزی)*، *۱*(۲)، ۱-۱۵.
https://sid.ir/paper/446926/fa

نظری‌فر، محمدهادی، سالاری، امیر، و مؤمنی، رضوانه (۱۳۹۷). توسعهٔ یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی برای تعیین الگوی کشت بهینه در شرایط کم آبیاری. *تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)*، *۴۹*(۵)، ۱۰۵۶-۱۰۷۰. 10.22059/IJSWR.2018.241216.667752

وزارت نیرو (۱۳۹۸الف). *شرکت مدیریت منابع آب ایران*.
https://wnn.wrm.ir/cs/NewsCrawler/559/36834

وزارت نیرو (۱۳۹۸ب). *فهرست دشت‌های ممنوعه کشور*. شرکت مدیریت منابع آب ایران. معاونت حفاظت و بهره‌برداری. https://www.danab.ir/wp-content/uploads/2020/09/total97.pdf

یوسف‌دوست، آیسن، محمدرضاپور، ام البنی، و ابراهیمی محبوبه (۱۳۹۵). تعیین سطح زیرکشت بهینهٔ برخی از محصولات کشاورزی در شرایط متفاوت آب‌وهوایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در دشت قزوین. *نشریهٔ پژوهش آب در کشاورزی*، *۳۰*(۳)، ۳۱۷-۳۳۱. https://doi.org/10.22092/jwra.2016.107153

References

Alipour, A. R., Mosavi, S. H., & Arjomandi, A. (2019). Optimal crop production pattern with emphasis on improving water use efficiency (A case study of Varamin agricultural and animal husbandry complex). *Jwss*, *23*(2), 251-265. 10.29252/jstnar.23.2.251 [In Persian].

Amini, A., & Amini, A. (2013). Planning and optimal allocation of agriucltural production resources under uncertainty application of multi-objective fuzzy goal programming approach. *Geography and Environmental Planning*, *24*(3), 106-128. https://gep.ui.ac.ir/article_18617.html?lang=en [In Persian].

Asiabani, N. (2016). *Optimal allocation of agricultural inputs in the farms of Alborz province* [Master's thesis, Ferdowsi University of Mashhad]. Gang. https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/c75d4bb3e5f2395e7c203166a82cac7c [In Persian].

Avaz Yar, M., Ahmadpour Borazjani, M., & Zyaei, S. (2018). Determine optimal crop pattern with an emphasis on increasing the irrigation efficiency in lands of mollasadra dam in fars province. *Water Resources Engineering*, *11*(36), 21-32. https://wej.marvdasht.iau.ir/article_3031.html [In Persian].

Groot, J. C.J., Oomen, G. J. M., & Rossing, W. A. H. (2012). Multi-objective optimization and design of farming systems. *Agricultural Systems*, *110*(4), 63-77. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.03.012

Gupta, S., Fügenschuh, A., & Ali, I. (2017). A multi-criteria goal programming model to analyze the sustainable goals of India. *Sustainability*, *10*(3). 778. https://doi.org/10.3390/su10030778

Huang, Xie, H. P., Duan, Y., Wu, P., & Zhuo, L. (2023). Cropping pattern optimization considering water shadow price and virtual water flows: A case study of Yellow River Basin in China. *Agricultural Water Management*, *284*(7), 1-14. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108339

Jahanshahi Amjazi, K., Islami, M. R., & Alipour, M. S. (2014). *Determining the optimal cropping pattern based on fuzzy logic in the agricultural sector of Jiroft city (With the aim of water and natural resources management)*. The Second National Conference on Water, Man and Earth, Isfahan. https://civilica.com/doc/535261 [In Persian].

Jahantigh, H. (2022). Optimization of agricultural cropping pattern in order to water use management in

Gorgan. *Irrigation And Water Engineering*, *12*(3), 369-385. https://doi.org/10.22125/iwe.2022.146415 [In Persian].

Jain, S., Ramesh, D., & Bhattacharya, D. (2021). A multi-objective algorithm for crop pattern optimization in agriculture. *Applied Soft Computing*, *112*(3), 1-13. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107772

Jain, S., Ramesh, D., Trivedi, M.C., & Edla, D.R. (2023). Evaluation of metaheuristic optimization algorithms for optimal allocation of surface water and groundwater resources for crop production. *Agricultural Water Management*, *279*(12), 1-12. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108181

Karthikeyan, L., Chawla, I., & Mishra, A. K. (2020). A review of remote sensing applications in agriculture for food security: Crop growth and yield, irrigation and crop losses. *Journal Of Hydrology*, *586*(6), 1-22. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124905

Kohansal, M. R., & Mohammadian, F. (2007). Application of fuzzy ideal planning in determining the optimal pattern of crop cultivation. *Agricultural Economics (Economics and Agriculture*), *1*(2), 1-15. https://sid.ir/paper/446926/fa [In Persian].

Li, M., Fu, Q., Singh, V. P., Liu, D., Li, T., & Zhou, Y. (2020). Managing agricultural water and land resources with tradeoff between economic environmental, and social considerations: A multi-objective nonlinear optimization model under uncertainty. *Agricultural Systems*, *178*(8), 1-2. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102685

Liu, Q., Niu, J., Wood, J. D., & Kang, S. (2022). Spatial optimization of cropping pattern in the upper-middle reaches of the Heihe River basin Northwest China. *Agricultural Water Management, 264*(10), 1-18, 107479. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107479

Madani, K., AghaKouchak, A., & Mirchi, A. (2016). Iran's Socio-economic drought: Challenges of a Water-Bankrupt nation. *Iranian Studies*, *49*(6), 997-1016. https://doi.org/10.1080/00210862.2016.1259286

Manos, B., Chatzinikolaou, P., & Kiomourtzi, F. (2013). Sustainable optimization of agricultural production. *APCBEE Procedia*, *5*(2), 410-415. https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2013.05.071

Mehrpour, M.R., Kheybari, S., Singh Srai, J., & Rohani, A. (2024). Integration of strategic and operational attributes to calculate the optimal cultivation of crops. *Expert Systems with Applications*, *236*(24), 1-17. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121238

Ministry of Energy. (2018). *IRAN water management company. deputy of protection and exploitation*. Forbidden plains of the country. https://www.danab.ir/wpcontent/uploads/2020/09/total97.pdf [In Persian].

Ministry of Energy. (2019). *IRAN Water Management Company*. https://wnn.wrm.ir/cs/NewsCrawler/559/36834 [In Persian].

Muditha Perera, M. (2009). *Integrating agroforestry characteristics into agro-well-based agriculture.* Conference: National Conference on Water, Food Security And Climate Change. Sri Lanka. https://B2n.ir/p20982

National portal of statistics. (2020). Statistical yearbook of kermanshah province (The fifth chapter - agriculture, forestry and fisheries). Statistical center of Iran. http://mpo-ksh.ir/wp-content/uploads/2022/04/salnameh99-1.pdf [In Persian].

Nazarifar, M.H., Salari., & Momeni, R. (2018). Development of a nonlinear programming model for determination of optimal cropping pattern based on deficit irrigation scenarios. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *49*(5), 1055-1070. 10.22059/IJSWR.2018.241216.667752 [In Persian].

Panahi, A., & Falsafian, A. (2021). Optimization of the crop cultivation in the Shabestar plain underwater constraint. *Water And Soil Resources Conservation*, *10*(4), 35-48. https://doi.org/10.30495/wsrcj.2021.18079 [In Persian].

RaheliNamin, B. (2017). *Optimization and allocation of lands for agricultural products in the East of Golestan Province* [Master's thesis, Malayer University]. Ganj. https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/7d61973e8f245d392f33d005aa8d14a1 [In Persian].

Reginal Water Company of Kermanshah. (2020). *Regional water of Kermanshah province*. https://kshrw.ir/cs/News/118/2313. [In Persian].

Regional Water Company of Kermanshah Province. (2023). [website]. https://www.kshrw.ir/st/61 [In

Persian].
Sarvarian, J., & Soleimani, P. (2022). Optimization of cropping pattern taking into account limited water resources cultivated area and biodiversity in the Mehran Plain. *Water And Irrigation Management*, *11*(4), 725-737. https://doi.org/10.22059/jwim.2022.326446.899 [In Persian].
Savci, S. (2012). Investigation of effect of chemical fertilizers on environment. *APCBEE Procedia, 1*(4), 287- 292. https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.03.047
Sedighkia, M., Datta, B., & Razavi, S. (2023). Optimizing agricultural cropping patterns under irrigation water use restriction due to environmental flow requirements and climate change. *Water Resources And Economics*, *41*(1), *1-11*, 00216. https://doi.org/10.1016/j.wre.2023.100216
Shen, L., [1]F, Li., Li, C., Wang, Y., Qian, X., Feng, T., & Wang, C. (2020). Inventory optimization of fresh agricultural products supply chain based on agricultural superdocking. *Journal Of Advanced Transportation, 2020*(6), 1-13. https://doi.org/10.1155/2020/2724164
Sotodeh, A. (2014). *Application of fuzzy goal programming in cropping pattern management of select crops in Golestan province (Case study Gorgan town ship).* [Master's thesis, Karaj Payame Noor University]. Ganj. https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/efca1543dc50c037431e0a9c51ecd8f7 [In Persian].
Suying, M. (2017). Analysis of the *optimization and upgrading of agricultural industry in weinan under the view of the supply side reform*. Proceedings Of The 2017 5th International Education, Economics, Social Science, Arts, Sports and Management Engineering Conference (IEESASM 2017). Qingdao China. https://doi.org/10.2991/ieesasm-17.2018.64
Tan, Q., Zhang, S., & Li, R. (2017). Optimal use of agricultural water and land resources through reconfiguring crop planting structure under socioeconomic and ecological objective. *Water, 9*(7), 488. https://doi.org/10.3390/w9070488
Tang, Y., Zhang, F., Engel, B. A., Liu, X., Yue, Q., & Guo, P. (2020). Grid-scale agricultural land and water management: A remote-sensing-based multiobjective approach. *Journal Of Cleaner Production, 265*(13), 1-15. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121792
Yang, T., Ignizio, J.P., & Kim, H.J. (1991). Fuzzy programming with nonlinear membership functions: Piecewise linear approximation. *Fuzzy Sets and Systems. 41*(1), 39–53. https://doi.org/10.1016/0165-0114(91)90156-K
Yusef Doust I., Mohammadrezapour, O., & Ebrahimi, M. (2016). Applying genetic algorithms in determining optimal cropping pattern in different weather conditions in Qazvin plain. *Journal Of Water Research in Agriculture, 30*(3), 317-331. https://doi.org/10.22092/jwra.2016.107153 [In Persian].