



The structural program of cultivation system of selected crops of Tajen Basin based on the sustainability of water resources

Hossein Fouladi¹ | Hamid Amirnejad² | Somayeh Shirzadi Laskookalayeh³

1. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran. E-mail: fouladih45@gmail.com

2. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran. E-mail: h.amirnejad@sanru.ac.ir

3. Corresponding Author, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran. E-mail: s.shirzadi@sanru.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Aug. 4, 2024

Revised: Dec. 13, 2024

Accepted: Dec. 28, 2024

Published online: April. 2025

Keywords:

Adaptation,
Mathematical Programming,
Mazandaran, Uncertainty,
Water Resource.

ABSTRACT

The main goal of the current research was to develop an optimal cultivation plan for crops in the Tajen catchment basin. For this purpose, two common deterministic mathematical programming models were used, including linear programming and goal programming and non-deterministic gray programming model. In this regard, information on the time series of selected crops, water resources of the basin and the amount of water consumption in the agricultural sector during the years 2017-2021 from the annual reports of experts Agricultural Jihad Organization and Regional Water Company of Mazandaran Province were collected. The results indicate that the goal model is worse than the linear model in terms of profitability and better than this model in terms of the environment and it can be concluded that the goal model is the middle between the current and linear models. If the criterion for determining the optimal model is profitability and saving in the consumption of inputs that disrupt sustainability, the gray model with an average reduction of 23, 22 and 50%, respectively, in the use of water, chemical fertilizers and agricultural poisons (based on the range of savings in the consumption of the aforementioned inputs) is a more suitable model to recommend. Also, this model guarantees the possibility of earning 21,818 billion rials in gross profit only from the cultivation of barley, grain corn and rice. In addition, linear and goal models cannot provide a suitable program to farmers in the conditions of wet period/drought. Therefore, it is suggested to carry out promotional activities in order to raise awareness about the benefits of implementing the gray model on the water and soil of the region and the income of farmers.

Cite this article: Fouladi, H., Amirnejad, H., & Shirzadi Laskookalayeh, S. (2025). The structural program of cultivation system of selected crops of Tajen Basin based on the sustainability of water resources. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (2), 463-481. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380371.669773>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380371.669773>

EXTENDED ABSTRACT

Objectives

Today, the common language between farmers and construction programs is economic efficiency and production sustainability, of course, economic efficiency is always more dominant because agriculture is not considered a side job in today's conditions, it is definitely a complex economic enterprise. Of course, this importance should not come at the cost of harming the country's environment. In recent decades, one-sided attention to the economic well-being of farmers in cropping pattern programs has led to the neglect of harmful environmental consequences. Planning to determine the optimal pattern of cultivation, like any other type of planning, is done at three strategic, structural and operational levels. Agriculture, as one of the important economic sectors of the country, is largely affected by the quality and quantity of water resources. Therefore, there is a two-way relationship between the optimal use of water resources and the amount of production in the agricultural sector, and all planning for management and use is necessary. Sahih should be formed from this vital source. Therefore, in the present study, taking into account the conflicting economic (profit) and environmental goals (reduction of water consumption and chemical inputs), the cultivated area of selected crops in Tajen region was calculated in the form of linear, goal and gray models and with each other. has been compared.

Methods

The current study aims to calculate the optimal cultivation pattern based on the current conditions of the region with the aim of maximizing profit and minimizing the consumption of water and chemical inputs using three linear, goal and gray models and will be compared with each other. How to use data depends on the type of planning model. The linear programming model is formulated with the aim of profit maximization under consideration of resource limitations. In the aspirational planning approach, a desirable level is first selected for each aspiration. This choice can be based on upstream documents (development goals, vision document, land use plan, etc.). Then, in the objective function, the distance from the ideals is tried to be minimized. Therefore, the goal in goal programming models is to minimize undesirable deviations. The gray programming model is structurally similar to the linear programming model, with the difference that all parameters are uncertain.

The statistical population of this research is all the farmers of the agricultural sub-sector of the Tajen watershed. In the agricultural year of 1401-1400, the cultivated area of five important irrigated crops of rice, wheat, barley, rapeseed and corn in the areas of Tajen basin was reported as 33907, 2200, 386, 285 and 2550 hectares, respectively. It should be noted that the data of the basin, aggregated and the average data of 401 villages located in the study area, were prepared from the annual reports of the experts of the Jihad Agricultural Organization of this province. Also, the data related to the water resources of the basin and the amount of water consumption in the agricultural sector have been prepared by visiting the regional water joint stock company of Mazandaran province. The amount of distributed fertilizers and poisons, the number of active labor in the agricultural sector of the region and the number of active agricultural machinery have also been collected from the statistics of the Ministry of Agricultural Jihad, the statistical yearbook of the province and the reports of the Mazandaran Agricultural Jihad Organization. Data classification was done with Excel software and estimation of mathematical programming models was done with Lingo software.

Results

In this study, using valid models of mathematical programming, different cultivation patterns were investigated to select the best structural program. Optimal linear and goal models of the current research were modeled based on the current conditions of the region. The scope of the gray planning model was designed based on unfavorable conditions (drought and the most limited state of access to all production inputs during the last 5 years) and favorable conditions (fear and the best state of access to all production inputs during the last 5 years).

In the current conditions, wheat, barley, rapeseed, grain corn, high-quality long-grain rice, and high-yielding long-grain rice are cultivated on 2,200, 386, 285, 2,550, 7,643, and 22,864 hectares, respectively, in Tejan region, and the gross profit is equal to 18,884 billion. Rial creates a region for the farmers.

By estimating the linear planning model and with the aim of achieving maximum profit, wheat and rapeseed crops were removed from the cropping pattern, and the cultivation area of high-yielding barley and long-grain rice crops increased by 644 and 31%, respectively, and reached 2871 and 29929 hectares. Also, in this model, the cultivation area of high-quality long-grain rice and grain corn products decreased by 89 and 10%, respectively, and decreased to 842 and 2286 hectares. The implementation of this model caused a 14% increase in gross profit without changing the current input stock and only through changing the cultivation mix.

Estimating the goal programming model and with the aim of achieving the economic and environmental ideals defined in the study, what happens regarding the removal, increase or decrease of the crop cultivation area is exactly similar to the linear planning model; The implementation of this model caused the gross profit to increase by 13% from the current model.

Also, the results indicate that considering the lack of stability in economic and weather conditions and estimating the gray planning model, similar to the previous two optimal models, wheat and rapeseed products were removed from the cultivation model. High-quality long-grain rice can also be removed from the cultivation mix or be cultivated on a maximum of 16,234 hectares. It is necessary to increase the cultivation area of grain corn by 138% and decrease by 53% in contrast to the cultivation area of high-yielding long-grain rice. But the area under barley cultivation can vary between 87 and 2761 hectares. In the best conditions, there will be a 16% increase in the gross profit of farmers compared to the current pattern of the region, which showed the realization of the economic ideal.

Also, the result showed that the application of each optimal model (linear, goal and gray programming) led to a reduction in the consumption of chemical fertilizers. This indicates that there is extravagance and consumption of fertilizer in Tajen region. There is excess in water consumption in Tajen region; So that the application of each of the optimal patterns can lead to the realization of preserving the reserves of Tajen water resources.

Discussion

The water crisis in Iran is one of the biggest challenges that has affected all aspects of people's lives in recent years. Considering that the agricultural sector is the largest consumer of water; Water scarcity and how to adapt to it has become the most important issue in the country's agriculture. For this purpose, in the current study, the agricultural sub-section of Tajen catchment area in the east of Mazandaran was considered. So, the aim of this study is to provide an optimal cultivation pattern to adapt the agricultural sector of this region to water scarcity conditions. The results indicate that the goal programming model was worse than the linear model in terms of profitability and better than this model in terms of the environment, and it can be concluded that the goal programming model is the middle between the current and optimal linear models. In general, if the criteria for determining the optimal cultivation pattern is profitability, it can be said that the gray planning pattern is the best pattern to recommend. Also, if the selection criterion is saving water consumption, the gray planning model with a reduction of 6.671 million cubic meters in the use of this input is a more suitable model for implementation. In addition, in this model, a 22.4% reduction in the use of chemical fertilizers and a 50.2% reduction in the total consumption of agricultural poisons lead to a reduction in the penetration of pollutants into the soil, a reduction in the pollution of agricultural fields, a reduction in soil poisoning by chemical compounds, and a reduction in risks. It is caused by the residue of toxins in humans and animals, as well as a decrease in resistance to pests and plant pathogens, and in general, the stability of water and soil resources.

The results of the models indicate the possibility of growing crops with less use of chemical fertilizers. Therefore, it is recommended that policies are aimed at reducing access to this input in order to reduce damage to the environment and the spread of diseases.

Author Contributions

Conceptualization, H.A., S.Sh. and H.F.; methodology, S.Sh. and H.F.; software, H.F.; validation, S.Sh. and H.A.; formal analysis and investigation, H.F., H.A. and S.Sh.; resources and data curation, H.F.; writing—original draft preparation, H.F., H.A. and S.Sh.; writing—review and editing, H.F., H.A. and S.Sh.; visualization, H.F., H.A. and S.Sh.; supervision S.Sh. and H.A.

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data available on reasonable request from the authors.

Acknowledgements

We are grateful to the experts of agronomy management and plant conservation management of Mazandaran Province Agricultural Jihad Organization and Sari City Agricultural Jihad Management who cooperated in data collection. This article is taken from the preliminary results of a doctoral dissertation with material and intellectual rights related to Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, which is gratefully acknowledged.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct. Conflict of interest.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

برنامه ساختاری نظام کشت محصولات منتخب زراعی حوضه آبریز تجن مبتنی بر پایداری منابع آبی

حسین فولادی^۱ | حمید امیرنژاد^۲ | سمیه شیرزادی لسکوکلایه^۳ ✉

۱. گروه اقتصادکشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران. رایانامه:

fouladih45@gmail.com

۲. گروه اقتصادکشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران. رایانامه:

h.amirnejad@sanru.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، گروه اقتصادکشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران. رایانامه:

s.shirzadi@sanru.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف اصلی تحقیق حاضر تدوین برنامه کشت بهینه محصولات زراعی حوضه آبریز تجن بود. بدین منظور از دو مدل رایج برنامه‌ریزی ریاضی قطعی شامل برنامه‌ریزی خطی و آرمانی و مدل غیرقطعی برنامه‌ریزی خاکستری استفاده شد. در این راستا اطلاعات سری زمانی محصولات زراعی منتخب، منابع آب حوضه و میزان مصارف آب در بخش کشاورزی طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۶ حاصل از گزارشات سالانه کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی و شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مازندران گردآوری شد. نتایج حاکی از آن است الگوی آرمانی به لحاظ سودآوری از الگوی خطی بدتر و به لحاظ محیط‌زیستی از این الگو بهتر است و می‌توان نتیجه گرفت که الگوی آرمانی میانه بین الگوهای فعلی و خطی است. اگر ملاک تعیین الگوی بهینه، سودآوری و صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌های مختل‌کننده پایداری باشد، الگوی خاکستری با میانگین کاهش ۲۳، ۲۲ و ۵۰ درصدی به ترتیب در استفاده از آب، کودهای شیمیایی و سموم کشاورزی (بر اساس دامنه صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌های مذکور)، الگوی مناسب‌تری جهت توصیه می‌باشد. همچنین، این الگو امکان کسب ۲۱۸۱۸ میلیارد ریال سود ناخالص را تنها از کشت محصولات جو، ذرت دانه‌ای و برنج تضمین می‌نماید. علاوه بر این، مدل‌های برنامه‌ریزی خطی و آرمانی نمی‌توانند برنامه مناسبی در شرایط ترسالی/خشکسالی به کشاورزان ارائه نمایند. لذا، پیشنهاد می‌شود فعالیت‌های ترویجی در راستای آگاهی‌بخشی در خصوص منافع حاصل از پیاده‌سازی مدل برنامه‌ریزی خاکستری بر آب و خاک منطقه و درآمد کشاورزان انجام شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۱۴	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۹/۲۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۸	
تاریخ انتشار: اردیبهشت ۱۴۰۴	
واژه‌های کلیدی:	
برنامه‌ریزی ریاضی،	
سازگاری،	
عدم قطعیت،	
مازندران،	
منابع آب.	

استناد: فولادی، حسین؛ امیرنژاد، حمید؛ و شیرزادی لسکوکلایه، سمیه (۱۴۰۴). برنامه ساختاری نظام کشت محصولات منتخب زراعی حوضه آبریز تجن مبتنی بر پایداری

منابع آبی، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶ (۲)، ۴۶۳-۴۸۱. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380371.669773>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380371.669773>

مقدمه

امروزه زبان مشترک بین کشاورزان و برنامه‌های عمرانی، بازده اقتصادی و پایداری تولید است، که البته بازده اقتصادی همواره غالبیت بیشتری دارد. چرا که کشاورزی در شرایط امروز شغل جانبی محسوب نمی‌شود، بلکه یک بنگاه اقتصادی پیچیده می‌باشد. البته این مهم، نباید به قیمت آسیب به محیط‌زیست کشور تمام شود. در دهه‌های اخیر، توجه یک‌سویه به رفاه اقتصادی کشاورزان در برنامه‌های الگوی کشت، منجر به غفلت از پیامدهای مخرب محیط‌زیستی شده است (عبادی، ۱۴۰۲).

برنامه‌ریزی جهت تعیین الگوی بهینه کشت مانند هر نوع برنامه‌ریزی دیگری در سه سطح راهبردی، ساختاری و عملیاتی صورت می‌گیرد. در بالاترین سطح برنامه‌ریزی یعنی سطح راهبردی، خط‌مشی کلی الگوی کشت ملی تعیین می‌شود و تصمیمات بنیادی که ناظر بر سیاست‌های کلان کشور است، اتخاذ می‌گردد. سطح میانی برنامه‌ریزی سطح ساختاری است که دلالت بر نوعی برنامه‌ریزی منطقه‌ای دارد. ارجاعات مکانی در این سطح معمولاً واحدهای هیدرولوژیکی، دشت، حوضه، استان یا شهرستان است که اهداف آن از درون منطقه و راهبردهای آن در راستای برنامه‌های ملی است. در سطح عملیاتی، اهداف جزئی و خرد با توجه به امکانات، پتانسیل‌ها و محدودیت‌های هر منطقه در سطح محلی یا مزرعه نماینده تعیین می‌شوند (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۱).

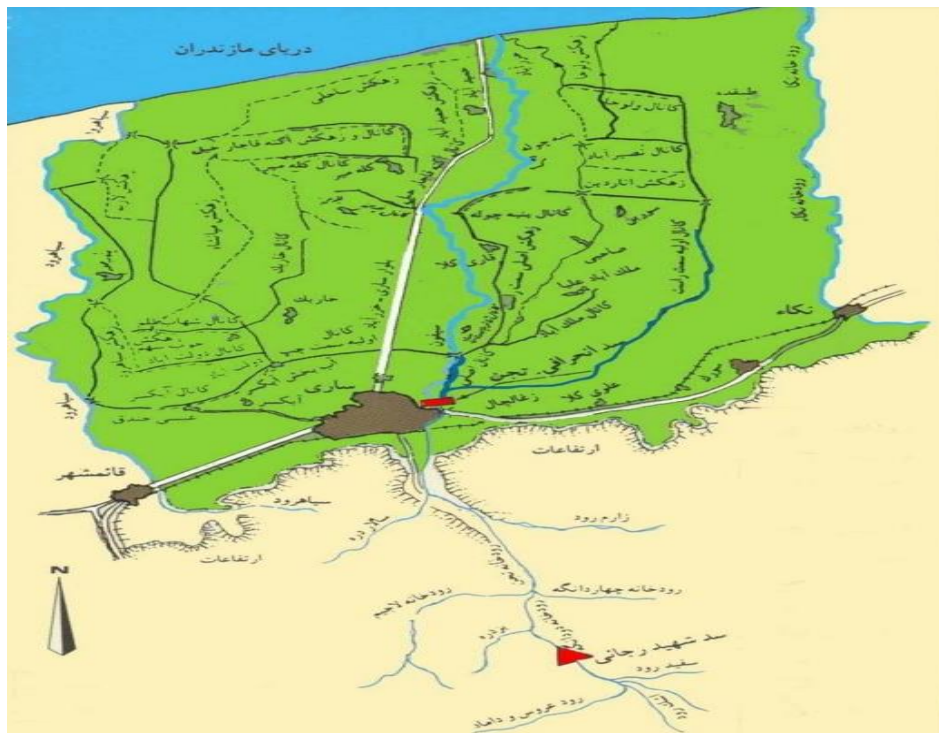
الگوی کشت در برخی کشورها مانند شوروی سابق اجباری و ابلاغی است اما در کشورهایی که مبتنی بر بازار آزاد هستند الگوی کشت نظامی ارشادی و هدایت‌گر است و قانون‌گذار در جهت اجرای آن باید به‌صورت تشویقی تمهیداتی را در نظر گیرد (سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، ۱۴۰۱). یکی از مباحث مهم در برنامه‌ی الگوی کشت، مسئله بین تطابق آب قابل برنامه‌ریزی و تولید محصولات کشاورزی است. تخصیص آب بر اساس برنامه الگوی کشت تکلیفی قانونی است و باید مشخص کند که آب در کجای کشور، برای چه محصولاتی و به چه حجمی مصرف شود. کشاورزی به‌عنوان یکی از بخش‌های مهم اقتصادی کشور تا حد زیادی متأثر از کیفیت و کمیت منابع آبی است. علاوه بر این، به‌طور نسبی درصد زیادی از منابع آبی کشور (۸۲ میلیارد مترمکعب معادل ۹۲ درصد) صرف مقاصد کشاورزی می‌شود. از این‌رو، یک رابطه دوطرفه بین استفاده بهینه از منابع آبی و میزان تولیدات بخش کشاورزی برقرار است و لازم است تمام برنامه‌ریزی‌ها برای مدیریت و استفاده صحیح از این منبع حیاتی شکل گیرد (میرکریمی، ۱۳۹۸). با توجه به اهمیت موضوع در مطالعه حاضر، با لحاظ همزمان اهداف متضاد اقتصادی (سود) و محیط‌زیستی (کاهش مصرف آب و نهاده‌های شیمیایی)، سطح زیرکشت محصولات زراعی منتخب در منطقه تجن در قالب مدل‌های خطی، آرمانی و خاکستری محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده است. منطقه تجن، یک واحد هیدرولوژیکی تقریباً بزرگ در استان مازندران است که آب و خاک آن از کلیدی‌ترین پایگاه‌های رشد اقتصادی به‌ویژه بخش کشاورزی مرکز این استان (شهرستان ساری) شناخته می‌شود (شریفی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱). بارش تجمعی در ناحیه مورد مطالعه طی ماه‌های فروردین الی اسفند مربوط به سال ۱۴۰۰، در نمودار یک، قابل مشاهده است.



نمودار ۱- مقایسه بارش در ماه‌های مختلف سال ۱۴۰۰

در دوره بلندمدت میانگین بارش سالیانه ۸۳۴ میلی‌متر گزارش شده که این میزان در سال ۱۴۰۰ برابر با ۶۵۶ میلی‌متر می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان گفت نسبت به دوره بلندمدت روند بارندگی نزولی بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۹). همچنین، کاهش حجم ۷۵ درصدی

روان آب‌های رودخانه تجن ناشی از تغییرات آب و هوایی نسبت به دوره شاخص ۵۰ ساله از یک سو و آبیاری زمین‌های کشاورزی، به‌ویژه اراضی شالیزاری از طریق سردهنه‌های این حوضه از سوی دیگر لزوم توجه به مدیریت منابع آب این حوضه را آشکار می‌سازد. موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه نیز در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز تجن

منابع آبی سطحی این حوضه، عمده آب مورد نیاز محصولات زراعی غالب شامل غلات (برنج، گندم و جو) و دانه‌های روغنی (کلزا و ذرت) را فراهم می‌کند که در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مجموع ۸۷/۱۲ درصد سطح کشت محصولات زراعی منطقه را در بر می‌گیرد. لازم به ذکر است در سال زراعی مذکور، سطح زیرکشت پنج محصول مهم برنج، گندم، جو، کلزا و ذرت در نواحی حوضه تجن به ترتیب ۳۳۹۰۷، ۲۲۰۰، ۳۸۶، ۲۸۵ و ۲۵۵۰ هکتار گزارش شده است. این موضوع نقش مهم حوضه تجن در پایداری زیربخش زراعی را در این منطقه آشکار می‌نماید (شرکت آب منطقه ای مازندران، ۱۴۰۱).

با توجه به اینکه فعالیت کشاورزی با مخاطره و عدم قطعیت مواجه است، تعیین یک دامنه کشت برای هریک از محصولات می‌تواند تصویر مناسب‌تری از الگوی کشت منطقه تجن ارائه نماید. ضمن آنکه لحاظ نمودن اهداف کلان در برنامه ساختاری این منطقه همسو با راهبردهای برنامه ملی می‌تواند در سازگاری و تداوم کشاورزی مفید واقع باشد.

بررسی مطالعات داخلی حاکی از آن است که تاکنون برای تدوین الگوی کشت با لحاظ چند هدف و شرایط غیرقطعی از مدل‌های متنوعی بهره گرفته شده است. به عنوان مثال ستوده (۱۳۹۳) در پایان‌نامه خود نشان داد که افزایش ۲۹/۴۸ درصدی سود ناخالص کشاورزان شهرستان گرگان در مدل برنامه‌ریزی فازی آرمانی نسبت به الگوی فعلی و افزایش ۱۴/۹۴، ۷۱۵/۹۰ و ۳۷/۰۱ درصدی سطح زیر کشت در راستای خودکفایی نتیجه کاربرد عدم قطعیت در مدل است.

جولایی و همکاران (۱۳۹۵) روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی^۱ را جهت تعیین الگوی کشت شهرستان ساری در شرایط لحاظ نمودن اهداف اقتصادی، خودکفایی، محیط‌زیستی و اجتماعی به کار بردند. نتایج نشان داد سود ناخالص برای اهداف اقتصادی و اجتماعی ۱۱ و ۲ درصد افزایش و سود ناخالص برای اهداف خودکفایی و محیط‌زیستی ۲ و ۳۶ درصد کاهش می‌یابد.

خدادادی (۱۳۹۸) با هدف کاهش آب آبیاری به تعیین الگوی بهینه کشت با استفاده از روش آرمانی استوار در شرایط عدم قطعیت در خوزستان پرداختند. نتایج نشان داد که تغییرات اندک ترکیب کشت محصولات و سود ناخالص باعث کاهش ۱۴ درصدی مصرف آب

خواهد شد.

مردانی نجف آبادی و همکاران (۱۳۹۹) به تعیین الگوی بهینه کشت با هدف کاهش مصرف کود، سم، زمین و آب آبیاری با استفاده از برنامه‌ریزی خطی کسری چندهدفه استوار^۱، در شرایط عدم حتمیت پرداختند. نتایج نشان داد که بر اساس کاربرد الگوی کشت حاصل از برنامه‌ریزی خطی کسری چندهدفه استوار، مصرف کود، سم، زمین و آب آبیاری در شوشتر به ترتیب ۱۷، ۱۵، ۸ و ۱/۱ درصد کاهش می‌یابد.

ثانی و دشتی (۱۴۰۰) به تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از روش مدل آرمانی استوار^۲، تحت شرایط عدم قطعیت پرداختند. نتایج بیانگر برتری مدل آرمانی استوار، بر مدل‌های خطی و آرمانی به لحاظ دستیابی همزمان به اهداف حداکثر سود و کاهش مصرف آب می‌باشد. اجرای الگوی بهینه کشت براساس مدل آرمانی استوار باعث افزایش سود و اشتغال به ترتیب به میزان ۱/۷ و ۱/۳۲ درصد و همچنین کاهش مصرف آب، کود و سموم شیمیایی به ترتیب به مقدار ۷/۷، ۱۲/۳ و ۱۲ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی می‌گردد. در میان محصولات مورد مطالعه، گندم بیشترین افزایش سطح زیرکشت را داشته است. از این رو یک محصول حایز اهمیت در منطقه است و بایستی نسبت به کشت آن به عنوان یک محصول استراتژیک در مساحت بیشتر اقدام شود.

دادخواه (۱۴۰۱) در پایان‌نامه خود با کاربرد روش خاکستری به ارزیابی الگوی کشت محصولات زراعی تهران پرداخت. جایگزینی گوجه‌فرنگی، ذرت علوفه‌ای و کلزا با محصولات گندم، جو و پیاز و قرار گرفتن گندم آبی با سطح ۳۷ تا ۴۰ هزار هکتار در الگوی کشت نتیجه اعمال الگوی کشت بهینه بود.

اسفندیاری و همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از روش آرمانی فازی به بهینه‌سازی الگوی کشت با رویکرد آب مجازی در دشت سیستان پرداختند. نتایج نشان داد الگوی بهینه منجر به کاهش مصرف آب مجازی در بخش کشاورزی از ۱۰۱۹ میلیون مترمکعب به ۶۰۰ میلیون مترمکعب و افزایش تأمین آب بخش محیط‌زیست از ۱۳۸ به ۲۴۰ میلیون مترمکعب شد.

از مطالعات خارجی در این زمینه می‌توان به مطالعه Zeng et al. (2010) اشاره نمود که از روش برنامه‌ریزی فازی جهت تعیین الگوی کشت بهینه استان لیانگ‌ژو چین استفاده نمودند. کسب نتیجه مطلوب در تعیین الگوی کشت بهینه با هدف مدیریت مصرف آب در اثر فازی نمودن پارامترهای مدل چندهدفه از اهم نتایج این پژوهش بود.

Li & Guo (2014) از مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه جهت تخصیص منابع آبی چین استفاده نمودند. در این تحقیق، منافع اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیکی مناطق آبیاری به‌عنوان توابع هدف بهینه در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد در شرایط لحاظ عدم قطعیت میزان مصرف آب کاهش و کیفیت آب آبیاری افزایش داشته است.

Komari et al. (2017) با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه^۳ به تعیین الگوی کشت بهینه در شرق اوتار پردازش پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که الگوی بهینه کشت پیشنهادی منجر به افزایش ۷ درصدی درآمد مزرعه و کاهش ۶ درصدی آب آبیاری در نتیجه بهره‌گیری از رویکرد برنامه‌ریزی چندهدفه خواهد شد.

Ren et al. (2019) در مطالعه خود جهت تعیین الگوی کشت بهینه منطقه گانسو چین از روش فازی تصادفی چندهدفه^۴ استفاده کردند. یافته‌های این تحقیق دلالت بر جدی بودن معضل کمبود منابع آب به‌ویژه در شرایطی که احتمال ریسک به ۰/۲۵ برسد و در صورت ایجاد تغییر در سطح کشت سیب‌زمینی، سبزی و کدو داشت.

در سال Soltani & Khajepor (2020) از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه جهت بررسی الگوی کشت افغانستان استفاده نمودند. کاهش سطح کشت گندم و افزایش سطح کشت کنجد و زعفران در مدل‌های بهینه و همچنین حذف و یا کاهش شدید زیره سبز در نتیجه اعمال مدل چندهدفه با تمرکز بر پایداری محیط‌زیستی بود.

Gao et al. (2021) با استفاده از روش تصادفی دو مرحله‌ای^۵، به تخصیص آب و زمین با حداقل کردن هزینه در منطقه‌ای از چین پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از الگوی کشت پیشنهادی مدل مورد مطالعه، مقدار مصرف آب آبیاری ۱/۲۳ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین هزینه‌های کشت محصولات در مدل پیشنهادی تصادفی دو مرحله‌ای، ۴ درصد کاهش خواهد یافت.

1 Robust Multi-Objective Linear Fractional Programming

2 Robust Goal Model

3 Multi-Objective Mathematical Programming

4 Fuzzy-Stochastic Multi-Objective Model

5 Two-Stage Stochastic Programming



راسخ (۱۴۰۱) از روش برنامه‌ریزی جهت تعیین الگوی کشت بهینه استان ننگرهار افغانستان استفاده کرد. انطباق الگوی بهینه برنامه‌ریزی خطی ساده با الگوی فعلی منطقه و اختلاف چشمگیر ترکیب کشت محصولات بر مبنای روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی با دو الگوی دیگر از مهمترین نتایج مطالعه وی بود.

Li et al. (2023) تحقیقی را با تمرکز بر تخمین ردپای آب (WF) و ارزیابی پایداری تولید گندم و ذرت در استان هنان در چین با استفاده از روش خاکستری انجام داد. نتایج نشان داد که میانگین سالانه ردپای آبی آبی تولید گندم در استان هنان ۷۹۱۴ میلیون متر مکعب بوده که ۷۷ درصد آن ناپایدار است، در حالی که تولید ذرت دارای ردپای آبی ۷۰۳ میلیون مترمکعب بوده که ۷۰ درصد ناپایدار تلقی می‌شود. این مطالعه همچنین صرفه‌جویی بالقوه آب آبی را با کاهش BWF ویژه محصول به سطوح معیار مختلف تخمین زد. برای تولید گندم، صرفه‌جویی در حدود MCM ۲۷۴۲ یا MCM ۳۷۵ آب آبی به ترتیب با رسیدن به سطوح معیار بهینه یا کمتر از حد مطلوب امکان‌پذیر شد.

Hacıstüleyman & Ozger (2024) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه الگوی کشت بهینه را در منطقه ترکیه بدست آوردند. نتایج مدل بهینه نشان داد مصرف آب ۳/۴۵ درصد و انتشار دی اکسید کربن ۰/۱۱ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که کاهش قابل‌توجهی در مصرف آب و انتشار دی‌اکسید کربن را می‌توان به سادگی با اصلاح الگوی کشت به دست آورد، در حالی که درآمد کشاورزی در همان سطح فعلی باقی بماند.

بررسی پیشینه پژوهش نشان داد که روش‌های مختلفی به‌منظور تعیین الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی پیشنهاد شده است که یکی از رایج‌ترین آن‌ها استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی است. تولیدکنندگان کشاورزی در ایران هر ساله با مجموعه‌ای از مخاطرات طبیعی، اجتماعی، اقتصادی، مدیریتی و سیاستی درگیر هستند و این امر باعث شده تا با انواع عدم قطعیت در قیمت و عملکرد و در نتیجه بی‌ثباتی درآمد مواجه باشند (رستگاری پور و صبوحی (۱۳۸۸)؛ Darvishi, (2018)، Dadhakh, (2022)، و Ahmed Musa, (2020)). در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی عدم قطعیت را می‌توان به شیوه‌های گوناگون نمایش داد. در مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی فازی امکان لحاظ نمودن داده‌های غیردقیق و مبهم در آرمان‌ها و مقادیر سمت راست مدل وجود دارد (Huang & Moor (1993); Baran (2005), Biswas & (2006), Li et al (2006)). در مدل‌های پارامتر بازه‌ای^۲ بر خلاف روش FGP عدم حتمیت در ضرایب فنی و و ضرایب تابع هدف لحاظ می‌شود (Maqsood et al (2005)). مدل خاکستری با تلفیق دو روش فوق، امکان لحاظ نمودن عدم قطعیت در کلیه پارامترهای مدل (ضرایب فنی، ضرایب تابع هدف و مقادیر سمت راست) را فراهم می‌آورد (Ganesan, 2007). هدف اصلی این مطالعه در راستای ارائه بهترین برنامه ساختاری نظام کشت حوضه تجن، بررسی مدل برنامه‌ریزی آرمانی^۳ جهت لحاظ نمودن اهداف اقتصادی و محیط‌زیستی از یک سو و ارزیابی کارایی مدل برنامه‌ریزی خاکستری^۴، جهت لحاظ نمودن شرایط غیرقطعی پارامترها از سوی دیگر است. تا با ارائه نتایج در قالب اعداد بازه‌ای و تعیین دامنه برای هر یک از پارامترهای مهم تولید اعم از سطح تولید و نهاده‌های مصرفی، قدرت تصمیم‌گیری مناسب‌تری را برای زارعین در انتخاب ترکیبات کشت و مصرف نهاده‌ها سبب گردد و تصویر روشن‌تری از نظام کشت محصولات زراعی برای کشاورزان منطقه ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

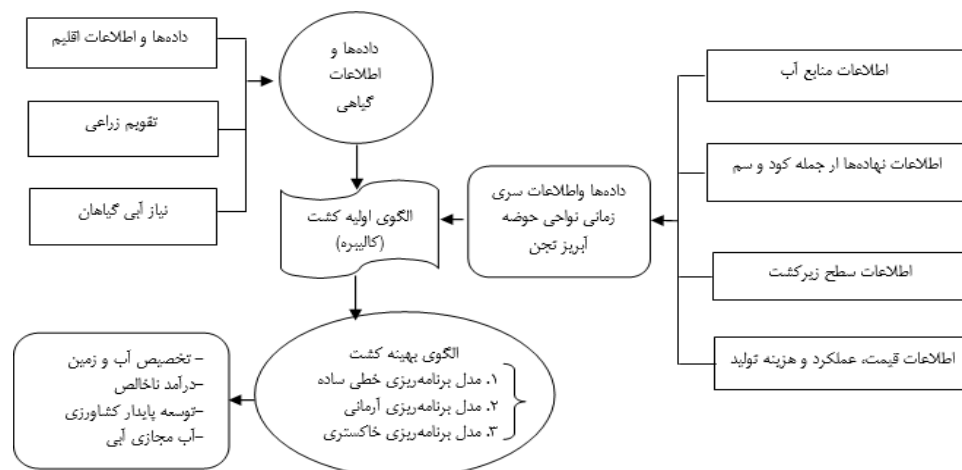
شکل (۲) شمای کلی ساختار مدل نویسی الگوی کشت حوضه آبریز تجن را نمایش می‌دهد. مطابق با شکل (۲) یکی از فاکتورهای مؤثر بر الگوی کشت، اقلیم منطقه است. نقش محوری موجودات زنده در فرآیند تولید باعث می‌شود که کشاورزی نسبت به بسیاری از فعالیت‌ها، وابسته به طبیعت و اقلیم باشد. به عبارت دیگر، کشاورزی با موجودات زنده همچون گیاه و حیوان سروکار دارد که باعث می‌شود از شرایط اقلیمی تأثیر زیادی پذیرد. در اغلب موارد، تنوع اقلیمی باعث می‌شود که عملیات و برنامه‌های کشاورزی حتی در فواصل نزدیک تفاوت‌های قابل‌ملاحظه‌ای باهم داشته باشند. برای مثال، تنوع اقلیمی گاهی حتی در سطح یک شهرستان ایجاب می‌کند که محصولات متفاوتی در روستاهای مختلف آن پرورش یابند و گاهی الگوی کشت در دو روستا با فواصل نزدیک، به دلیل اختلاف ارتفاع و در نتیجه تفاوت زیاد در اقلیم به کلی متفاوت شود (Leeuwis, Leeuwis, & Ban, 2004).

1 Water Footprint

2 Interval Parameter Programing (IPP)

3 Goal Programing (GP)

4 Gray Programing Model



شکل ۲. چارچوب مفهومی و روش‌شناسی ارائه الگوی کشت حوضه آبریز تجن

از دیگر فاکتورهای مؤثر بر الگوی کشت، توجه به تقویم زراعی است که راهکاری برای عبور از تنش آبی نیز محسوب می‌شود. در این راستا، کاشت گیاه در زمان مناسب می‌تواند به کنترل مجموعه عوامل محیطی مناسب برای رشد و بقای گیاهان کمک نماید؛ ضمن آنکه بدین ترتیب گیاه در دوره رشد و نمو خود با شرایط مطلوب محیطی روبرو شده و عملکرد کمی و کیفی آن بهبود می‌یابد (سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، ۱۴۰۱).

یکی از لایه‌های اصلی الگوی کشت، آگاهی از نیاز آبی گیاهان است. به عبارت بهتر، اولین فاکتوری که جهت پیاده‌سازی الگوی کشت در هر منطقه مطرح می‌شود؛ این است که با در نظر گرفتن میزان تلفات تبخیر و تعرق، گیاه به چه مقدار آب احتیاج دارد (سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، ۱۴۰۱).

علاوه بر نیاز آبی، سایر نیازهای گیاهان به نهاده‌های تولیدی که تحت کنترل بشر می‌باشد نیز باید سنجیده شود. هم‌چنین، موجودی منابع در دسترس در بخش کشاورزی منطقه شامل میزان آب قابل‌استفاده، نیروی کار فعال، کود، سم و بذر توزیعی، زمین، سرمایه و ماشین‌آلات کشاورزی نیز به‌منظور مدل‌سازی صحیح و اصولی لازم به اندازه‌گیری است (جولایی و همکاران، ۱۳۹۵).

با توجه به اینکه زارعین رفتار اقتصادی دارند و در تصمیمات خود سابقه قیمتی محصول را لحاظ می‌کنند؛ لذا این فاکتور در انتخاب محصولات و الگوی کشت نقش مهمی را ایفا می‌نماید (آماده و همکاران، ۱۳۸۰).

در این مطالعه نتایج الگوی کشت بهینه سه مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی، آرمانی و خاکستری با یکدیگر مقایسه شد. مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی با هدف حداکثرسازی سود تحت لحاظ نمودن محدودیت‌های منابع فرموله گردید. در رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی آرمانی ابتدا برای هر آرمان یک سطح مطلوب انتخاب شد. این انتخاب بر مبنای اسناد بالادستی (اهداف توسعه‌ای، سند چشم‌انداز، برنامه آمایش سرزمینی و غیره) بوده است. سپس در تابع هدف سعی گردید فاصله از آرمان‌ها حداقل گردد. بنابراین، هدف در مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی کمینه‌سازی انحرافات نامطلوب است. مدل برنامه‌ریزی ریاضی خاکستری به‌لحاظ ساختاری مشابه با مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی است با این تفاوت که کلیه پارامترها غیرقطعی می‌باشند. فرم کلی مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی خطی ساده، آرمانی و خاکستری به‌ترتیب به‌صورت روابط (۱)، (۲) و (۳) می‌باشد:

$$MAX Z = \sum_{i=1}^n C_i X_i \quad \text{رابطه ۱}$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} X_i \leq b_j$$

$$X_i \geq 0 \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n \quad , \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$Min I = \sum_{k=1}^K (d_k^- + d_k^+) \quad \text{رابطه ۲}$$



Subject to:

$$\sum_{i=1}^n C_{ik} X_i + d_k^- - d_k^+ = g_k \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, K$$

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} X_i \leq b_j$$

$$X_i, d_k^-, d_k^+ \geq 0 \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n \quad , \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$\text{Max } S = \tilde{C}(\otimes)X$$

رابطه ۳)

Subject to:

$$\tilde{A}(\otimes)X = \tilde{b}(\otimes), \quad X \geq 0$$

به طوری که X بردار (متغیر) تصمیم، C ضرایب اهداف (آرمان‌ها)، a ضرایب فنی و b موجودی منابع تولید، d_k^+ و d_k^- به ترتیب موفقیت کمتر از حد و موفقیت بیشتر از حد هر یک از آرمان‌ها، g سطح مطلوب آرمان‌ها، عدد خاکستری (\otimes) ، $C(\otimes)$ بردار قیمت خاکستری، $A(\otimes)$ ماتریس مصرف خاکستری، $b(\otimes)$ بردار محدودیت منابع خاکستری را نشان می‌دهند (Liu & Wheeler & Russell, 1977) و (Lin, 2006).

از رابطه (۴) برای محاسبه درجه خاکستری و کارایی جواب‌های مدل استفاده شد. هرچه درجه خاکستری بودن بیشتر، اعتبار پاسخ‌ها کمتر است. در رابطه (۴)، (X) ، (X) و $(X)_m$ به ترتیب حد بالا، حد پایین و حد میانی بازه تعریف شده را نشان می‌دهند (Huang, 1996).

$$Gd[(X)] = \{[(X)] - (X) / (X)_m\} * 100$$

رابطه ۴)

جامعه آماری تحقیق حاضر کلیه بهره‌برداران زیربخش زراعی حوضه آبریز تجن بوده است. با توجه به اینکه هدف مطالعه حاضر تدوین برنامه برای نظام کشت محصولات زراعی در شرایط کم آبی و سازگاری با آن بود. لذا کلیه محصولات زراعی آبی، مورد بررسی قرار گرفتند. برنامه کشت برای کل سال یعنی با لحاظ محصولات بهاره و پاییزه و در قالب دو محدودیت مجزای سطح کشت در مدل اعمال شد. لازم به توضیح است که ارقام برنج (دانه‌بلند مرغوب و دانه‌بلند پرمحصول) و ذرت دانه‌ای، محصولات بهاره و گندم، جو و کلزا محصولات پاییزه و رقیب یکدیگر در استفاده از منابع و زمین می‌باشند. محصولات گندم، جو، کلزا، ذرت دانه‌ای، برنج دانه‌بلند مرغوب، برنج دانه‌بلند پرمحصول با در اختیار داشتن بیش از ۹۰ درصد سطح کشت زراعی حوضه تجن، شش محصول مهم این منطقه محسوب می‌شوند. در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، سطح زیرکشت محصولات آبی مهم برنج، گندم، جو، کلزا و ذرت در نواحی حوضه تجن به ترتیب ۳۳۹۰۷، ۲۲۰۰، ۳۸۶، ۲۸۵ و ۲۵۵۰ هکتار گزارش شده است. همچنین، جمع سطح کشت محصولات فوق‌الذکر در این حوضه ۳۷/۳ هزار هکتار است که سهم ۹۲ درصدی از کل سطح زراعی این منطقه (۴۰/۵ هزار هکتار) دارد. در این مطالعه اطلاعات سری زمانی قیمت، عملکرد و ضرایب فنی محصولات زراعی منتخب، بر مبنای پرسشنامه‌های هزینه تولید سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران و بهره‌مندی از داده‌های ثانویه گردآوری شد. لازم به ذکر است داده‌های حوضه، تجمیع شده و میانگین داده‌های ۴۰۱ آبادی واقع در منطقه مورد مطالعه از گزارشات سالانه کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی این استان تهیه شد.

همچنین داده‌های مربوط به منابع آبی حوضه و میزان مصارف آب در بخش کشاورزی نیز از طریق مراجعه حضوری به شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مازندران تهیه شد. میزان نهاده‌های کود و سم توزیعی، تعداد نیروی کار فعال در بخش کشاورزی منطقه و تعداد ماشین‌آلات فعال زراعی نیز از آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی، سالنامه آماری استان و گزارشات سازمان جهاد کشاورزی مازندران طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۶ جمع‌آوری شد. طبقه‌بندی داده‌ها با نرم‌افزار Excel و تخمین مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی با نرم‌افزار Lingo انجام گرفت.

نتایج و بحث

در این مطالعه با استفاده از مدل‌های معتبر برنامه‌ریزی ریاضی الگوهای مختلف کشت بررسی شده تا بهترین برنامه ساختاری انتخاب گردد.

الگوهای بهینه خطی و آرمانی تحقیق حاضر بر اساس شرایط فعلی منطقه مدل نویسی شد. دامنه الگوی برنامه ریزی خاکستری بر اساس شرایط نامطلوب (خشکسالی و محدودترین حالت دسترسی به کلیه نهاده‌های تولیدی طی ۵ سال گذشته) و شرایط مطلوب (ترسالی و بهترین حالت دسترسی به کلیه نهاده‌های تولیدی طی ۵ سال گذشته) طراحی گردید. سپس با استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری برنامه‌نویسی Excel و Lingo مدل‌ها تخمین و یافته‌ها در جدول (۱) گزارش شد.

جدول ۱. سطح زیرکشت محصولات منتخب زراعی حوضه تجن (هکتار)

نام محصول	الگوی فعلی منطقه تجن		الگوی بهینه خطی		الگوی بهینه آرمانی	
	سطح	درصد تغییر	سطح	درصد تغییر	سطح	درصد تغییر
گندم	۲۲۰۰	۰	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰
جو	۳۸۶	۲۸۷۱	۶۴۴	۲۸۷۱	۶۴۴	[۸۷,۲۷۶۱] [-۷۷,۶۱۵]
کلزا	۲۸۵	۰	-۱۰۰	۰	-۱۰۰	۰
ذرت دانه‌ای	۲۵۵۰	۲۲۸۶	-۱۰	۲۴۷۹	-۳	۶۰۷۵
برنج دانه‌بلند مرغوب	۷۶۴۳	۸۴۲	-۸۹	۷۰۵	-۹۱	[۰,۱۶۲۳۴] [-۱۰۰,۱۱۲]
برنج دانه‌بلند پرمحصول	۲۲۸۶۴	۲۹۹۲۹	۳۱	۲۹۸۷۳	۳۱	۱۰۸۵۸
میزان سود ناخالص (میلیارد ریال)	۱۸۸۸۴	۲۱۴۳۷	۱۴	۲۱۳۷۵	۱۳	[۳۳۸۲,۲۱۸۱۸] [-۸۲,۱۶]

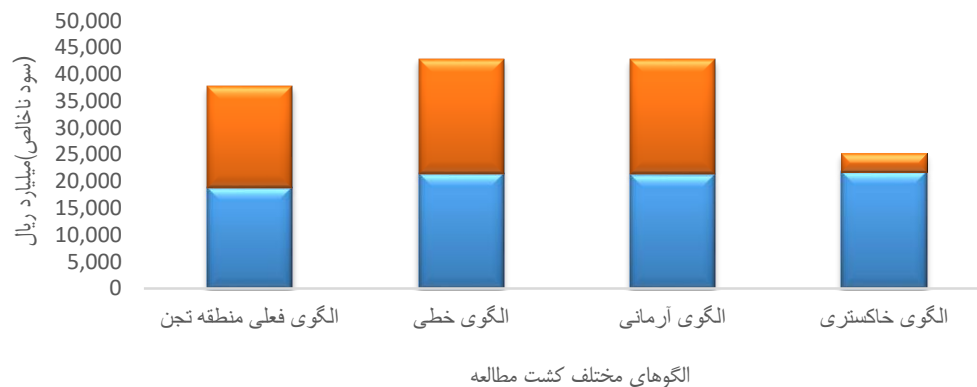
همان‌طور که جدول (۱) نشان داد در شرایط فعلی محصولات گندم، جو، کلزا، ذرت دانه‌ای، برنج دانه بلند مرغوب و برنج دانه بلند پرمحصول به ترتیب میزان ۲۲۰۰، ۳۸۶، ۲۸۵، ۲۵۵۰، ۷۶۴۳ و ۲۲۸۶۴ هکتار در منطقه تجن کشت می‌شود و سود ناخالصی معادل ۱۸۸۸۴ میلیارد ریال برای زارعین منطقه ایجاد می‌کند.

با تخمین الگوی برنامه‌ریزی خطی و با هدف دستیابی به حداکثر سود، محصولات گندم و کلزا از الگوی کشت حذف و سطح کشت محصولات جو و برنج دانه‌بلند پرمحصول به ترتیب ۶۴۴ و ۳۱ درصد افزایش و به رقم ۲۸۷۱ و ۲۹۹۲۹ هکتار رسید. همچنین، در این الگو سطح کشت محصولات برنج دانه‌بلند مرغوب و ذرت دانه‌ای به ترتیب ۸۹ و ۱۰ درصد کاهش و به رقم ۸۴۲ و ۲۲۸۶ هکتار تنزل یافت. اجرای این الگو سبب افزایش ۱۴ درصدی سود ناخالص و تغییر آن به رقم ۲۱۴۳۷ میلیارد ریال بدون اعمال تغییر در موجودی نهاده‌های فعلی و تنها از طریق تغییر ترکیب کشت گردید.

علاوه بر این، نتایج جدول (۱) بیان داشت با تخمین الگوی برنامه‌ریزی آرمانی و با هدف دستیابی به آرمان‌های اقتصادی و محیط-زیستی تعریف شده در مطالعه، آنچه در خصوص حذف، افزایش یا کاهش سطح کشت محصولات اتفاق می‌افتد دقیقاً مشابه با الگوی برنامه‌ریزی خطی است؛ با این تفاوت که میزان افزایش سطح کشت محصولات جو و برنج دانه‌بلند پرمحصول به ترتیب ۲۴۸۵ و ۷۰۰۹ هکتار و میزان کاهش سطح کشت محصولات برنج دانه‌بلند مرغوب و ذرت دانه‌ای به ترتیب ۶۹۳۸ و ۷۱ هکتار است. اجرای این الگو سبب شد که سود ناخالص به مقدار ۱۳ درصد (۲۴۹۱ میلیارد ریال) از الگوی فعلی بیشتر شود که البته ۶۲ میلیارد ریال از الگوی برنامه‌ریزی خطی کمتر است.

همچنین، نتایج جدول (۱) حاکی از آن است که با لحاظ نمودن عدم ثبات در شرایط اقتصادی و آب و هوایی و تخمین الگوی برنامه‌ریزی خاکستری، مشابه دو الگوی بهینه قبلی، محصولات گندم و کلزا از الگوی کشت حذف شدند. محصول برنج دانه‌بلند مرغوب نیز می‌تواند از ترکیب کشت حذف شود و یا حداکثر به میزان ۱۶۲۳۴ هکتار تحت کشت قرار گیرد. سطح کشت ذرت دانه‌ای لازم است ۱۳۸ درصد افزایش و در مقابل سطح کشت برنج دانه بلند پرمحصول ۵۳ درصد کاهش یابد. اما سطح زیرکشت جو می‌تواند بین ۸۷ تا ۲۷۶۱ هکتار متغیر باشد. در بهترین شرایط افزایش ۱۶ درصدی در سود ناخالص زارعین نسبت به الگوی فعلی منطقه اتفاق خواهد افتاد که تحقق آرمان اقتصادی را نشان داد.

شکل (۳) سود ناخالص ترکیبات فعلی محصولات منتخب (الگوی فعلی)، سود ناخالص بهترین حالت ترکیب اقتصادی محصولات منتخب در راستای حداکثرسازی سود و با توجه به میانگین شرایط موجود (الگوی برنامه‌ریزی خطی)، دامنه سود ناخالص تحت شرایط بدترین-بهترین حالت موجودی نهاده‌ها، قیمت و عملکرد محصولات منتخب طی دوره ۵ ساله و در راستای حداکثرسازی سود (الگوی برنامه‌ریزی خاکستری) را نشان می‌دهد.



شکل ۳. مقدار سود ناخالص در الگوهای مختلف کشت (منبع: یافته‌های پژوهش)

شکل (۳) نشان داد در بهترین شرایط ممکن اقتصادی و آب و هوایی در منطقه، امکان کسب ۲۱۸۱۸ میلیارد ریال سود ناخالص فقط از کشت محصولات جو، ذرت دانه‌ای و برنج وجود دارد. در این مطالعه، علاوه بر آرمان اقتصادی، آرمان محیط‌زیستی نیز به همان اندازه حائز اهمیت می‌باشد. جدول (۲) میزان صرفه‌جویی در استفاده از نهاده‌های مختل‌کننده کشاورزی پایدار و آب آبیاری را نسبت به الگوی فعلی منطقه مشخص می‌کند.

جدول ۲. میزان صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌های شیمیایی و آب در الگوهای مختلف کشت (درصد)

نام نهاده	الگوی فعلی منطقه تجن			متوسط مصرف		
	الگوی بهینه خطی	الگوی بهینه آرمانی	الگوی بهینه خاکستری	الگوی بهینه خطی	الگوی بهینه آرمانی	الگوی بهینه خاکستری
کود فسفات (کیلوگرم)	۲۵۵۴	۲۴۳۸	۲۴۳۵	۲۴۳۸	۲۴۳۵	۲۰۹۷
کود ازته (کیلوگرم)	۶۶۶۰	۵۷۹۴	۵۷۸۹	۵۷۹۴	۵۷۸۹	۵۰۰۱
کود پتاسه (کیلوگرم)	۱۸۰۵	۱۶۲۳	۱۶۱۱	۱۶۲۳	۱۶۱۱	۱۴۵۴
سم علف‌کش (هزار لیتر)	۱۰۳	۱۰۳	۱۰۲	۱۰۳	۱۰۲	۶۵
سم حشره‌کش (هزار لیتر)	۶۰۸	۶۴۱	۶۳۸	۶۴۱	۶۳۸	۲۸۵
سم قارچ‌کش (هزار لیتر)	۲۲	۲۲	۲۱	۲۲	۲۱	۱۴
آب آبیاری سالانه (میلیون مترمکعب)	۲۹/۰۱	۲۸/۴۳	۲۸/۳۸	۲۸/۴۳	۲۸/۳۸	۲۲/۲۵

همان‌طور که جدول (۲) نشان داد اعمال هر مدل بهینه (برنامه‌ریزی خطی، آرمانی و خاکستری) منجر به کاهش مصرف کودهای شیمیایی شد. این امر حاکی از آن است که اسراف و مصرف بیش از نیاز کود در منطقه تجن وجود دارد. با اجرای مدل برنامه‌ریزی خطی به‌طور متوسط در مصرف کودهای فسفات، ازته و پتاسه به ترتیب ۵، ۱۳ و ۱۰ درصد صرفه‌جویی شد. این صرفه‌جویی در صورت اجرای مدل برنامه‌ریزی آرمانی نیز ۵، ۱۳ و ۱۱ درصد بود. با این حال، به‌طور جزئی‌تر مصرف نهاده‌های شیمیایی کودهای فسفات، ازته و پتاسه در الگوی برنامه‌ریزی آرمانی نسبت به الگوی برنامه‌ریزی خطی نیز به ترتیب ۰/۱، ۰/۱ و ۰/۷۲ درصد کمتر شد. در مدل برنامه‌ریزی خاکستری میزان مصرف نهاده‌ها تحت شرایط متغیر و با توجه به سطح کشت محصولات غیرقطعی بود. با این حال، با اجرای مدل برنامه‌ریزی خاکستری متوسط کاهش مصرف کودهای فوق‌الذکر به ترتیب ۱۸، ۲۵ و ۱۹ درصد محاسبه شد. میزان مصرف سم علف‌کش و قارچ‌کش در مدل برنامه‌ریزی خطی دقیقاً معادل مدل فعلی منطقه بود. با این حال، اجرای این الگو منجر به افزایش ۵ درصدی در مصرف سم حشره‌کش شد. در مدل برنامه‌ریزی آرمانی نیز میزان استفاده از سم حشره‌کش ۵ درصد بیشتر از الگوی فعلی تجن بود. لیکن، در راستای دستیابی به آرمان محیط‌زیستی در مصرف سموم علف‌کش و قارچ‌کش به ترتیب یک و ۵ درصد صرفه‌جویی اتفاق افتاد. در مدل برنامه‌ریزی خاکستری میزان مصرف سموم غیرقطعی است. با این حال، با اجرای این مدل متوسط کاهش مصرف سموم فوق‌الذکر به ترتیب ۳۶، ۵۳ و ۳۷ درصد محاسبه شد. همان‌طور که جدول (۲) نشان داد در مصرف آب نیز در منطقه تجن افراط وجود دارد؛ به‌طوری‌که اعمال هر کدام از الگوهای بهینه

می‌توان منجر به تحقق حفظ ذخایر منابع آبی تجن گردد. مطابق با شکل (۴) میزان مصرف آب آبیاری در مدل برنامه‌ریزی خطی و مدل برنامه‌ریزی آرمانی ۲ درصد کمتر از مدل فعلی منطقه است و می‌توان با اجرای این الگوها مصرف آب را از ۲۹ میلیون مترمکعب به ۲۸ میلیون مترمکعب رساند. با این حال، در مدل برنامه‌ریزی خاکستری با توجه به عدم ثبات شرایط، مصرف آب می‌تواند تحت کشت محصولات مختلف افزایش و یا کاهش یابد. به طوری که، میزان مصرف این نهاده مهم می‌تواند تا ۵۷ درصد کاهش و یا تا ۱۰ درصد افزایش یابد؛ اما به‌طور متوسط میزان صرفه‌جویی در مصرف آب ۲۳ درصد است.



شکل ۴. میزان مصرف آب در الگوهای مختلف کشت (منبع: یافته‌های پژوهش)

بر مبنای فرضیه مطالعه مبنی بر سطح زیرکشت فعلی محصولات زراعی حوضه آبریز تجن در محدوده پیشنهادی الگوی کشت به‌دست‌آمده توسط مدل برنامه‌ریزی خاکستری قرار دارد، در مورد محصول گندم رد شده است زیرا سطح کشت فعلی این محصول ۲۲۰۰ هکتار است و سطح آن در الگوی برنامه‌ریزی خاکستری پیشنهاد شد که حذف شود. این فرضیه در مورد محصول کلزا نیز تأیید نشد. سطح کشت فعلی این محصول ۲۸۵ هکتار است اما در الگوی برنامه‌ریزی خاکستری حذف شد. به‌طور مشابه، این فرضیه در مورد ذرت دانه‌ای نیز رد شد. سطح کشت فعلی ذرت ۲۵۵۰ هکتار است و سطح آن در الگوی برنامه‌ریزی خاکستری ۶۰۷۵ هکتار توصیه شد. برنج دانه‌بلند پرمحصول نیز در الگوی بهینه از الگوی فعلی پیروی نمی‌کند. سطح کشت فعلی این محصول ۲۲۸۶۴ هکتار است و سطح آن در الگوی برنامه‌ریزی خاکستری به ۱۰۸۵۸ هکتار رسید. این فرضیه در مورد محصول جو و برنج دانه‌بلند مرغوب تأیید گردید. سطح کشت فعلی جو ۳۸۶ هکتار است و سطح آن در الگوی برنامه‌ریزی خاکستری در بازه ۸۷ تا ۲۷۶۱ هکتار قرار گرفت. همچنین، سطح کشت فعلی برنج مرغوب ۷۶۴۳ هکتار است و سطح آن در الگوی برنامه‌ریزی خاکستری صفر تا ۱۶۲۳۴ هکتار محاسبه شد.

یکی دیگر از فرضیه‌های این مطالعه مبنی بر آن می‌باشد که با اجرای الگوی کشت بهینه در منطقه مورد مطالعه، میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در بازه ۵ تا ۱۵ درصد باشد. نتایج حاکی از آن بود که میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در الگوهای برنامه‌ریزی خطی، آرمانی و خاکستری به ترتیب و به‌طور متوسط ۲، ۲ و ۲۳ درصد بود و بر این اساس فرضیه فوق رد شد؛ زیرا در دو الگوی اول کمتر از ۵ درصد و در دو الگوی برنامه‌ریزی خاکستری بیشتر از ۱۵ درصد حاصل شد.

نتایج این مطالعه نشان داد با اعمال مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی و خاکستری سطح مطلوب آرمان‌های تحقیق حاصل می‌شود و در مصرف آب آبیاری صرفه‌جویی ایجاد می‌شود که با نتایج مطالعات ذیل قابل قیاس است:

جولایی و همکاران نشان دادند که با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی در تعیین الگوی کشت بهینه شهر ساری می‌توان سود ناخالص را ۴ درصد افزایش و مصرف کودها، سموم و آب را به ترتیب ۲/۱۸، ۰/۳۸ و ۰/۹۹ درصد کاهش داد (جولایی و همکاران، ۱۳۹۵). در سال ۱۳۹۸، اسدی و نجفی علمدارلو با هدف تعیین الگوی کشت بهینه در راستای کاهش استفاده از آب‌های زیرزمینی دشت دهگلان با کاربرد روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) نشان دادند که با اعمال سناریوهای مختلف و تغییر الگوی کشت می‌توان مصرف آب را بین ۱/۲۲ الی ۵/۳۵ درصد کاهش داد. اما این امر منجر به کاهش سود ناخالص مزرعه بین ۳/۹ الی ۸/۱۴ درصد شد (اسدی و نجفی، ۱۳۹۸). همچنین، کلاهی و همکاران با استفاده از روش برنامه‌ریزی چندهدفه در بررسی الگوی کشت خراسان رضوی دریافتند که بیش از

۵۷ درصد میزان مصرف آب مجازی با ترکیب دو آرمان حداقل سازی آب مجازی و حداکثر سازی سود اقتصادی کاهش می‌یابد (کلاهی و همکاران، ۱۴۰۱). در سال ۱۴۰۱، نتایج مطالعه بالوی و همکاران در بررسی الگوی کشت شهرستان ورامین نشان از کاهش ۵/۵ درصدی ردپای آب الگوهای بهینه تحت آرمان همزمان سود و ریسک در مقایسه با الگوهای کشت فعلی منطقه داشت (بالوی و همکاران، ۱۴۰۱). در مطالعه‌ای دیگر باقری و همکاران با کاربرد مدل برنامه‌ریزی فازی خاکستری در تعیین الگوی کشت شهرستان جیرفت دریافتند تدوین الگوی کشت با این روش به‌طور میانگین می‌تواند منجر به کاهش ۱۲ درصد در میزان مصرف آب گردد (محمدی و همکاران، ۱۴۰۲).

نتیجه‌گیری

بحران آب در ایران یکی از بزرگترین چالش‌هایی است که در سال‌های اخیر تمام جوانب زندگی مردم را تحت تأثیر قرار داده است. با توجه به اینکه بخش کشاورزی بزرگترین مصرف‌کننده آب است؛ کم‌آبی و چگونگی سازگاری با آن به مهم‌ترین مسئله کشاورزی کشور تبدیل شده است. بدین منظور، در مطالعه حاضر زیربخش زراعی حوضه آبریز تجن در شرق مازندران مد نظر قرار گرفت. به‌طوری‌که هدف از این مطالعه، ارائه یک الگوی کشت بهینه جهت سازگاری بخش زراعی این منطقه با شرایط کم‌آبی است. بدین منظور در این مطالعه چند مدل برنامه‌ریزی ریاضی طراحی، تخمین و نتایج آن باهم مقایسه گردیده است. با بهره‌گیری از روش برنامه‌ریزی خطی، بهترین حالت ترکیب اقتصادی محصولات منتخب با هدف حداکثر سازی سود تعیین شد. بر مبنای این الگو مشخص شد که سود ناخالص برابر با ۲۱۴۳۷ میلیارد ریال است. مجموع مصرف کودهای شیمیایی، سموم کشاورزی و آب آبیاری نیز به ترتیب ۹۸۵۵ کیلوگرم، ۷۶۵ هزار لیتر و ۲۸ میلیون متر مکعب حاصل شد. بنابراین سود ناخالص مدل برنامه‌ریزی خطی ۱۳/۵۲ درصد بیشتر از الگوی فعلی بود؛ ضمن آنکه به لحاظ محیط زیستی نیز به ترتیب ۱۰/۶ و ۲ درصد بهینگی در مصرف کودهای شیمیایی و آب ایجاد گردید. نتایج الگوی کشت بهینه با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی بر مبنای تمامی اهداف خرد (افزایش سود کشاورزان) و کلان (حفظ محیط‌زیست و منابع آبی) نشان داد که سود ناخالص برابر با ۲۱۳۷۵ میلیارد ریال است. مجموع مصرف کودهای شیمیایی، سموم کشاورزی و آب آبیاری نیز به ترتیب ۹۸۳۵ کیلوگرم، ۷۶۲ هزار لیتر و ۲۸ میلیون متر مکعب حاصل شد. بنابراین سود ناخالص مدل برنامه‌ریزی آرمانی ۱۳/۱۹ درصد بیشتر از الگوی فعلی بود؛ ضمن آنکه به لحاظ محیط زیستی نیز به ترتیب ۱۰/۸ و ۲/۲ درصد بهینگی در مصرف کودهای شیمیایی و آب ایجاد گردید. بنابراین مدل برنامه‌ریزی آرمانی به لحاظ سودآوری از مدل برنامه‌ریزی خطی بدتر و به لحاظ محیط زیستی از این الگو بهتر بود و می‌توان نتیجه گرفت که مدل برنامه‌ریزی آرمانی میانه بین الگوی کشت فعلی و الگوی بهینه حاصل از مدل برنامه‌ریزی خطی است.

نتایج مربوط به تخمین الگوی کشت با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی خاکستری براساس داده‌های سری زمانی ۵ ساله برای ایجاد دامنه‌ای از پارامترهای غیرقطعی و خاکستری نیز نشان داد که حداکثر سود ناخالص حاصل از کشت محصولات می‌تواند برابر با ۲۱۸۱۸ میلیارد ریال باشد. مجموع مصرف کودهای شیمیایی، سموم کشاورزی و آب آبیاری نیز به طور متوسط به ترتیب ۸۵۵۲ کیلوگرم، ۳۶۵ هزار لیتر و ۲۲/۲ میلیون متر مکعب حاصل شد. بنابراین سود ناخالص مدل برنامه‌ریزی خطی-خاکستری ۱۵/۵۴ درصد بیشتر از الگوی فعلی بود؛ ضمن آنکه به لحاظ محیط زیستی نیز به‌طور متوسط و به ترتیب ۲۲، ۵۲ و ۲۳/۳ درصد بهینگی در مصرف کودهای شیمیایی، سموم کشاورزی و آب ایجاد گردید و می‌توان نتیجه گرفت که مدل برنامه‌ریزی غیرقطعی خطی-خاکستری هم به لحاظ اقتصادی و هم به لحاظ محیط زیستی از مدل‌های بهینه قطعی (خطی، آرمانی) بهتر است.

به‌طور کلی، اگر ملاک تعیین الگوی کشت بهینه، سودآوری باشد می‌توان گفت که الگوی برنامه‌ریزی خاکستری بهترین الگو جهت توصیه است. هم‌چنین، اگر ملاک انتخاب، صرفه‌جویی در مصرف آب باشد بازهم الگوی برنامه‌ریزی خاکستری با کاهش ۶/۶۷۱ میلیون مترمکعبی در استفاده از مجموع این نهاده (تنزل از ۲۹/۰۱۴ میلیون مترمکعب به ۲۲/۲۵۳ میلیون مترمکعب)، الگوی کشت مناسب‌تری جهت اجرا می‌باشد. ضمن آنکه در این الگو، کاهش ۲۲/۴ درصدی در کاربرد کودهای شیمیایی (تنزل از ۱۱۰۲۰ کیلوگرم به ۸۵۵۲ کیلوگرم) و کاهش ۵۰/۲ درصدی در مصرف مجموع سموم کشاورزی (تنزل از ۷۳۳ هزار لیتر به ۳۶۵ هزار لیتر) منجر به کاهش نفود آلاینده‌ها به داخل خاک، کاهش آلودگی زه‌آب مزارع کشاورزی، کاهش مسمومیت خاک به ترکیبات شیمیایی، کاهش خطرات ناشی از باقیمانده سموم در انسان‌ها و جانوران و همچنین کاهش مقاومت در مقابل آفات و عوامل بیماری‌زای گیاهی و به‌طور کلی پایداری منابع آبی و خاکی می‌شود.

برای بررسی اعتبار نتایج و اندازه‌گیری درجه خاکستری، حد بالا، حد پایین و در نتیجه حد متوسط سود ناخالص در الگوی کشت حاصل از روش برنامه‌ریزی ریاضی خاکستری به‌ترتیب برابر ۲۱۸۱۸، ۳۳۸۲ و ۱۲۶۰۰ میلیارد ریال استخراج شد. درجه خاکستری برابر با

۱۴۶/۳ محاسبه شد که در مقایسه با مطالعات (صبحی و خسروی، ۱۳۸۸)، (خدمتگذار و همکاران، ۱۳۹۴) و محسنی و شهرکی، (۱۳۹۴) کمتر است. با توجه به مطالعه (Huang, 1996) که بیان می‌دارد هرچه درجه خاکستری بودن بیشتر، اعتبار پاسخ‌ها کمتر است، نتایج درجه خاکستری نشان دهنده اعتبار نتایج و الگوی کشت بهینه حاصله می‌باشد. براساس نتایج مطالعه، پیشنهادهای زیر ارائه گردید:

با توجه به قابلیت روش برنامه‌ریزی ریاضی خاکستری در به‌کارگیری و بهترین بهره‌برداری از داده‌ها و اطلاعاتی که معمولاً ناقص و یا با ایراد همراه هستند (که از این جهت نسبت به الگوهای قطعی دارای برتری می‌باشند) و همچنین ارائه نتایج در قالب بازه‌ای که در این شرایط زارعین قدرت تصمیم‌گیری بهتری در انتخاب ترکیبات کشت خواهند داشت، لذا نسبت به کاربرد مدل برنامه‌ریزی خاکستری در تعیین الگوی بهینه کشت توصیه می‌شود.

اجرای الگوی کشت از سوی زارعین نیازمند ایجاد اطمینان خاطر در آنان جهت دریافت سود بیشتر است؛ پیشنهاد می‌شود مروجان بخش کشاورزی منافع حاصل از اجرای الگوهای کشت بهینه را برای زارعین تشریح نمایند.

نتایج الگوها حاکی از امکان کشت محصولات با کاربرد کمتر کودهای شیمیایی دارد. لذا توصیه می‌شود سیاست‌گذاری‌ها به سمت کاهش دسترسی به این نهاده در راستای کاهش زیان‌های وارده به محیط زیست و شیوع بیماری‌ها باشد.

آنچه عیان است، آن است که مدل‌های بهینه برنامه‌ریزی ریاضی خطی و آرمانی بر اساس شرایط فعلی منطقه تهیه شده‌اند، لیکن نمی‌تواند برنامه مناسبی در شرایط ترسالی یا خشکسالی یا در شرایط رونق و رکود اقتصادی یا مازاد و کمبود نهاده‌های تولیدی به کشاورزان ارائه نماید؛ بنابراین بهتر است هنگام پیشنهاد الگوی کشت به کشاورزان متغیر بودن شرایط اقلیمی و اقتصادی (الگوی خاکستری) مد نظر قرار گیرد.

در اقتصاد دوره‌های زمانی به سه دوره کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت تقسیم می‌شود. الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی خطی و آرمانی کوتاه‌مدت می‌باشند و از داده‌های یک‌ساله برای طراحی آن‌ها استفاده شده است. الگوی خاکستری بر اساس داده‌های سری زمانی پنج‌ساله تدوین شده است. توصیه می‌شود الگوی بلندمدت ده‌ساله نیز جهت مقایسه با الگوی فعلی تهیه شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- آماده، حمید؛ دانشور کاخکی، محمود و کوپاهی، مجید (۱۳۸۰). بررسی آثار تغییرات قیمت بر الگوی کشت محصولات مهم زراعی استان خراسان. *مجله علوم کشاورزی ایران*، ۳۲(۱)، ۱۵۶-۱۴۷.
- اسعدی، محمد علی و نجفی علمدارلو، حامد (۱۳۹۸). ارزیابی اقتصادی الگوی بهینه کشت در راستای کاهش استفاده از منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان. *مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران (علوم کشاورزی ایران)*، ۵۰(۱)، ۲۹-۴۳.
- اسفندیاری، وحید؛ ظریفیان، شاپور؛ عیسی‌نژاد، امیر؛ و راحلی، حسین (۱۴۰۳). تأثیر بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی بر مدیریت مصرف آب با رویکرد آب مجازی و ردپای آب. *مجله محیط زیست و مهندسی آب*، ۱۰(۲)، ۲۴۳-۲۶۱.
- بالوی، فرشته؛ لیاقت، عبدالمجید؛ و ابراهیمیان، حامد (۱۴۰۱). برآورد ردپای آب در الگوهای فعلی کشت و ظرفیت کاهش آن در الگوهای بهینه تحت شرایط آرمان‌های چندگانه (مطالعه موردی؛ منطقه ورامین). *مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران (مجله علوم کشاورزی ایران)*، ۵۳(۴)، ۹۸۷-۹۹۹.
- ثانی، فاطمه؛ و دشتی، قادر (۱۴۰۰). تعیین الگوی کشت بهینه سازگار با کم‌آبی تحت شرایط عدم قطعیت با رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی استوار. *تشریح دانش آب و خاک*، ۳۱(۱)، ۱۵-۳۰.
- جولایی، رامتین؛ میرکریمی، شهرزاد؛ حسونند، مریم؛ و شیرانی بیدآبادی، فرهاد (۱۳۹۵). مدیریت الگوی بهینه کشت محصولات زراعی استان مازندران با بهره‌گیری از الگوی آرمانی. *مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ۳۴(۹۴)، ۹۴-۷۱.
- خدادادی، علی (۱۳۹۸). *بررسی اثرات تغییر اقلیم بر الگوی کشت در شرایط عدم حتمیت در استان خوزستان (مطالعه موردی: دشت آزادگان)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. رشته اقتصاد کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد. ایران.
- خدمتگذار، فرامرز؛ امیری‌نژاد، صدیقه و زارع مهرجردی، محمدرضا (۱۳۹۴). فروردین). تعیین الگوی بهینه کشت با استفاده از برنامه‌ریزی خاکستری در شهرستان جیرفت. کنفرانس ملی کشاورزی پایدار، محیط‌زیست و توسعه روستایی، کوهدشت - لرستان.
- دادخواه ثمرین، سحر (۱۴۰۱). *تعیین الگوی کشت محصولات زراعی استان تهران در شرایط عدم حتمیت*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مدیریت کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان.



راسخ، ضیاء الدین (۱۴۰۱). تعیین الگوی بهینه کشت پایدار با استفاده برنامه‌ریزی آرمانی فازی (مطالعه موردی استان ننگرهار افغانستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مدیریت کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان.

رستگاری‌پور، فاطمه و صبوچی صابونی، محمود (۱۳۸۸). تعیین الگوی کشت با استفاده از برنامه‌ریزی فازی خاکستری در شهرستان قوچان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳ (۴۸)، ۴۰۵-۴۱۳.

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (۱۴۰۱). برنامه الگوی کشت محصولات کشاورزی. جلد اول: گزارش الگوی کشت محصولات زراعی سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱. ۳۲ استان کشور. تهران. (www.areeo.ac.ir).

ستوده، آذین (۱۳۹۳). کاربرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی در مدیریت الگوی کشت محصولات زراعی منتخب استان گلستان (مطالعه موردی: شهرستان گرگان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه پیام نور استان البرز. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران (۱۴۰۱). گزارش ارزیابی منابع آب. گزارش بیلان منابع آب محدوده مطالعاتی ساری-نکا. (<https://www.mzrw.ir>)

شریفی‌نیا، مسلم؛ ایمان‌پورنمین، جاوید؛ بزرگی‌ماکرانی، امین (۱۳۹۱). ارزیابی بوم شناختی رودخانه تجن با استفاده از گروه‌های تغذیه ای بزرگ بی مهرگان کفزی و شاخص‌های زیستی. بوم‌شناسی کاربردی، ۱ (۱)، ۸۰-۹۵.

صبوچی، محمود. و خسروی، مهدی (۱۳۸۸). مقایسه الگوی بهینه‌ی کشت اقتصادی و زیست محیطی در دشت زرقان فارس. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، ۳ (۱۱)، ۷۰-۶۱.

عبادی، فرزانه (۱۴۰۲). امنیت غذایی و سواد تغذیه‌ای. چاپ اول. انتشارات مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی. (<https://agri.peri.ac.ir/>)

کلاهی، مهدی؛ حسین‌علی، فرهاد؛ و کریمائی طبرستانی، مجتبی (۱۴۰۱). تعیین الگوی بهینه کشت با هدف حداقل سازی آب مجازی و حداکثر سازی سود اقتصادی محصولات (مطالعه موردی: دشت عمرانی در خراسان رضوی). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۶ (۶)، ۱۲۳۲-۱۲۳۱.

محسنی، سیمین. و شهرکی، جواد (۱۳۹۴). کاربرد برنامه‌ریزی فازی خاکستری در تخصیص منابع آب شهرستان یزد. تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۷ (۳)، ۷۳-۹۰.

محمدی، حمید؛ مهدی‌زاده‌راینی، محمدجواد؛ دهباشی، وحید و باقری، ابوالقاسم (۱۴۰۲). تعیین الگوی بهینه کشت محصولات کشاورزی شهرستان جیرفت با رویکرد کاهش آلودگی و میزان مصرف آب. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۵ (۱)، ۲۱-۱.

مردانی نجف‌آبادی، مصطفی؛ عبدشاهی، عباس و شیرزادی لسکو کلاهی، سمیه (۱۳۹۹). تعیین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی با تأکید بر استفاده مناسب از نهاده‌های مختل‌کننده‌ی کشاورزی پایدار: کاربرد روش برنامه‌ریزی خطی کسری چندهدفه استوار. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۰ (۱)، ۲۴۱-۲۵۶.

مرکز آمار ایران (۱۳۹۹). سالنامه آماری استان مازندران. فصل اول: سرزمین و آب و هوا و فصل چهارم: کشاورزی (www.amar.org.ir).

میرکریمی، شهرزاد (۱۳۹۸). تخصیص و توزیع بهینه منابع آب حوضه آبریز گرگانرود-قره‌سو و بررسی اثرات جانبی آب: رویکرد ورشکستگی تصادفی. رساله دکتری. رشته اقتصاد کشاورزی. گرایش منابع طبیعی و محیط زیست. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. استان مازندران.

وزارت جهاد کشاورزی (۱۴۰۱). معاونت آمار مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. آمارنامه کشاورزی جلد اول محصولات زراعی و جلد سوم محصولات باغبانی (۱۳۹۹-۱۴۰۰). (www.maj.ir).

REFERENCES

- Agricultural Research, Education and Extension Organization. (2022). Agricultural Crop Cultivation Pattern Program. Volume 1: Report on Crop Cultivation Pattern for the Year 2022-2023. 32 Provinces of the Country. Tehran. (In Persian)
- Ahmed Musa, A. (2020). Goal programming model for optimal water allocation of limited resources under increasing demands. *Environment Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00856-1>.
- Amadeh, H., Daneshvar Kakhki, M., & Kopahi, M. (2001). Investigating the effects of price changes on the cultivation pattern of important crops in Khorasan province. *Agricultural Sciences of Iran*, 32(1), 147-156. (In Persian)
- Asadi, M. A., & Najafi Alamdarlo, H. (2019). Economic evaluation of optimum cultivating pattern for reducing the use of groundwater in Dehgholan plain. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 50(1), 29-43. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2018.249900.668543>. (In Persian)
- Balovi, F., Liaghat, A., & Ebrahimian, H. (2022). Estimation of Water Footprint in Current Cropping Patterns

- and its Reduction Capacity in Optimal Patterns under Multiple Goals Conditions (Case Study; Varamin Region). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 53(4), 987-999. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2022.338478.669130>. (In Persian)
- Biswas, A. & Baran, P. B. (2004). Application of fuzzy goal programing technique to land use planning in agricultural system. *Omega*, 33(5), 391-398. doi:10.1016/j.omega.2004.07.003.
- Dadkhah Samreen, S. (2022). *Determining the cultivation pattern of crops in Tehran province under conditions of uncertainty*. Master's thesis. Faculty of Agricultural Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan. (In Persian)
- Darvishi, D. (2018). A new Approach for Solving Linear Programming with Grey Variables Problem. *Iranian Journal of Operations Research*. 9(1), 85-96. 10.29252/iors.9.1.85.
- Ebadi, F. (2023). *Food security and nutritional literacy*. First edition. Institute of Planning Research, Agricultural Economics and Rural Development. <https://doi.org/Available at: https://agri-peri.ac.ir>. (In Persian)
- Esfandiari, V., Zarifian, Sh., Isanajad, A. & Rahli, H. (2024). The effect of optimizing the cultivation pattern of agricultural products on water consumption management with virtual water and water footprint approach. *Environment and water engineering district*, 10(2), 243-261. doi.org/10.22034/ewe.2023.385968.1848. (In Persian)
- Ganesan, K. (2007). On some properties of interval Matrices. *International Journal of Mathematical and Computational Sciences*. 1(1):92-99. publications.waset.org/8101.
- Gao, J., Xu, X., Cao, G., Ermoliev, Y., Ermolieva, T. & Rovenskaya, E. (2021). Strategic decision-support modeling for robust management of the food–energy–water nexus under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*. Volume 292. doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125995.
- Hacısuleyman, V. & Ozger, M. (2024). Optimal cropping patterns using linear programming and evaluation based on food-energy-water nexus. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 10(51), 1-18. Doi: 10.22034/gjesm.2024.10.SI.01.
- Hazell, P., & Norton, R. (1987). Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture. *Biometrics*, 43(4), 1032.
- Huang, G. H. (1996). IPWM: an interval parameter water quality management model. *Engineering Optimization+ A35*, 26(2), 79-103. <https://doi.org/10.1080/03052159608941111>.
- Huang, GH. and Moor, R.D. (1993). Grey linear programing, its solving approach, and its application. *International Journal of System Science*, 24, 172-159. <https://doi.org/10.1080/00207729308949477>.
- Ignizio, J. P. (1976). *Goal programming and extensions*. Lexington Books Publisher. University of Michigan.
- Javanmardi, E., & Liu, S. (2019). Exploring grey systems theory-based methods and applications in analyzing socio-economic systems. *Sustainability*, 11(15), 4192. <https://doi.org/10.3390/su11154192>.
- Jones, D., & Tamiz, M. (2010). *Practical goal programming*. (Vol. 141). Springer.
- Joolaie, R., Mirkarimi, S., Hasanyand, M., & Shirani Bidabadi, F. (2016). Management of Optimum Cropping Pattern of Crops in Mazandaran Province Using Goal Programming. *Agricultural Economics and Development*, 24(2), 71-94. <https://doi.org/10.30490/aead.2016.59033>. (In Persian)
- Kayacan, E., Ulutas, B., & Kaynak, O. (2010). Grey system theory-based models in time series prediction. *Expert systems with applications*, 37(2), 1784-1789. doi.org/10.1016/j.eswa.2009.07.064.
- Khedmatgozar, F., Amirinejad, S., & Zare Mehrjardi, M. (2014, April). *Determining the optimal cropping pattern using gray planning in Jiroft city*. National Conference on Sustainable Agriculture, Environment and Rural Development, Kuhdasht - Lorestan. (In Persian)
- Khodadadi, A. (2018). Investigating the effects of climate change on cropping patterns in conditions of uncertainty in Khuzestan province (Case study: Dasht-Azadegan). Master's thesis. Department of Agricultural Economics. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian)
- Kolahi, M., Hosseinali, F., & Karimaei Tabarestani, M. (2023). Determining the optimal cultivation pattern by considering the concept of virtual water and economic benefits (Case Study: Omrani Plain in Khorasan Razavi). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 16(6), 1221-1232. https://idj.iaid.ir/article_163507_8ea33ba349259d99f8ac0493901cf1ce.pdf. (In Persian)
- Kumari, M., Singh, O., & Meena, D. C. (2017). Optimising Cropping Pattern in Eastern Uttar Pradesh Using Sen's Multi Objective Programming Approach. *Agricultural Economics Research Review*, 30(2), 285-291. DOI: 10.22004/ag.econ.273047.
- Leeuwis, C., Leeuwis, C., & Ban, A. (2004). *Communication for rural innovation*, Vol. 231, Wiley Online



Library.

- Li, M. & Guo, P. (2014). A multi- objective optimal allocation model for irrigation water resources under multiple uncertainties. *Applied Mathematical Modelling*, 19: 4897-4911. doi.org/10.1016/j.apm.2014.03.043.
- Li, Y., Yin, Y., & Zhang, W. (2023). Water Footprint Assessment of Major Crops in Henan Province and Reduction Suggestions. *Water*, 15(6), 1135. doi.org/10.3390/w15061135.
- Li, Y.P., Huang, G.H. & Nie, S.L. (2006). An interval-parameter multistage stochastic programming model for water resource management under uncertainty. *Advance Water Resource*, 29, 776-789. doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.07.008.
- Liu, S., & Lin, Y. (2006). *Grey Information: Theory and Practical Applications*. Springer-Verlag, London Ltd, 191-243. DOI:10.1007/1-84628-342-6
- Maqsood, I., uang, G.H. & Yeomans, J.S. (2005). An interval-parameter fuzzy two-stage stochastic programming for water resources management under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 167, 208–225. DOI:10.1016/j.ejor.2003.08.068.
- Mardani Najafabadi, M., Abdshahi, A., & Shirzadi Leskokalaye, S. (2020). Determining the optimal pattern of crop cultivation with emphasis on the proper use of inputs that disturb sustainable agriculture: application of stable multi-objective deficit linear programming method. *Journal of agricultural knowledge and sustainable production*, 30(1), 241-256.(In Persian)
- Ministry of Agricultural Jihad (2022). Deputy of Statistics, Information and Communication Technology Center. *Agricultural Statistics*, Crops Volume 1 and Horticultural Products Volume 3, (2020-2021). www.maj.ir. (In Persian)
- Mirkarimi, S. (2019). Optimal allocation and distribution of water resources in the Gorganrud-Qarasu Basin and investigating the externality effects of water: a stochastic bankruptcy approach. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Sari, Mazandaran Province. (In Persian)
- Mohammadi, H., Dehbashi, V., & Mehdizadeh Rayeni, M. J, Bagheri, A.,. (2023). Determining the optimal cultivation pattern of agricultural products in Jiroft city with the approach of reducing pollution and water consumption. *Journal of Environmental Science and Technology*, 25(1), 1-21. https://sanad.iau.ir/fa/Journal/jest/Article/838664. (In Persian)
- Mohseni, S., & Shahraki, J. (2015). The application of gray fuzzy planning in the allocation of water resources in Yazd city. *Agricultural Economics Research*, 7(27), 73-90. https://jae.marvdasht.iau.ir/article_989_b52b098e5fff28a6d1e73325ddbabb4.pdf. (In Persian)
- Musa, A. A. (2021). Goal programming model for optimal water allocation of limited resources under increasing demands. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 5956-5984. DOI: 10.1007/s10668-020-00856-1.
- Niu, G., Li, Y., Huang, G., Liu, J., & Chen, M. (2016). Interactive fuzzy-boundary interval programming for water resources management of the Hetao Basin, China. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(12), 04016056. doi.org/10.1061/(asce)jir.1943-4774.0001088
- Papageorgiou, E. I., & Salmeron, J. L. (2012). Learning fuzzy grey cognitive maps using nonlinear Hebbian-based approach. *International Journal of Approximate Reasoning*, 53(1), 54-65. doi.org/10.1016/j.ijar.2011.09.006
- Rasekh, Z. (2022). Determining the optimal pattern of sustainable cultivation using fuzzy goal programming, a case study of Nangarhar Province, Afghanistan. Master's thesis. Faculty of Agricultural Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan. (In Persian)
- Rastegaripour, F. & Sabohi Saboni, M. (2008). Determining the cultivation pattern using gray fuzzy programming in Qochan city. *Agricultural sciences and techniques and natural resources*. 13 (48), 405-413. (In Persian)
- Regional Water Company of Mazandaran. (2022). Water Resources Assessment Report. Water Resources Balance Report for the Sari-Naka Study Area. (https://www.mzrw.ir).
- Ren, CH., Guo, P., Tan, Q. & Zhang, L. (2019). A multi-objective fuzzy programming model for optimal use of irrigation water and land resources under uncertainty in Gansu Province, China. *Journal of Cleaner Productio*, 164: 85-94. doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.185
- Sabuhi, M., & khosravi, M. (2009). Determination of Cropping Pattern by Grey Fuzzy Programming Approach: A Case Study of Quchan City [Research]. *Journal of Crop Production and Processing*, 13(48), 405-413. http://jcpp.iut.ac.ir/article-1-1015-fa.html. (In Persian)

- Sani, F. & Dashti, Q. (2021). Determining the optimal cultivation pattern compatible with water scarcity under conditions of uncertainty with a stable goal programming approach. *Water and Soil Science Journal*, 31(1), 15-30. 10.22034/ws.2021.11626. (In Persian)
- Sharifinia, M., Imanpour, J., & Bozorgi, A. (2012). Ecological assessment of the Tajan River using feeding groups of benthic macroinvertebrates and biotic indices [Research]. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 1(1), 80-95. <http://ijae.iut.ac.ir/article-1-32-fa.html>. (In Persian)
- Soltani, H. A., & Khajepour, E. (2020). Optimal cropping pattern in Afghanistan considering environmental sustainability. *International Journal of Agricultural Management and Development (IJAMAD)*, 10(4), 333-346. 20.1001.1.21595852.2020.10.4.2.3.
- Sotoudeh, A. (2014). The application of fuzzy goal programming in the management of selected crop cultivation patterns in Golestan province (case study: Gorgan city). Master's thesis. PayamNoor University of Alborz Province. Faculty of Agriculture and Natural Resources. (In Persian)
- Statistical Center of Iran. (2020). Mazandaran Province Statistical Yearbook. Chapter One: Land and Climate and Chapter Four: Agriculture. (www.amar.org.ir). (In Persian)
- Wheeler, B., & Russell, J. (1977). Goal programming and agricultural planning. *Journal of the Operational Research Society*, 28(1), 21-32.