Journal of Agricultural Economics & Development

Homepage: https://jead.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 1, Spring 2026, p. 45-65

Optimization of Cropping Pattern and Its Effect on Water and Energy Productivity (Case Study: Farm Lands of Dehloran County, Ilam Province)

P. Ghaderinejad[1], S. Shirzadi Laskookalayeh[1*], M. Mardani Najafabadi[2], F. Kashiri Kolaei[1]
1- Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
(*- Corresponding Author Email: s.shirzadi@sanru.ac.ir)
2- Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Molassani, Iran

Received: 21 May 2025
Revised: 26 October 2025
Accepted: 01 November 2025
Available Online: 01 November 2025

How to cite this article:
Ghaderinejad, P., Shirzadi Laskookalayeh, S., Mardani Najaf Abadi, M., & Kashiri Kolaei, F. (2026). Optimization of cropping pattern and its effect on water and energy productivity (Case study: Farm lands of Dehloran County, Ilam Province). *Journal of Agricultural Economics & Development, 40*(1), 45-65. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jead.2025.93513.1354

Introduction

Constraints such as the limited availability of key resources particularly water and energy, have driven the adoption of approaches aimed at improving the productivity of these inputs. Because agricultural inputs are inherently finite, farmers and planners in the agricultural sector have long sought ways to increase production while using fewer resources, especially those that are scarce. As a result, achieving efficient and sustainable management of water and energy has emerged as a major global challenge in recent decades. Dehloran region, as an agricultural hub and the largest agricultural sector of Ilam province, is located in the south of this province. The decrease in rainfall in recent years and climate change have also affected the agricultural sector of the Dehloran region. Given that the Dehloran region is located in the path of permanent and seasonal rivers, and also due to its proximity to Khuzestan Province and the benefit of water from the Karkheh Dam, unfortunately, due to the lack of sufficient infrastructure, irrigation channels, and sufficient dams, these water resources are not used optimally. Therefore, it seems necessary to pay attention to the sustainability of agriculture in this region through the improvement and proper management of water and energy resources and the promotion of their productivity. Therefore, in the present study, an attempt was made to consider economic and environmental goals in the form of a multi-objective planning model with an emphasis on the management of water and energy resource consumption. Therefore, considering the necessity of the subject, the effect of determining the optimal cultivation pattern on water and energy productivity in the production of crops was investigated.

Materials and Methods

In the present study, a multi-objective nonlinear mathematical programming model has been used to simultaneously achieve multiple goals that are subject to a certain set of constraints. In the present study, considering the regional conditions and the importance of the issue, four goals were used, including maximizing gross profit, maximizing production, minimizing energy consumption, and minimizing water consumption. Considering the aforementioned goals, considering several different goals leads to a model in the form of a multi-objective programming. Considering the objective functions and regional conditions, constraints were defined, including water, labor, poison, fertilizer, machinery, land, and maximum and minimum production of agricultural products. Physical and economic productivity indices of water and energy were also used to calculate productivity. GAMS software was also used to run the model.

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://doi.org/10.22067/jead.2025.93513.1354

Results and Discussion

In Dehloran region, there are five important agricultural sectors including Anaran, Dasht-e Abbas, Musian, Zarinabad and Meimeh. If the multi-objective optimal model is implemented in the aforementioned sectors, an increase of 7.31, 0.74, 2.57, 6.62 and 29.78% of the cultivated area is observed, respectively. In the autumn group of crops, this increase is for irrigated wheat, rainfed and grain corn, and in summer crops, it includes profitable crops such as watermelon, melon, onion, potato, cucumber and cotton. The results of the research also showed that by considering the multi-objective optimal model, important variables such as total cultivated area, total production and gross profit show an increase of 3.85, 8.48 and 4.70 respectively. Also, the implementation of the optimal cultivation pattern improved the physical and economic productivity of water and energy by 22.09, 17.84, 10.16 and 6.33. This improvement was able to save 11.14 and 1.52 percent in water and energy consumption. In terms of energy consumption, chemical fertilizer input accounted for the highest share of total energy resources with a share of about 0.44 percent. Fuel and electricity input energy is in second priority with a share of about 0.33 percent. This is while the use of fuel and electricity input in the optimal model is about 88.5 percent less than the current one. Also, the lowest share of total energy consumption is related to the energy source of animal manure and labor. Implementing an optimal cultivation pattern based on multi-objective planning models in the Dehloran region by reducing water and energy consumption and increasing the productivity of these inputs while increasing total production and gross profit in the region can be an important step in advancing the goals of the region. Also, the results of implementing water inventory reduction scenarios also indicate that a 30% reduction in water inventory reduces total production, total gross profit, and energy and water consumption by about 0.6, 1.5, 2 and 21%, respectively. However, water and energy productivity increases in the scenarios under study. Therefore, it can be said that by implementing the optimal cultivation pattern in the Dehloran region, while reducing water and energy consumption, it has also achieved an increase in productivity. Which can be an important step in advancing the goals of the region.

Conclusion

Given the primary objective of the study—to examine the impact of determining an optimal cultivation pattern on water and energy productivity in crop production—the results are noteworthy. The application of a multi-objective mathematical programming model led to improvements in both physical and economic productivity of water and energy, while simultaneously reducing their overall consumption. These findings suggest that, with proper implementation and management, the model can deliver meaningful savings in water use and enhance resource efficiency in agricultural systems. Using multi-objective optimal models in the region can, in addition to increasing gross profit in the region, reduce water and energy consumption and increase physical and economic productivity in the region. Accordingly, it is suggested that the optimal cultivation pattern obtained in the region be used to increase farmer's profit, reduce water and energy consumption, and increase regional productivity. Similarly, holding extension classes to raise awareness in determining the optimal consumption of inputs and changing the cultivation pattern under the supervision of agricultural Jihad experts can be an effective step in advancing the appropriate goal of implementing an optimal cultivation pattern that matches the conditions of the desired region.

Keywords: Dehloran, Energy efficiency, Multi-objective programming model, Water efficiency

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
https://jead.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۴۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص. ۶۵-۴۵

بهینه‌سازی الگوی کشت و اثر آن بر بهره‌وری آب و انرژی (مطالعه موردی: اراضی زراعی شهرستان دهلران، استان ایلام)

پروین قادری نژاد[۱]- سمیه شیرزادی لسکوکلایه[۱*]- مصطفی مردانی نجف آبادی[۲]- فاطمه کشیری کلایی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۰

چکیده

با توجه به محدود بودن منابع آب و انرژی در کشاورزی، در مطالعه حاضر با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه، اثر تعیین الگوی کشت بهینه بر بهره‌وری آب و انرژی در شهرستان دهلران مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا اهداف حداکثرسازی سود و تولید و حداقل‌سازی مصرف آب و انرژی به‌صورت چند هدفه مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز از سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای استان ایلام مربوط به سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ جمع‌آوری شد. نتایج الگوی پیشنهادی افزایش متغیرهایی مانند سطح زیرکشت کل، تولید کل و سود ناخالص، به‌ترتیب به میزان ۳/۸۵، ۸/۴۸ و ۴/۷۰ را نسبت به حالت الگوی پایه نشان می‌دهند. اجرای الگوی کشت بهینه سبب بهبود بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و انرژی به میزان ۲۲/۰۹، ۱۷/۸۴، ۱۰/۱۶ و ۶/۳۳ و صرفه‌جویی ۱۱/۱۴ و ۱/۵۲ درصد در مصرف آب و انرژی شد. از نظر مصرف انرژی، نهاده کود شیمیایی با سهمی حدود ۰/۴۴ درصد بالاترین سهم از کل منابع انرژی به خود اختصاص داد. نتایج حاصل از اجرای سناریوهای کاهش موجودی آب نیز حاکی از آن است که کاهش ۳۰ درصدی موجودی آب، تولید کل، سودناخالص کل، مصرف انرژی و آب را به‌ترتیب حدود ۰/۶، ۱/۵، ۲ و ۲۱ درصد کاهش می‌یابد. اما در مقابل بهره‌وری‌های آب و انرژی در سناریوهای مورد بررسی افزایش می‌یابد. لذا می‌توان گفت با اجرای الگوی کشت بهینه در منطقه دهلران ضمن کاهش مصرف آب و انرژی، به افزایش بهره‌وری نیز دست یافت.که، می‌تواند گام مهمی در زمینه پیشبرد اهداف منطقه باشد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، بهره‌وری انرژی، دهلران، مدل برنامه‌ریزی چند هدفه

مقدمه

تأمین امنیت غذایی برای جمعیت رو به رشد جهان تحت شرایط بحران کم‌آبی و محدودیت منابع انرژی، یکی از بزرگترین چالش‌های قرن حاضر به شمار می‌رود (Ajay Singh, 2022). بخش کشاورزی، به‌عنوان مصرف‌کننده اصلی این دو نهاده حیاتی، نقش محوری در مدیریت پایدار آن‌ها ایفا می‌کند. در ایران، این چالش به‌دلیل قرارگیری در کمربند خشک جهان، پراکنش نامناسب بارش‌ها، وابستگی به منابع انرژی فسیلی و پایین بودن بهره‌وری عوامل تولید، به مراتب حادتر است (Ministry of Agricultural Jihad, 2022; Kiani *et al.*, 2015).

بحران کم‌آبی و چالش‌های انرژی در بخش کشاورزی در سال‌های اخیر با تغییرات اقلیمی و افزایش جمعیت تشدید شده است. به گونه‌ای که مطالعات اخیر نشان می‌دهد تأمین امنیت غذایی پایدار بدون در نظرگیری همزمان بهره‌وری آب و انرژی امکان‌پذیر نیست (Ye *et al.*, 2023). این چالش در مناطق نیمه‌خشک جهان که با پراکنش نامناسب بارش و محدودیت دسترسی به منابع انرژی روبرو هستند، به مراتب حادتر است. در چنین شرایطی، بهینه‌سازی الگوی کشت به‌عنوان یک راهبرد کلیدی برای مدیریت توأمان این منابع حیاتی در دستور کار

۱- گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری، ساری، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: s.shirzadi@sanru.ac.ir)
۲- گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
https://doi.org/10.22067/jead.2025.93513.1354

پژوهش‌های متعددی قرار گرفته است (Hacısuleyman & Ozger, 2024). در ایران، به‌ویژه در استان‌های غربی مانند ایلام، این مسئله از ابعاد پیچیده‌تری برخوردار است. منطقه دهلران به‌عنوان قطب کشاورزی و وسیع‌ترین بخش کشاورزی استان ایلام در جنوب این استان واقع شده است. که از جنوب به کشور عراق و از شرق به استان خوزستان محدود می‌شود. این منطقه در اقلیم گرم و خشک و با متوسط بارندگی ۲۷۹/۹ میلی‌متر قرار دارد. که دارای ۵ بخش مهم شامل: اناران، دشت عباس، زرین آباد، موسیان و میمه می‌باشد. منبع اصلی تأمین آب این بخش‌ها را آب‌های سطحی شامل رودخانه‌های کنجانچم و رودخانه دویرج و انشعابات از سد کرخه و در درجه دوم چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق تشکیل می‌دهند. از ۱۲۰ هزار هکتار اراضی آبی در استان ایلام حدود ۶۰ هزار هکتار آن در منطقه دهلران واقع شده است. این منطقه به‌عنوان قطب کشاورزی استان ایلام سالانه ۴۰۰ هزار تن انواع محصول به ارزش بیش از ۸۰۰۰ میلیارد ریال را تولید و روانه بازار می‌کند. گندم، جو، کلزا، ذرت، برنج، سبزی و صیفی از عمده محصولات کشاورزی تولیدی در این منطقه می‌باشند (Ilam Province Agricultural Jihad Organization, 2022). استان ایلام و به‌ویژه شهرستان دهلران به‌عنوان قطب کشاورزی استان، از یک سو به‌دلیل برخورداری از پتانسیل‌های آبی نسبی (همجواری با رودخانه‌ها و سد کرخه) و از سوی دیگر به‌دلیل مواجهه با تهدیدهای جدی مانند کاهش بارندگی‌ها، عدم وجود زیرساخت‌های مناسب آبیاری و مصرف بی‌رویه نهاده‌های انرژی‌بر (مانند کود و سم)، در موقعیت حساس و پارادوکس‌گونه‌ای قرار دارد (Ilam Province Agricultural Jihad Organization, 2022). آمارها حاکی از آن است که با وجود توزیع بیش از ۵۰ درصد کود استان در این منطقه، عملکرد محصولات کشاورزی آن به‌طور قابل توجهی پایین است که این امر پایداری نظام کشاورزی را با مخاطره مواجه ساخته است. بر اساس مطالعه‌ای در استان ایلام، الگوی کشت کنونی نه تنها از نظر مصرف آب ناکارآمد است؛ بلکه باعث اتلاف گسترده انرژی در قالب نهاده‌های شیمیایی و سوخت نیز می‌شود (Karimi *et al.*, 2024). این ناکارآمدی دوگانه، پایداری بلندمدت نظام‌های تولید کشاورزی را با تهدید مواجه ساخته و ضرورت بازنگری اساسی در الگوی کشت رایج با استفاده از ابزارهای علمی را آشکار می‌سازد. مطالعاتی که به‌صورت چندهدفه به این مسئله پرداخته‌اند، نشان داده‌اند که می‌توان با تغییر در ترکیب محصولات، هم مصرف منابع را کاهش داد و هم اهداف اقتصادی و اجتماعی را محقق ساخت (Darzi-Naftchali *et al.*, 2024). شهرستان دهلران به‌عنوان قطب کشاورزی استان ایلام، نمونه عینی این چالش است. اگرچه این منطقه از پتانسیل نسبی آبی برخوردار است، اما فقدان یک الگوی کشت بهینه منجر به مصرف بی‌رویه آب و نهاده‌های انرژی‌بر شده است. همان‌طور که در مطالعه‌ای مشابه در استان لرستان نشان داده شد، کاربست مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه می‌تواند به الگویی منجر شود که در مقایسه با الگوی رایج، کارایی مصرف آب و انرژی را به‌طور همزمان و قابل توجهی افزایش دهد (Marzban *et al.*, 2022). بنابراین، سؤال اصلی پژوهش این است: کاربست چه الگوی کشتی می‌تواند به‌صورت همزمان اهداف اقتصادی (حداکثرسازی سود و تولید) و اهداف محیط زیستی (حداقل‌سازی مصرف آب و انرژی) را تأمین و بر اساس آن، بهره‌وری آب و انرژی را در نظام زراعی شهرستان دهلران به حداکثر برساند؟

در زمینه مدل‌های برنامه‌ریزی چند هدفه و مدیریت مصرف آب و انرژی در بخش کشاورزی مطالعات زیادی انجام گرفته است.

پیشینه پژوهش در حوزه بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه، عمدتاً بر افزایش سود اقتصادی، بهره‌وری آب یا کارایی انرژی به‌صورت مجزا یا دوگانه متمرکز بوده است (Kazemi *et al.*, 2011; Teymuri-Rad *et al.*, 2014; Karimzadeh *et al.*, 2016). اگرچه این مطالعات راهکارهای ارزشمندی در زمینه تخصیص بهینه منابع ارائه داده‌اند، اما دارای محدودیت‌های قابل توجهی هستند. عمده این تحقیقات به بررسی همزمان و یکپارچه سه رکن اصلی پایداری یعنی اقتصاد، آب و انرژی نپرداخته‌اند. مرور ادبیات موضوع نشان می‌دهد که اگرچه مطالعات ارزشمندی در حوزه بهینه‌سازی الگوی کشت انجام شده، اما دو محدودیت اصلی وجود دارد: نخست آن که بسیاری از این پژوهش‌ها مانند (Alipour, 2018) و (Ahani *et al.*, 2023) اگرچه چندهدفه هستند، اما تحلیل هم‌زمان و کمی از رابطه تعاملی و تبادلی بین بهره‌وری آب و انرژی در یک الگوی کشت یکپارچه برای مناطق بحرانی از نظر این دو منبع ارائه نداده‌اند. دوم آن که رویکرد برخی مطالعات مانند (Taherzade *et al.*, 2023) متمرکز بر یک محصول است که در مقیاس مدیریت سرزمین، نمی‌تواند به یک راه‌حل جامع و عملیاتی منجر شود. بنابراین، پژوهش حاضر با تمرکز بر منطقه‌ای با محدودیت آب و انرژی و با درنظرگیری الگوی کشت کل منطقه، درصدد پر کردن این شکاف است (Jamshidlo & Nasiri, 2023) در راستای دستیابی به پایداری کشاورزی، به تعیین الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی و آرمانی و با لحاظ محدودیت‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که در الگوی پیشنهادی سطح زیر کشت کل در هر دو مدل مذکور کاهش و میزان مصرف آب، سم و کود هم کاهش پیدا می‌کند، اما در این مطالعه به محدودیت انرژی و منابع مصرف انرژی پرداخته نشده است. همین‌طور در پژوهش (Karimi *et al.*, 2024) اگرچه به بهینه‌سازی الگوی کشت در استان ایلام پرداخته، اما در مقیاس استانی انجام شده و مسئله بحران دوگانه آب و انرژی را در سطح شهرستان دهلران به‌طور خاص بررسی نکرده است. همچنین، مطالعات جدید مانند (Duan *et al.*, 2025; Demir & Muratoglu, 2025) از الگوریتم‌های پیشرفته و روش‌هایی نظیر

ردپای آب برای بهینه‌سازی الگوی کشت بهره برده‌اند، اما این روش‌ها هنوز برای شرایط خاص منطقه دهلران تطبیق داده نشده‌اند. پیشینه پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بهینه‌سازی الگوی کشت می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد کلیدی، توأمان به اهداف اقتصادی (حداکثر کردن سود) و اهداف محیط‌زیستی (کاهش مصرف آب و انرژی) دست یابد (Ghanbari *et al.*, 2014; Aliabadi *et al.*, 2015). با این حال، شکاف دانش موجود، عدم ارائه یک الگوی کشت بهینهِ چندهدفه و بومی‌سازی شده برای منطقه‌ای با ویژگی‌های خاص شهرستان دهلران (همچون شرایط دسترسی به منابع آب سطحی و زیرزمینی، تنوع محصولات و وابستگی به انرژی نهاده‌ها) ضرورت انجام این مطالعه را دوچندان می‌کند. بنابراین، پژوهش حاضر به‌دنبال تدوین یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه و بومی‌سازی شده برای تعیین الگوی کشت بهینه با لحاظ اهداف حداکثرسازی سود و تولید و حداقل‌سازی آب و انرژی و کمک به بهبود بهره‌وری آب و انرژی در سطح شهرستان دهلران است.

بررسی مطالعات داخلی و خارجی صورت گرفته در زمینه مدیریت بهینه انرژی و استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه در بخش کشاورزی نشان داد، در دهه‌های اخیر استفاده از این مدل‌ها مورد توجه بیشتری قرار گرفته است؛ ولی تدوین الگوی کشت بر اساس مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه با لحاظ تمامی منابع انرژی که در نظام زراعی منطقه مورد مطالعه موثرند، و بررسی تأثیر این الگوی کشت بهینه بر بهره‌وری‌های فیزیکی و اقتصادی آب و انرژی در مطالعات مورد بررسی تا زمان تدوین پژوهش حاضر، مشاهده نشد. اگرچه (Marzban, 2022) در مطالعه خود به تعیین الگوی کشت با تأکید بر مصرف بهینه انرژی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه" در استان لرستان پرداخته است که درآن، حداقل‌سازی مصرف انرژی به‌عنوان یکی از اهداف مدل، در کنار اهداف اقتصادی و محیط‌زیستی درنظر گرفته شد. ولی منابع انرژی در نظر گرفته شده در این مطالعه تنها شامل منتخبی از نهاده‌ها همچون سوخت‌های فسیلی، برق، کود و سموم شیمیایی بود و سایر نهاده‌های مؤثر در نظام زراعی منطقه به‌طور کامل لحاظ نشد. ضمن اینکه در این مطالعه از روش ارزیابی چرخه حیات نیز بهره گرفته شده بود. علاوه بر این در مطالعه بدیعی برزین و همکاران (Badie Barzin *et al.*, 2024) با عنوان ارزیابی یک مدل چندهدفه با رویکرد وابستگی متقابل آب، انرژی و غذا برای بهبود بهره‌وری آب و انرژی، اهداف حداقل‌سازی مصرف انرژی و آب به همراه هدف حداکثرسازی سود اقتصادی مورد توجه قرار گرفت. اگرچه این پژوهش به بررسی ارتباط متقابل منابع پرداخت، اما محاسبه انرژی صرفاً بر اساس نهاده‌های مستقیم مانند سوخت و برق متمرکز بود و نهاده‌های غیرمستقیم مانند نیروی انسانی و بذر در محاسبات انرژی مدل گنجانده نشد.

در مطالعه حاضر، اهداف اقتصادی (حداکثرسازی سود و تولید) و محیط زیستی (حداقل‌سازی آب و انرژی) با تأکید بر مدیریت مصرف منابع آب و انرژی مورد توجه قرار گرفتند. لذا، تمامی منابع مصرف انرژی شامل سوخت، الکتریسیته (انرژی الکتریکی پمپاژ آب)، نیروی انسانی، بذر، کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفات، پتاس)، کود حیوانی، سموم و آفت‌کش‌ها، بر اساس معادل‌های انرژی آن‌ها به‌صورت ضرب هم ارزهای انرژی در مقدار استفاده شده از تمامی نهاده‌های انرژی‌بری که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در فعالیت زراعی منطقه مؤثرند، در مدل به‌کارگرفته شد؛ و سهم هر یک از آن‌ها در کل مصرف انرژی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه در تعیین الگوی بهینه کشت مشخص گردید که از جمله تمایزهای مطالعه حاضر با سایر مطالعات می‌باشد. بنابراین، این پژوهش با تدوین یک مدل یکپارچه که چهار هدف حداکثرسازی سود ناخالص و تولید کل و حداقل‌سازی مصرف آب و انرژی را به‌طور همزمان دنبال می‌کند، درصدد است تا با تدوین الگوی کشت بهینه براساس شرایط منطقه‌ای به بهبود بهره‌وری منابع آب و انرژی در شهرستان دهلران کمک نماید.

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر از مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه جهت دستیابی همزمان چند هدف که مشروط به یک مجموعه معینی از محدودیت‌هاست، مورد استفاده قرار گرفته است. چون یک جواب بهینه را نمی‌توان به طور همزمان برای چند هدف تعریف نمود، برنامه‌ریزی چندهدفه مجموعه‌ای را جست‌وجو می‌کند که جواب‌های کارا یا بهینه پارتو نامیده می‌شوند. عناصر اصلی این مجموعه کارا، جواب‌های قابل دسترسی است، به طوریکه جواب‌های موجه دیگر نمی‌توانند به همین سطح از تحقق اهداف یا بیشتر برسند و یا حداقل یک هدف را بهبود ببخشند. مجموعه کارا می‌تواند چگونگی رسیدن به بهینه هر یک از اهداف و تبادل بین آن‌ها را نشان دهد. فرم کلی یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه به صورت رابطه (۱) می‌باشد (Sabohi & Alvanchi, 2008).

$$Max\ Z(X) = \left(Z_1(X), Z_2(X), \ldots . Z_K(X)\right)$$

$$Z_1(X)=Z_1(X_1,X_2,\ldots\ldots X_n)$$

$$Z_2(X)=Z_2(X_1,X_2,\ldots\ldots\ldots X_n) \qquad (۱)$$

$$Z_K(X)=Z_K(X_1,X_2,\ldots\ldots\ldots\ldots X_n)$$

$$\vdots$$

$$s.t.o$$

$$X\in F$$

$$X\geq O$$

در رابطه ۱، $Z=(z_1,z_2,\ldots\ldots z_k)$ نشان‌دهنده‌ی بردار تابع هدف چند منظوره، Z_K تابع هدف منفرد Kام، X_nمتغیر تصمیم و F مجموعه موجه هستند. در مطالعه حاضر با توجه به شرایط منطقه و اهمیت

موضوع، چهار هدف حداکثرسازی سود ناخالص (رابطه ۲)، حداقل‌سازی مصرف آب (رابطه ۳)، حداقل‌سازی مصرف انرژی (رابطه ۴) و حداکثرسازی تولید (رابطه ۵)، در مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه لحاظ گردید. شکل جبری این اهداف در معادلات ۲ تا ۵ بیان شده است (Li M *et al.*, 2019). لازم به توضیح است که در توابع هدف، جهت مشخص کردن متغیرها از حرف V و پارامتر از حرف P استفاده شد. همچنین فهرست تمامی نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف مجموعه‌ها و همین طور متغیرها و پارامترها در جدول ۱ آورده شده است.

همان‌گونه که در جدول ۱ ارائه شد مجموعه محصولات مورد بررسی شامل ۲۳ محصول زراعی می‌باشند. و سایر نهاده‌های درنظر گرفته شده در این مطالعه نیز، شامل آب (سطحی و زیرزمینی)، ماشین آلات، نیروی کار، سم (علف‌کش، قارچ‌کش و حشره‌کش)، کود (ازت، فسفر، پتاس و کود حیوانی)، زمین، بذر و انرژی (الکتریسیته و سوخت) می‌باشند. لازم به توضیح است که برای به‌دست آوردن نیاز ناخالص آبی هر محصول، نیاز خالص آبی محصول مربوطه را بر راندمان آبیاری منطقه مورد مطالعه تقسیم می‌کنیم. همچنین ۵ بخش مهم دهلران در مطالعه حاضر به‌عنوان مناطق مورد مطالعه شهرستان دهلران درنظر گرفته شدند که شامل: اناران، دشت عباس، زرین آباد، موسیان و میمه می‌باشند.

در ادامه با توجه به اینکه در نظر گرفتن چند هدف متفاوت، منجر به یک الگوسازی در قالب یک برنامه‌ریزی چند هدفه (Mop) می‌شود. لذا در مطالعه حاضر برای متجانس کردن اهداف از چارچوب کلی برنامه‌ریزی ریاضی‌خطی چندهدفه برگرفته از مطالعات (Mardani *et al.*, 2016; Ahani *et al.*, 2023; Alipour, 2022) استفاده شد.

توابع هدفی که در روابط ۲ تا ۵ بیان شد، مشروط به یک سری محدودیت‌ها می‌باشند که با توجه به شرایط منطقه انتخاب شده‌اند. در ادامه این محدودیت‌ها که مربوط به قیدهای آب (سطحی و زیرزمینی)، ماشین‌آلات، نیروی کار، کود و سموم شیمیایی، زمین، بذر و انرژی الکتریسیته و سوخت می‌باشند که در قالب روابط ۶ تا ۱۸ بیان شده است. انتخاب این نهاده‌ها به‌عنوان قید (محدودیت) در مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه بر طبق بررسی محدودیت شرایط منطقه‌ای در ارائه اختصاص سهمیه کود و سموم شیمیایی شهرستان دهلران به هر یک از مناطق مورد مطالعه، محدودیت منابع آب مناطق، که به استناد اطلاعات دریافتی از اداره آب منطقه‌ای و مرکز خدمات شهرستان دهلران، با توجه به تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی‌های اخیر، میزان آب سطحی در دسترس جهت انجام فعالیت‌های زراعی در مناطق مورد مطالعه، محدود می‌باشد و با توجه به توسعه بهره‌برداری از آبخوان‌های آبرفتی، برداشت از سفره آب زیرزمینی در این مناطق، بیش از حد مجاز ظرفیت این آبخوان‌ها گزارش شده است، به‌گونه‌ای که وضعیت چاه‌ها در این مناطق را دچار مشکل کرده است. همچنین سایر محدودیت‌ها نیز براساس شرایط استفاده از برق و سوخت مورد استفاده در آبیاری مزارع، محدودشدن به کارگیری ماشین‌آلات و نیروی کارگری در فصول زراعی محصولات مخصوصاً در زمان برداشت محصولات در منطقه مورد مطالعه، در این مدل لحاظ شده‌اند.

محدودیت شماره ۶ حد مجاز آب موجود برای هر منطقه را تعیین می‌کند.

$$\text{Max:obj1profit_v}=\sum_{c=1}^{C}\sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R}(P_P_{csr}TP_P_{csr}-\sum_{i=1}^{i}TC_P_{csir}) \quad (۲)$$

$$\text{Min:obj2water_v}=\sum_{e=1}^{E}\sum_{c=1}^{C}\sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R}TW_{V_{ecsr}}=\frac{W_{P_{csr}}}{eff_{P_{csr}}}A_{V_{csr}} \quad (۳)$$

$$\text{Min:obj3energy_v}=\sum_{c=1}^{C}\sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R}\sum_{i=1}^{I}IE_{csir}A_{V_{csr}} \quad (۴)$$

$$\text{Max:obj4product_v}=\sum_{c=1}^{C}\sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R}TP_{P_{csr}}A_{V_{csr}} \quad (۵)$$

جدول ۱- فهرست تمامی نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف مجموعه‌ها و همین طور متغیرها و پارامترها

Table 1- List of all symbols used in the model to define sets as well as variables and parameters

اندیس Index	شرح Description	اندیس Index	شرح Description
$TMec\text{-}p_{csr}$	مقدار کل ماشین آلات Total amount of machinery (hour)	C=23	مجموعه محصولات زراعی Crop collection
$TFer\text{-}p_{tcsr}$	مقدار کل کود Total amount of fertilizer (kg)	S=2	فصل‌های زراعی مورد مطالعه، پاییزه و تابستانه Crop seasons
$TPes\text{-}p_{zcsr}$	مقدار کل آفت‌کش Total amount of pesticide (liter)	r=5	مناطق مورد مطالعه Study areas
TA_r	مقدار زمین زراعی موجود Amount of available farmland	i=9	نهاده‌های استفاده شده Inputs used
GM_{cr}	مقدار سود ناخالص Gross profit amount (Rial)	e= 2	آب به تفکیک سطحی و زیرزمینی Water divided into surface and underground
$curprofit_r$	سود جاری Current profit (Rial)	z=3	انواع سم Types of poison
$Tlab\text{-}p_{csr}$	مقدار کل نیروی کار در دسترس Total amount of available labor (persons per day)	t=3	انواع کود Types of fertilizer
AW_P_{ecsr}	مقدار کل آب در دسترس Total amount of water available (cubic meters per hectare)	P_P_{csr}	قیمت محصول مورد نظر Price of the desired product (Rial)
IE_{csir}	میزان انرژی مصرف شده Amount of energy consumed (M/J)	TP_P_{csr}	عملکرد محصول مورد نظر Desired product yield (kg)
eff_P_r	راندمان آبیاری Irrigation efficiency (percentage)	TC_P_{csir}	هزینه‌های تولید Production costs (Rial)
$Maxprod_P_{csr}$	حداکثر میزان مجاز تولید Maximum allowed amount of products (kg)	A_V_{csr}	سطح زیر کشت محصولات Crop area (hectare)
$Minprod_P_{csr}$	حداقل میزان مجاز تولید Minimum allowed amount of products (kg)	TW_V_{ecsr}	مقدار آب استفاده شده Amount of water used (cubic meters per hectare)
NB	مقدار سود ناخالص Gross profit amount (Rial)	W_P_{csr}	نیاز خالص آبی Net water requirement (cubic meters per hectare)

$$\sum_{c=1}^{C} TW_V_{ecsr} \le AW_{P_{ecsr}} \qquad \forall_{esr} \qquad (۶)$$

در محدودیت شماره ۶ مقدار کل آب موجود در هر منطقه می‌بایست کمتر و مساوی با مقدار آب در دسترس باشد که بر اساس اطلاعات سازمان آب و منطقه‌ای استان ایلام میزان آب در دسترس در مناطق مورد نظر شامل کل آب سطحی (شبکه آبیاری موجود در منطقه برای زراعت و آب زیرزمینی (تعداد چاه‌های فعال و میزان آب‌دهی هر چاه) به‌دست می‌آید.

محدودیت شماره ۷ تا ۱۰ مربوط به حد مجاز نیروی کار، ما شین آلات، کود و آفت‌کش هستند.

$$\sum_{c=1}^{C} Lab_P_{csr} A_V_{csr} \le TLab_P_{csr} \qquad \forall_{sr} \qquad (۷)$$

$$\sum_{c=1}^{C} Mec_p_{csr} A_V_{csr} \le TMec_{P_{csr}} \qquad \forall_{sr} \qquad (۸)$$

$$\sum_{c=1}^{C} Fer_P_{tcsr} A_V_{csr} \le TFer_P_{tcsr} \qquad \forall_{tsr} \qquad (۹)$$

$$\sum_{c=1}^{C} Pes_P_{zcsr} A_V_{csr} \le TPes_P_{zcsr} \qquad \forall_{zsr} \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{c=1}^{C} A_V_{csr} \le TA_P_r \qquad \forall_{sr} \qquad (۱۱)$$

معادله ۱۱ مربوط به محدودیت زمین است که سطح زیر کشت محصولات زراعی با مقدار زمین موجود در هر منطقه محدود می‌شود. حال به‌منظور تکیه بر راه حل‌های بهینه و پذیرش مدل ارائه شده در

این تحقیق باید سود جاری کشت محصول در هر منطقه ارائه شود (معادله ۱۲).

$$\sum_{C=1}^{C}\sum_{S=1}^{S} GM_P_{csr}A_V_{csr} \geq curprofit_r \quad \forall_r \qquad (۱۲)$$

محدودیت های ۱۳ و ۱۴ به‌ترتیب حداکثر و حداقل تولید محصولات کشاورزی هر منطقه را مشخص می‌کند.

$$TP_P_{csr}A_V_{csr} \leq Maxprod_P_{csr} \quad \forall_{csr} \qquad (۱۳)$$

$$TP_P_{csr}A_V_{csr} \leq Minprod_P_{csr} \quad \forall_{csr} \qquad (۱۴)$$

میزان حداکثر تولید در معادله ۱۳ بر اساس پتانسیل هر منطقه (مقدار زمین قابل کشت، منابع آب) و استفاده از نظرات کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی و میزان حداقل تولید نیز در معادله ۱۴ بر اساس نیازهای خود مصرفی تعیین و برای هر منطقه براساس مطالعه (Mardani Najafabadi & Ashktarab, 2022) محاسبه گردید.

پس از اجرای مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه، میزان بهره‌وری های فیزیکی و اقتصادی دو نهاده مهم مورد بررسی در مطالعه حاضر (آب و انرژی) در نتیجه‌ی اجرای الگوی کشت پیشنهادی حاصله محاسبه می‌گردد. نحوه محاسبه شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و انرژی در روابط ۱۵ تا ۱۸ ارائه شده است. به‌طور معمول، برای تعیین بهره‌وری مصرف آب کشاورزی از سه شاخص مقدار تولید به ازای واحد حجم آب (CPD)[۱]، درآمد به ازای واحد حجم آب (BPD)[۲]، بازده خالص به ازای واحد حجم آب (NBPD)[۳] استفاده می شود (Piri & Heidari, 2019). همچنین از مهم‌ترین شاخص‌های محاسبه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی انرژی، شاخص مقدار تولید به ازای واحد انرژی ورودی (CPE)[۴]، درآمد به ازای واحد انرژی ورودی (BPE)[۵] و سود ناخالص به ازای واحد انرژی ورودی (NBPE)[۶] می باشند. در مطالعه حاضر برای تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و انرژی در کشاورزی از شاخص‌های ارائه شده در روابط ۱۵ تا ۱۸ استفاده شده است. که در ادامه توضیحات آن بیان می‌گردد.

شاخص CPD: این شاخص به نوعی بیان کننده بهره‌وری فیزیکی آب می‌باشد که در رابطه ۱۵ نشان داده شده است و عبارت است از نسبت محصول تولید شده به حجم آب مصرفی برای آبیاری در هکتار.

$$CPD=\frac{TP}{TW} \qquad (۱۵)$$

در رابطه ۱۵، TP: مقدار محصول تولید شده (کیلوگرم در هکتار) و TW: مقدار آب مصرف شده (متر مکعب در هکتار)، هرچه این شاخص بزرگتر باشد نشان‌دهنده‌ی مصرف صحیح‌تر آب است. اما نشانگر سود اقتصادی بیشتر نیست.

شاخص NBPD: این شاخص بهترین شاخص برای بهره‌وری مصرف آب کشاورزی یا سود ناخالص به ازای واحد آب مصرفی در هکتار می‌باشد که نه تنها مقدار سود ناخالص را به ازای واحد حجم آب مصرفی تعیین می‌کند بلکه اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی الگو و ترکیب کشت در مناطق خشک مواجهه با محدودیت شدید آب دارند. زیرا از راه این شاخص می‌توان منابع کمیاب آب را به کشت‌هایی اختصاص داد که با کمترین واحد مصرف آب بیشترین سود را نصیب بهره‌برداران کند. این شاخص در رابطه ۱۶ نشان داده شده است.

$$NBPD=\frac{NB}{TW} \qquad (۱۶)$$

در رابطه ۱۶، NB: مقدار سود ناخالص (ریال در هکتار) می‌باشد.

شاخص CPE که در رابطه ۱۷ نشان داده شده است نسبت محصول تولید شده به میزان انرژی مصرفی بر حسب مگاژول محاسبه می‌شود.

$$CPE=\frac{TP}{IE} \qquad (۱۷)$$

در رابطه ۱۷، TP: مقدار محصول تولید شده (کیلوگرم در هکتار) و IE: مقدار انرژی مصرفی (مگاژول) می‌باشد. همچنین در رابطه ۱۸، شاخص NBPE که بیان کننده نسبت سود ناخالص به انرژی مصرفی می‌باشد نشان داده شده است.

$$NBPE=\frac{NB}{IE} \qquad (۱۸)$$

لازم به توضیح است به‌منظور بررسی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی انرژی، ابتدا مقدار انرژی هر یک از نهاده‌ها و محصولات محاسبه شد و سپس درصد هر یک از نهاده‌ها و محصولات از کل انرژی مصرفی مشخص و بهره‌وری انرژی به‌صورت، نسبت انرژی تولیدی به مصرفی به‌دست آمد(Anoushepour *et al.*, 2020). در مطالعه حاضر برای دستیابی به اهداف مورد نظر با تأکید بر حداکثرسازی سود ناخالص کشاورز، حداکثرسازی تولید، حداقل‌سازی مصرف آب و حداقل‌سازی مصرف انرژی، میزان انرژی مصرفی برای نهاده‌ها شامل (آب، ماشین آلات، نیروی کار، سموم، انواع کود، بذر، مصرف برق و مصرف گازوئیل) با استفاده از معادل انرژی‌های هر یک، بر اساس جدول ۲ تعیین شد.

میانگین هزینه‌های تولید، انرژی مصرف شده نهاده‌ها و عملکرد محصولات زراعی در منطقه دهلران نیز در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲- معادل انرژی نهاده‌ها در تولید محصولات زراعی

Table 2- Energy equivalent of inputs in crop production

نهاده Input	واحد Unit	انرژی‌معادل Equivalent energy (m/j per unit)	منبع مورد استفاده Source used
بذر خیار Cucumber seed	کیلوگرم kg	0.8	Ozkan *et al*., 2004
بذر گندم Wheat seed	کیلوگرم kg	15.7	Canakci *et al*., 2005
بذر جو Barley seed	کیلوگرم kg	14.7	Singh *et al*., 2006
بذر ذرت دانه‌ای Corn kernel	کیلوگرم kg	15.9	Canakci *et al*., 2005; Rathke *et al*., 2007
بذر کلزا Rape seed	کیلوگرم kg	3.6	kitani *et al*.,1999
بذر ذرت علوفه‌ای Foragecorn seed	کیلوگرم kg	15.9	Canakci *et al*., 2005
بذر کنجد Sesame seed	کیلوگرم kg	25	Singh *et al*., 2006
بذر هندوانه Watermelon seed	کیلوگرم kg	1	Azizpanah *et al*., 2019
بذر خربزه Melon seed	کیلوگرم kg	1	Azizpanah *et al*., 2019
بذر سیب زمینی Potato seeds	کیلوگرم kg	3.6	Kitani, 1999
بذر پنبه Cotton seed	کیلوگرم kg	18	Ozkan *et al*., 2004
پیاز Onion	کیلوگرم kg	1.6	Ozkan *et al*., 2004
آب آبیاری Irrigation water	مترمکعب	1.02	Singh *et al*., 2006
ماشین آلات Machinery	ساعت hr	62.7	Akcaoz *et al*., 2009
نیروی کار Labor	ساعت hr	1.96	Akcaoz *et al*., 2009
فسفر Phosphoru	کیلوگرم kg	11.1	Ozkan *et al*., 2004; Akcaoz *et al*., 2009
نیتروژن Nitrogen	کیلوگرم kg	60.6	Ozkan *et al*., 2004; Akcaoz *et al*., 2009
پتاسیم Potassium	کیلوگرم kg	6.7	Ozkan *et al*., 2004; Akcaoz *et al*., 2009
کود دامی Animal manure	کیلوگرم kg	0.3	kizilaslan, 2009
علف کش Herbicide	لیتر lit	85	Tzilivakis *et al*., 2005; Rathke *et al*., 2007
قارچ کش Fungicide	کیلوگرم kg	115	Tzilivakis *et al*., 2005; Rathke *et al*., 2007
حشره کش Insecticide	کیلوگرم	229	Tzilivakis *et al*., 2005; Rathke *et al*., 2007
الکتریسیته Electricity	کیلووات ساعت Kw/hr	12	Kaltsas *et al*., 2007
گازوئیل Diesel	لیتر Lit	47.8	Hydrocarbon balance sheet of Country, 2008

جدول ۳- داده‌های مورد استفاده در پژوهش

Table 3- Data used in the research

محصولات Crops	هزینه‌های تولید Production costs (million rial/hectare)	انرژی مصرف شده Energy consumed (million megajoules/hectare)	عملکرد Yield (tons/hectare)
گندم آبی Water wheat	240.05	39.82	3.5
گندم دیم Rainfed wheat	68.88	11.73	1
جو آبی Water barley	186.105	30.79	3.4
جو دیم Rainfed barley	54.18	10.88	0.8
کلزا Rape	284.18	43.19	1.7
ذرت دانه‌ای Corn kernel	326.16	48.31	0.7
ذرت علوفه‌ای Forage corn	258.54	47.58	45
کنجد Sesame	149.06	32.50	0.9
هندوانه Watermelon	562.96	40.72	45
خربزه Melon	351.96	39.61	45
سیب زمینی Potato	1149.89	75.05	45
خیار Cucumber	423.9	38.06	27
پیاز Onion	649.04	37.26	42
پنبه Cotton	436.31	44.52	2

منبع: سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه ای استان ایلام سال ۱۴۰۰

Source: Agricultural Jihad Organization and Regional Water Company of Ilam Province, 1400

لازم به توضیح است که اطلاعات مربوط به هزینه‌های تولید، عملکرد، سطح زیر کشت محصولات زراعی در مناطق مورد مطالعه از سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام، شرکت‌های خدمات حمایتی در شهرستان دهلران دریافت گردید. همچنین اطلاعات و داده‌های مربوط به میزان آب سطحی، تعداد و دبی چاه‌های مورد نظر، نیاز خالص آبی و راندمان آبیاری در مناطق مورد بررسی از شرکت آب منطقه‌ای استان ایلام در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ جمع‌آوری گردید. برای اجرای مدل نیز از نرم‌افزار GAMS استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج الگوی بهینه کشت مناطق مختلف دهلران برای محصولات زراعی در جدول ۴ ارائه شده است.

در منطقه دهلران پنج منطقه مهم کشاورزی شامل اناران، دشت عباس، موسیان، زرین آباد و میمه وجود دارد که طبق نتایج جدول ۴ در صورت اجرای مدل چندهدفه در بخش‌های مذکور به‌ترتیب افزایش ۷/۳۱، ۰/۷۴، ۲/۵۷، ۶/۶۲ و ۲۹/۷۸ درصد سطح زیر کشت مشاهده می‌شود که در محصولات گروه پاییزه این افزایش برای گندم آبی و دیم، ذرت علوفه‌ای و در محصولات تابستانه شامل محصولات سودآوری، مانند هندوانه، خربزه، پیاز، سیب‌زمینی، برنج، خیار و پنبه می‌باشد. افزایش سطح کشت محصولاتی همچون هندوانه، خربزه، پیاز، برنج، سیب‌زمینی و خیار با اینکه در راستای برنامه توسعه جهاد کشاورزی در شهرستان دهلران و بهبود مصرف آب نمی‌باشد، ولی با توجه به اینکه در این مطالعه از مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه استفاده گردید و در آن، علاوه بر اهداف حداقل‌سازی آب و انرژی، اهدافی همچون حداکثرسازی سود و تولید نیز در نظر گرفته شد.

جدول ٤- سطح زیر کشت محصولات زراعی در بخش‌های مختلف در قالب الگوی پایه و پیشنهادی (هکتار)

Table 4- Area under cultivation of crops in different sectors in the current and multi-objective model (hectares)

محصولات Crops	الگوها Patterns	بخش‌ها Sections					جمع Total
		اناران Anaran	دشت عباس Dashteabas	موسیان Mosian	زرین آباد Zarinabad	میمه Mymeh	
گندم آبی Water wheat	پایه Base	6420	17000	13525	–	–	36945
	پیشنهادی Mop	8346	13977	15360	–	–	37683
گندم دیم Rainfed wheat	پایه Base	12000	15743	2000	3500	330	33573
	پیشنهادی Mop	12210	20465	2600	4550	429	40255
جو آبی Water barley	پایه Base	160	120	450	–	–	730
	پیشنهادی Mop	91	78	293	–	–	462
جو دیم Rainfed barley	پایه Base	300	50	450	2000	2200	5000
	پیشنهادی Mop	53	9	54	1334	2860	4307
کلزا Rape	پایه Base	500	3063	670	–	–	4233
	پیشنهادی Mop	425	2967	657	–	–	4049
ذرت دانه ای Corn kernel	پایه Base	160	2110	2230	–	–	4500
	پیشنهادی Mop	208	2743	1424	–	–	4375
ذرت علوفه ای Forage corn	پایه Base	–	330	–	–	–	330
	پیشنهادی Mop	–	429	–	–	–	429
کنجد Sesame	پایه Base	–	108	–	–	–	108
	پیشنهادی Mop	–	65	–	–	–	65
هندوانه Watermelon	پایه Base	–	600	31	–	–	631
	پیشنهادی Mop	–	780	41	–	–	820
خربزه Melon	پایه Base	–	354	–	–	–	354
	پیشنهادی Mop	–	460	–	–	–	460
سیب زمینی Potato	پایه Base	–	330	60	–	–	390
	پیشنهادی Mop	–	429	78	–	–	507
خیار Cucumber	پایه Base	–	215	–	–	5	220
	پیشنهادی Mop	–	280	–	–	6/5	286
پیاز Onion	پایه Base	–	74	42	–	–	116
	پیشنهادی Mop	–	96.2	54.6	–	–	150.8

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پنبه Cotton	Mop پایه	–	600	–	–	–	600
	Base پیشنهادی	–	780	–	–	–	780
سورگوم Sorghum	Mop پایه	15	–	–	8	–	23
	Base پیشنهادی	19.5	–	–	10.4	–	29.9
ارزن Millet	Mop پایه	8	–	–	–	–	8
	Base پیشنهادی	1. 18	–	–	–	–	1.18
ماش Mung beans	Mop پایه	8	–	–	–	–	8
	Base پیشنهادی	1	–	–	–	–	1
عدس Lentils	Mop پایه	–	–	–	50	15	65
	Base پیشنهادی	–	–	–	65	19.5	84.5
نخود Peas	Mop پایه	–	–	–	15	15	30
	Base پیشنهادی	–	–	–	19.5	19.5	39
برنج Rice	Mop پایه	–	–	–	4	58	62
	Base پیشنهادی	–	–	–	5.2	75.4	80.6
بامیه Okra	Mop پایه	–	–	–	5	5	10
	Base پیشنهادی	–	–	–	1.64	1	2.64
گوجه فرنگی Tomato	Mop پایه	–	–	–	5	5	10
	Base پیشنهادی	–	–	–	6.5	6.5	13
گلرنگ Safflower	Mop پایه	–	–	40	40	–	80
	Base پیشنهادی	–	–	10	8.15	–	18.15
جمع Total	Mop پایه	19571	40697	19498	5627	2633	88026
	Base پیشنهادی	21000	41000	20000	6000	3417	91417
	Mop						

منبع: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

لذا افزایش محصولات مذکور می‌تواند به‌دلیل سودآوری و عملکرد بالای این محصولات باشد. همچنین افزایش سطح کشت در محصولاتی همچون گندم، ذرت علوفه‌ای، برنج و سیب‌زمینی منطبق با ماده ۳۱ قانون برنامه پنج ساله ششم توسعه، بخش کشاورزی بند (ز) می‌باشد که در راستای دستیابی به راهبرد امنیت غذایی، افزایش سطح کشت و تولید محصولاتی همچون برنج، سیب‌زمینی، ذرت علوفه‌ای و گندم را توصیه نموده است. که نتایج مطالعه حاضر در منطقه مورد مطالعه، می‌تواند به‌عنوان منطقه‌ای کوچک از وسعت کل کشور در دستیابی به این موضوع کمک‌کننده باشد. کما اینکه در ماده ۳۲ فصل هفتم از قانون برنامه هفتم پیشرفت نیز، ضرورت توجه به امنیت غذایی و ارتقای تولید محصولات کشاورزی مورد تأکید قرار گرفته است. همچنین نتایج، سطح کشت محصولات زراعی کل منطقه دهلران بعد از اجرای مدل پیشنهادی، حدود ۳/۸۵ درصد افزایش را نشان می‌دهد؛ که این افزایش برای محصولات پاییزه حدود ۳/۵۲ و محصولات بهاره

۷/۳ درصد می‌باشد. این نتیجه با یافته‌های تحقیق (Badie Barzin *et al*., 2024; Xu *et al*., 2022; Hang *et al*., 2016) همسو نمی باشد. در مطالعات مذکور سطح زیر کشت کل در منطقه پس از اجرای الگوی کشت بهینه روند کاهشی داشته است. از دلایل ناهمسو بودن نتیجه این بخش از مطالعه با مطالعات مذکور می‌تواند به دلیل تفاوت در لحاظ نهاده‌های محدوده کننده در آن مطالعات با مطالعه حاضر باشد. همچنین در آن مطالعات صرفا محصولات عمده زراعی منطقه در نظر گرفته شدند، درحالی که در مطالعه حاضر سعی شده است تا تمامی محصولات زراعی منطقه لحاظ شود. از مطالعات همسو می‌توان به مطالعه (Vahedi, 2020). اشاره کرد که پس از اجرای شاخص‌های بهره‌وری انرژی در منطقه مورد مطالعه ضمن حفظ پایداری، میزان سطح زیر کشت گندم افزایش داشته است. همین طور می‌توان به مطالعات (Badie Barzin *et al*., 2024; Zare Bidaki & Nowruzi., 2025; Jahantig, 2021) اشاره کرد که ضمن تأکید بر مدیریت مصرف آب و بهینه‌سازی الگوی کشت، سطح زیر کشت محصولاتی مانند گندم، سیب‌زمینی و جو افزایش پیدا می‌کند.

در ادامه نتایج متغیرهای سطح زیر کشت کل، تولید کل، سود ناخالص، مصرف انرژی و آب همراه با درصد تغییر آنها در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به این که در این پژوهش و بر اساس شرایط منطقه مورد مطالعه موضوع اصلی کمبود آب و مسائل مربوط به بهره وری آب می‌باشد، تحلیل حساسیت مدل در قالب دو سناریوی کاهش ۲۰ و ۳۰ درصدی در کاهش موجودی آب منطقه انجام شد و نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است. لازم به توضیح است که انتخاب این سناریوهای کاهش در موجودی آب، براساس بررسی داده‌های تاریخی و روند بلندمدت بارندگی‌ها در منطقه دهلران انجام گرفت.

جدول ۵- نتایج متغیرهای مورد نظر در الگوهای پایه و پیشنهادی

Table 5- Results of the desired variables in the current and multi-objective models

متغیر Variable	الگو Pattern			تحلیل حساسیت Sensitivity analysis			
	پایه Base	پیشنهادی Mop	درصد تغییر Percentage change	سناریو ۱ Senario1	درصد تغییر Percentage change	سناریو ۲ Senario2	درصد تغییر Percentage change
سطح زیر کشت کل Total cultivated area (hectare)	88026	91417.23	3.85	91417.23	3.85	91417.23	3.85
تولید کل Total production (thousand ton)	292.602	317.420	8.48	311.132	6.3	290.778	-0.6
سود ناخالص Gross profit (million rial)	12827944.13	13431874.4	4.70	12994471.6	1.29	12827944.1	-1.5
مصرف انرژی Energy consumption (million megajoule)	2475.3229	2437.4593	-1.52	2418.9361	-2.27	2425.2436	-2.02
مصرف آب Water consumption (million cubic meter)	239.194	212.525	-11.14	196.058	-18.03	188.888	-21.03

منبع: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

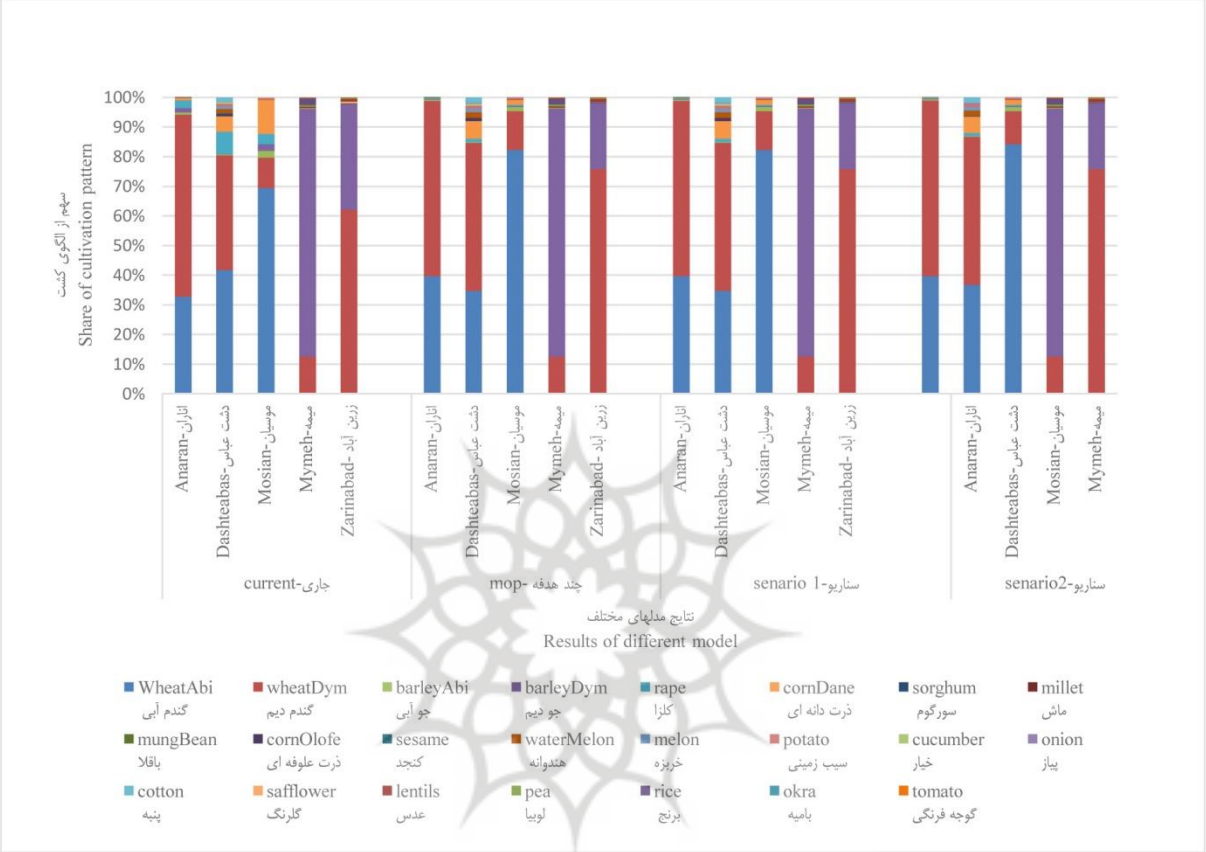
براساس نتایج ارائه شده در جدول ۵، در شرایط اجرای الگوی کشت چندهدفه پیشنهادی، سطح زیر کشت کل، تولید کل و سود ناخالص کل به‌ترتیب ۳/۸۵، ۸/۴۸ و ۴/۷۰ درصد افزایش می‌یابد. این در حالی است که میزان مصرف انرژی و آب حدود ۱/۵۲ و ۱۱/۱۴ درصد کاهش یافته است. لازم به توضیح است که سطح کشت کل در واقع محدود به اراضی زراعی منطقه می‌باشد و افزایش ۳/۸۵ درصدی، حاکی از آن است که محدودیت اراضی زراعی منطقه، اجازه کشت بیشتر را نداده است. در زمینه سودکل و تولید کل، لازم به توضیح است که براساس بررسی‌های صورت گرفته، در شرایط اجرای دو الگوی مجزای تک هدفه باهدف حداکثرسازی سودناخالص و هدف حداکثرسازی تولیدکل، میزان سود ناخالص و تولیدکل به‌ترتیب حدود ۱۰/۲ و ۱۶/۷ درصد افزایش خواهد یافت. به‌عبارتی با توجه به محدودیت‌های نهاده‌ای مانند قیود آب و زمین، امکان دستیابی به سود یا تولید فراتر از آن وجود ندارد. در مطالعه حاضر، با توجه به اینکه یک مدل چندهدفه مورد استفاده قرار گرفت، لذا دستیابی همزمان به برخی اهداف، ممکن از موجب صرف‌نظر کردن از مقادیری شود. به‌عنوان مثال، سود ناخالص در الگوی پیشنهادی، ۴/۷ درصد افزایش یافته است که نسبت به حداکثر سود بیان شده در مدل تک هدفه (که افزایش ۱۰ درصدی سود را منجر می‌شود) درصد قابل توجهی است. چراکه تقریباً ۵۰ درصد از درصد تغییرات سود در بهترین شرایط (مدل تک هدفه حداکثرسازی سود)

حاصل شده است. در مورد نتیجه تولید نیز، اگر تنها حداکثرسازی تولیدکل مدنظر قرار گیرد، تولید را حداکثر می‌توان تا حدود ۱۶/۷ درصد افزایش داد که افزایش ۸/۴۸ درصدی تولیدکل در شرایط اجرای الگوی کشت پیشنهادی با مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه که اهداف دیگر را نیز مدنظر دارد و درصدد دستیابی به پاسخ بهینه با تأمین همزمان تمامی اهداف می‌باشد، حاکی از افزایش تولید قابل توجهی می‌باشد. همانگونه که در جدول ۵ مشاهده شد، میزان مصرف آب در الگوی کشت پیشنهادی نسبت به الگوی پایه، حدود ۱۱ درصد کاهش می‌یابد. این کاهش مصرف به نوبه خود منجر به کاهش مصرف انرژی نیز می‌شود چرا که در مطالعه حاضر تمامی منابع انرژی در نظر گرفته است و آب نیز یکی از منابع انرژی بوده است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، برخی مطالعات نیز کاهش مصرف آب و انرژی را پس از اجرای مدل‌های چندهدفه پیشنهاد داده‌اند. به‌عنوان مثال، مردانی و همکاران (Mardani *et al.*, 2016) که میزان کاهش مصرف آب را حدود ۱۰ درصد گزارش کردند و همچنین در مطالعه گودرزی و همکاران (Goodarzi *et al.*, 2024)که طبق نتایج با اجرای الگوی کشت بهینه، میزان مصرف آب کاهش و مقدار کالری، بهره‌وری انرژی و سود خالص افزایش پیدا می‌کنند. همین‌طور استیاکام (Styakam, 2023) در راستای دستیابی به پایداری منطقه‌ای، با استفاده از مدل‌سازی و بهینه-سازی چند هدفه، نتایجی را ارائه داد که منجر به کاهش مصرف آب در حدود ۴۰/۷ درصد شد. همچنین، در نتایج به‌دست آمده از این پژوهش کاهش ۱۱/۴ درصدی در مصرف آب با توجه به پیشینه بحران آب در منطقه مورد مطالعه در کنار افزایش ناچیز ۳/۸۵ درصدی در سطح زیر کشت با توجه به برنامه‌های ششم توسعه و هفتم پیشرفت، به جهت ساماندهی در بخش کشاورزی برای افزایش بهره‌وری به‌ویژه بهره‌وری در نهاده آب، می‌تواند چشم‌انداز مثبتی را برای آینده منطقه مورد مطالعه داشته باشد؛ و این نتایج همسو با سیاست‌های کلی قانون برنامه هفتم پیشرفت می‌باشد که در آن بر افزایش بهره‌وری آب کشاورزی تأکید شده است. نتایج حاصل از سناریوسازی نشان داد، با کاهش ۲۰ و ۳۰ درصدی موجودی آب، کل سطح کشت زراعی منطقه مورد بررسی، نسبت به الگوی چندهدفه پیشنهادی (بدن سناریو)، تغییری نمی‌کند ولی با تغییر ترکیب سطح کشت محصولات در بخش‌های مورد بررسی، شاخص‌هایی همچون مصرف آب، تولید کل، سود ناخالص و انرژی تغییر یافته است. همانگونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، در شرایط کاهش ۲۰ درصدی آب، میزان تولیدکل و سودناخالص به‌ترتیب ۶/۳ و ۱/۲۹ درصد نسبت به حالت پایه افزایش می‌یابد. به‌عبارتی در شرایط کاهش موجودی آب تا ۲۰ درصد، می‌توان با مدیریت مناسب در انتخاب محصولات و سطح کشت آن‌ها، از کاهش سود جلوگیری نمود. اما در شرایط کاهش موجودی آب به میزان ۳۰ درصد (سناریوی دوم)، تولید کل و سود ناخالص کل به‌ترتیب ۰/۶ و ۱/۵ درصد کاهش می‌یابد. به‌عبارتی به هنگام کاهش دسترسی به آب که به‌عنوان یک نهاده ضروری برای برخی محصولات است، کشاورز مجبور است از سطح کشت برخی محصولات بکاهد و این مسئله منجر به کاهش سود ناخالص کل و تولید کل می‌شود. با کاهش موجودی آب، مصرف آب کاهش یافته و در نهایت مصرف انرژی نیز کاهش می‌یابد که نتایج دو سناریوی مورد بررسی نیز مؤید آن است. به بیان دیگر، یکی از منابع مهم مصرف انرژی، مربوط به آبیاری محصولات است که با کاهش موجودی آب و کاهش آبیاری، مصرف انرژی نیز با کاهش مواجه می-شود.

در شکل ۱ به بررسی سهم محصولات زراعی در الگوی کشت هر بخش پرداخته می‌شود.

طبق شکل ۱ دربخش‌های مختلف بیشترین سهم از الگوی کشت مربوط به کشت‌های پاییزه برای محصولاتی مانند گندم و جو به‌عنوان کشت غالب در منطقه می‌باشد. به‌عنوان نمونه، در بخش دشت عباس ۴۰ درصد گندم آبی و ۳۸ درصد به گندم دیم، در بخش میمه حدود ۸۰ درصد از سهم الگوی کشت به جو دیم اختصاص دارد. لازم به ذکر است طبق آمار سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام در سال ۱۴۰۴، شهرستان دهلران با تولید ۲۴۰ هزار تن گندم جزء ۱۰ شهرستان برتر کشور در تولید این محصول می‌باشد. پس از اجرای الگوی چندهدفه و همین طور اعمال محدودیت در قالب سناریو ۱ و ۲، مقدار کشت پیشنهادی محصولات ذکر شده افزایش نشان داد به‌عنوان نمونه سطح زیر کشت گندم آبی در بخش اناران در الگوی چندهدفه، سناریوی اول و دوم، ۳۰ درصد افزایش را نشان می‌دهد؛ افزایش سطح کشت محصولات استراتژیک مانند گندم در الگوی بهینه، علاوه بر توجیه اقتصادی، با سیاست‌های کلان امنیت غذایی مندرج در قوانین برنامه ششم و هفتم توسعه همسو است. همچنین این بررسی همسو با مطالعه ی سلجوقی و همکاران (Seljughi *et al.*, 2021) که پس از اعمال محدودیت پنج تا چهل درصد در عرضه آبیاری، سطح زیر کشت کلیه محصولات به جز گندم آبی که اصولا نیاز آبی آن کمتر از دیگر محصولات آبی می‌باشد، کاهش می‌یابد. درکشت‌های پاییزه نسبت به کشت تابستانه به‌دلیل بهره‌مندی از نزولات جوی و همین‌طور تبخیر کمتر آب‌های سطحی و زیرزمینی، معمولا کمتر دچار چالش‌های پیش رو مانند بحران‌های کم آبی هستند. در محصولات تابستانه نیز بیشترین سهم از الگوی کشت برای محصولاتی مانند هندوانه، ذرت دانه‌ای، خیار و سیب‌زمینی می‌باشد. همان طور که در بخش‌های قبل نیز اشاره شد پس از اجرای الگوی کشت پیشنهادی سطح زیر کشت در محصولاتی مانند هندوانه و سیب‌زمینی به علت سودآوری بالا افزایش را نشان می‌دهد. این افزایش اگرچه با هدف حداکثرسازی سود در مدل توجیه می‌شود، اما لزوم اعمال سیاست‌های تنظیمی و ابزارهای اقتصادی (مانند تعرفه آب یا بیمه محصولات کم آب بر) را برای هدایت الگوی کشت به سمت پایداری بلندمدت منابع آب را خاطرنشان می‌سازد. نتایج تحلیل حساسیت نیز تأیید می‌کند که تا آستانه ۲۰ درصد کاهش در

منابع آب، می‌توان با مدیریت هوشمندانه ترکیب محصولات، از کاهش تولید و سود جلوگیری کرد، اما پس از آن، پایداری سیستم به‌طور جدی به خطر می‌افتد. به‌عنوان مثال پس از اجرای سناریوی ۲ و کاهش ۳۰ درصدی آب قابل دسترس، سطح زیر کشت در محصولی مانند خیار حدود ۸۳ درصد کاهش را نشان داد که نتایج حاصل نشان‌دهنده‌ی این مسئله می‌باشد که مدیریت صحیح و بهره‌وری بهینه در کشت‌های تابستانه به‌دلیل شرایط دمایی، نبود بارندگی در منطقه و وجود تنوع زیاد در کشت محصولات آب‌بر باید به‌صورت جدی‌تر پیگیری شود.



شکل ۱- سهم محصولات زراعی در الگوی کشت هر بخش

Figure 1- Share of crops in the cultivation pattern of each sector

از آنجایی‌که هدف مطالعه حاضر بررسی اثر الگوی کشت بهینه بر بهره‌وری انرژی و آب در منطقه دهلران می‌باشد، لذا در ادامه، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و انرژی مربوط به الگوی پایه و پیشنهادی و همین طور نتایج تحلیل حساسیت در سناریو ۱ و ۲ در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی تعیین و با یکدیگر مقایسه شده‌اند، که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است. همان گونه که در جدول ۶ مشاهده می‌شود اجرای الگوی پیشنهادی در منطقه می‌تواند ضمن تأمین اهداف مورد نظر سبب افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و انرژی شود. طبق نتایج جدول ۶ میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی انرژی و آب در الگوی پایه در منطقه به‌ترتیب ۰/۱۱و ۱/۲۲ درصد می‌باشد که با در نظر گرفتن مدل بهینه، میزان این شاخص حدود ۱۰/۱۶ و ۲۲/۰۹ درصد افزایش پیدا می‌کند. در شاخص بهره‌وری فیزیکی هر چه این عدد به یک نزدیک‌تر باشد بهتر است و نشان‌دهنده‌ی این است که به ازای هر واحد انرژی مصرفی، میزان بیشتری تولید صورت گرفته است. همچنین نتایج تحقیق نشان‌دهنده‌ی افزایش بهره‌وری اقتصادی انرژی و آب در الگوی پیشنهادی نسبت به الگوی پایه منطقه می‌باشد. با استفاده از مدل بهینه در منطقه، میزان شاخص بهره‌وری اقتصادی انرژی و آب افزایش پیدا کرده و به ۵۵۱۰/۶۰ و ۶۳۲۰۱/۱۹ ریال بر مگاژول می‌رسد یعنی به ازای هر واحد انرژی اضافی در منطقه حدود ۵۵۱۰/۶۰ ریال و همین طور به ازای هر واحد آب اضافی در منطقه حدود ۶۳۲۰۱/۱۹ ریال به درآمد کشاورزان اضافه خواهد شد.

جدول ٦- نتایج بهره‌وری آب و انرژی در الگوهای پایه و پیشنهادی

Table 6- Water and energy efficiency results in current and multi-objective models

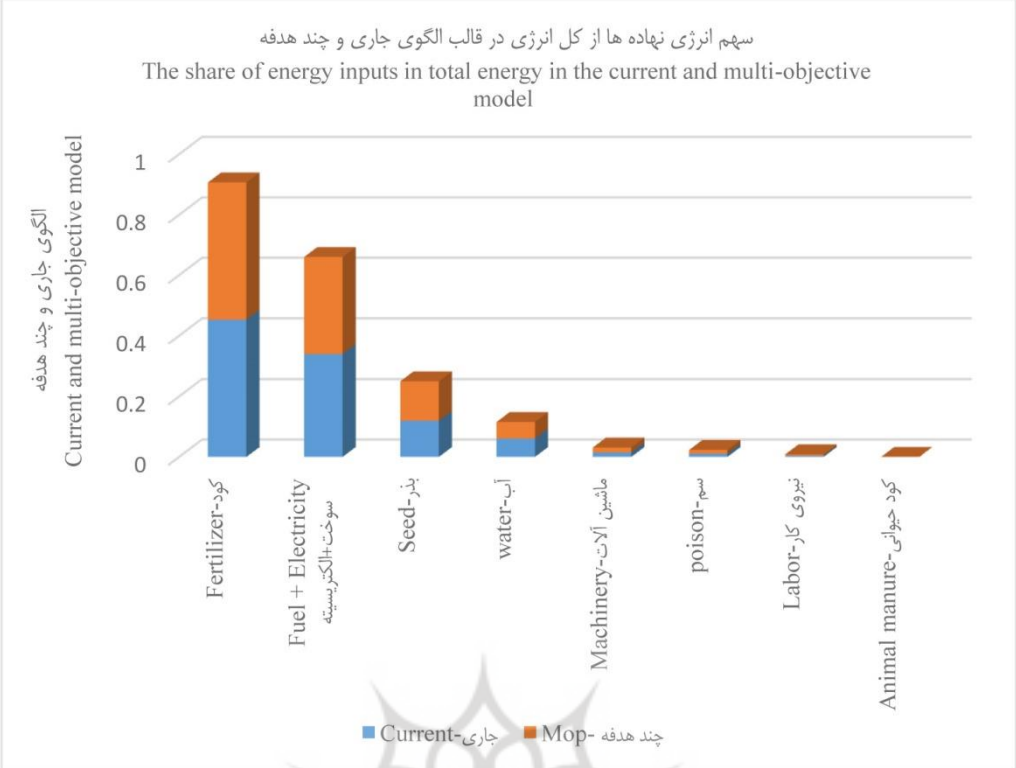
متغیر Variable	الگو Pattern			تحلیل حساسیت Sensitivity analysis			
	پایه Base	پیشنهادی Mop	درصد تغییر Percentage change	سناریو ۱ Senario1	درصد تغییر Percentage change	سناریو ۲ Senario2	درصد تغییر Percentage change
بهره‌وری فیزیکی انرژی Physical energy efficiency (kg/megajoule)	0.118	0.132	10.16	0.128	8.47	0.119	1.42
بهره‌وری اقتصادی انرژی Economic efficiency of energy (Rial/Megajoule)	5182.33	5510.60	6.33	5371.97	3.65	5289.34	2.06
بهره‌وری فیزیکی آب Physical water productivity (kg/cubic meter)	1.22	1.49	22.09	1.58	29.5	1.53	25.4
بهره‌وری اقتصادی آب Economic efficiency of water (rial/cubic meter)	53629.83	63201.19	17.84	66278.45	23.58	67912.8	26.63

منبع: یافته‌های تحقیق

Source: Research finding

این نتایج هم‌راستا است با مطالعه بدیعی برزین و همکاران (Badie Barzin *et al.*, 2024)، که به ارائه‌ی ارزیابی یک مدل پیشنهادی چند هدفه با رویکرد همبست آب، انرژی و غذا برای بهبود در بهره‌وری آب و انرژی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده‌ی افزایش بهره‌وری آب و انرژی در مدل چند هدفه در دشت سیستان می‌باشد. همچنین می‌توان اذعان نمود، با توجه به جدول ۵ که میزان افزایش سطح زیر کشت و سود ناخالص چندان چشمگیر به نظر نمی‌رسید ولی با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۶، این الگوی پیشنهادی، افزایش بهره‌وری را نتیجه داده است. که این افزایش بهره‌وری در نهاده آب، می‌تواند همسو با برنامه ششم توسعه در ماده ۳۴ باشد که از جمله اقدامات اجرایی اشاره شده در این ماده، ساماندهی بخش کشاورزی در جهت تغییرات اقلیمی و افزایش بهره‌وری می‌باشد. همچنین نتیجه حاصله منطبق با سیاست های کلی قانون برنامه هفتم پیشرفت می‌باشد که در آن استقرار نظام یکپارچه مدیریت آب کشور و افزایش بهره‌وری حدود ۵ درصد در آب کشاورزی تأکید شده است. نتایج مربوط به بهره‌وری‌های فیزیکی و اقتصاد انرژی و آب با اعمال سناریوهای ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش موجودی آب نشان داد که میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی انرژی، هر چند نسبت به الگوی پایه و پیشنهادی روند کاهشی را دارند ولی همچنان میزان بهره‌وری حاصله مثبت است و اجرای الگوی کشت پیشنهادی حتی با کاهش موجودی آب تا ۳۰ درصد، سبب بهبود بهره وری می‌گردد. این در حالی است که با کاهش میزان آب، بهره‌وری فیزیکی آب با اجرای الگوی پیشنهادی و با اعمال سناریوهای اول (۲۰ درصد کاهش موجودی آب) و دوم (۳۰ درصد کاهش موجودی آب) روند افزایشی را به خود می‌گیرد و به‌ترتیب ۲۲/۰۹، ۲۹/۵ و ۲۵/۴ درصد افزایش بهره‌وری را نشان می‌دهند و این روند در بهره‌وری اقتصادی آب ۱۷/۸۴، ۲۳/۵۸و ۲۶/۶۳ درصد می‌باشد.

در شکل ۲ سهم هر یک از نهاده‌ها از کل انرژی مصرفی نشان داده شده است. طبق شکل ۲ در الگوی پیشنهادی، بیشترین مصرف منبع انرژی ورودی مربوط به کود شیمیایی با بالاترین سهم از کل منابع انرژی حدود ۰/۴۴ درصد می‌باشد؛ که نسبت به الگوی پایه حدود ۰/۲ افزایش را نشان می‌دهد. این نتایج می‌تواند نشان‌دهنده‌ی مصرف بالای کود شیمیایی در منطقه باشد که با گزارش ارائه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام مبنی بر میزان بالای توزیع و مصرف کود در منطقه مورد نظر در سال ۱۴۰۱ منطبق می‌باشد. در شکل ۲ انرژی نهاده سوخت و برق با سهمی حدود ۰/۳۳ درصد در اولویت دوم می‌باشد. این در حالی است که میزان استفاده از نهاده سوخت و برق در مدل بهینه نسبت به جاری حدود ۵/۸۸ درصد کاهش دارد. لازم به ذکر است که به استناد ماده ۴۶ قانون برنامه هفتم پیشرفت، سهم بخش صنعت و کشاورزی از صرفه‌جویی انرژی، ۲۶ درصد تعیین شده است. همچنین پایین‌ترین سهم از کل انرژی مصرفی نیز مربوط به منبع انرژی کود حیوانی و نیروی‌کار می‌باشد. نتایج این تحقیق با نتایج مطالعاتی همچون (Hormozi *et al.*, 2016; Mardani *et al.*, 2016; Ghaderzadeh & Pirmohammadiani, 2019; Habibi *et al.*, 2024) مبنی بر اینکه نهاده‌هایی مانند کود شیمیایی، سوخت و برق معمولاً بالاترین سهم را ازکل منابع مصرف انرژی داشته‌اند، همسو می‌باشد.



شکل ۲- میزان مصرف هریک از منابع انرژی در قالب الگوی جاری ئ بهینه حاصله از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی

Figure 2- Consumption of each energy source in the form of an optimal current pattern derived from mathematical programming models

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در سال‌های اخیر منابعی مانند آب و انرژی به‌عنوان عوامل مهم تولید، اهمیت قابل ملاحظه‌ای در بخش تولید کشاورزی را به خود اختصاص داده‌اند. بازنگری در الگوی کشت در مناطق مختلف کشور بر اساس بهره‌وری منابع مهمی چون آب و انرژی، می‌تواند نقش مهمی را در صرفه‌جویی از این منابع ایفا کند؛ تا ضمن در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی بتوان به یک الگوی کشت بهینه و پایدار دست یافت. در مطالعه حاضر بر اساس ضرورت تحقیق از مدل برنامه ریزی چندهدفه استفاده شد. با اجرای الگوی کشت بهینه، متغیرهای مهمی مانند سطح زیر کشت کل، تولید کل، سود ناخالص، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و همین‌طور بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی انرژی به‌ترتیب به میزان ۳/۸۵، ۸/۴۸، ۴/۷۰، ۲۲/۰۹، ۱۷/۸۴، ۱۰/۱۶ و ۶/۳۳ افزایش را نشان می‌دهد. اگرچه اجرای الگوی کشت بهینه همواره با مشکلاتی همراه است لذا، اجرا باید به‌صورت تدریجی انجام گیرد و حمایت‌های مناسبی نیز از جانب دولت، نهادهای وابسته به کشاورزی همچون اداره جهاد کشاورزی و شرکت‌های خدمات حمایتی کشاورزی در منطقه به‌عنوان مشوق به کشاورزان اجرا کننده این الگوی پیشنهادی، اعطا گردد. این مشوق‌ها می‌تواند حمایت‌های تأمین نهاده و یا ارائه یارانه برای نهاده‌های مصرفی این کشاورزان به‌ویژه برای تأمین بذر در کشت ارقام کم‌آب‌بر باشد همچنین شرکت‌های خدمات حمایتی کشاورزی در منطقه می‌بایست با ارائه تسهیلات کم‌بهره و پوشش بیمه‌ای مناسب، این کشاورزان را به کاهش تدریجی سطح کشت محصولات پرآب‌بر و جایگزینی با محصولات کم آب‌بر و با ارزش افزوده بالا ترغیب نمایند. در زمینه مصرف آب و انرژی، الگوی کشت پیشنهادی توانست سبب صرفه‌جویی به میزان ۱۱/۱۴و ۱/۵۲ درصد شود. با اجرای این الگو و مدیریت صحیح می‌توان به صرفه‌جویی‌های مناسبی در زمینه مصرف آب رسید. بهره بردن از مدل‌های بهینه در منطقه می‌تواند ضمن افزایش سود ناخالص در منطقه، سبب کاهش در مصرف آب و انرژی و همین طور افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی در منطقه شود.

در این راستا پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

– به‌عنوان یک اقدام کوتاه مدت در اصلاح الگوی کشت و دستیابی به بهره‌وری، سازمان جهاد کشاورزی می‌بایست نسبت به برگزاری کارگاه‌های آموزشی–ترویجی برای کشاورزان پیشرو در منطقه دهلران اقدام نماید. در راستای کاربردی بودن این کارگاه‌ها، باید محتوی این کارگاه‌ها بر مواردی همچون بیان مزایای اقتصادی الگوی کشت

پیشنهادی و روش‌های کاهش مصرف کود شیمیایی (مانند استفاده از آزمون خاک و توصیه‌ی به موقع کود)، لزوم بهره‌وری در استفاده از تمامی عوامل تولید متمرکز باشد.

– با توجه به مسئله موجود در منطقه مبنی بر تخصص نهاده‌های کود و سموم شیمیایی توسط شهرستان دهلران به بخش‌های آن، در راستای مدیریت مقادیر توزیع و بهبود بهره‌وری پیشنهاد می‌گردد که اداره حفظ نباتات و اداره آب و خاک جهاد کشاورزی شهرستان، موظف شوند سیستم نظارتی خود بر توزیع کودهای شیمیایی را تقویت کرده و میزان توزیع و مصرف کود را با استفاده از سامانه پایش هوشمند (مانند ثبت خرید کود شیمیایی توسط کشاورزان با کارت شناسایی) ردیابی و با توصیه‌های فنی مقایسه نمایند.

– همچنین به‌عنوان یک راهکار میان‌مدت، پیشنهاد می‌شود استانداری ایلام با تخصیص اعتبار، اجرای پایلوت الگوی کشت پیشنهادی در سطح چند روستا را با نظارت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی استان در دستور کار قرار دهد تا نتایج آن برای سایر کشاورزان به‌عنوان الگو قابل مشاهده باشد.

– پیشنهاد می‌گردد، شرکت آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی استان با همکاری یکدیگر، پروژهای نوسازی و بهینه‌سازی کانال‌های آبیاری و توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار در اولویت قرار دهند. البته این امر مستلزم تخصیص اعتبارات ملی و استانی ویژه برای شهرستان دهلران است. ولی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار بلندمدت در دستیابی به هدف اصلاح الگوی کشت و بهبود بهره‌وری کمک کننده باشد.

افزون برآن، پیشنهاد می‌شود وزارت جهاد کشاورزی با اختصاص یارانه هدفمند، کشاورزان را به استفاده از ماشین‌آلات مدرن کاشت، داشت و برداشت و سامانه‌های مانیتورینگ هوشمند مصرف آب و انرژی مجهز نماید تا بهره‌وری به‌صورت پایدار افزایش یابد.

اجرای این پیشنهادات در چارچوب زمانی تعریف شده و با مسئولیت‌پذیری نهاده‌های مربوطه، می‌تواند پایداری نظام کشاورزی شهرستان را تضمین کرده و آن را به الگویی موفق برای دیگر مناطق با شرایط مشابه تبدیل کند.

لازم به توضیح است که این مطالعه با در نظر گرفتن شرایط قطعی و ایستا انجام شده است. از مهم‌ترین محدودیت‌های آن، می‌توان به عدم در نظرگرفتن ریسک قیمت و تولید و عدم قطعیت (نظیر نوسانات قیمت محصولات و نهاده‌ها) و استاتیک بودن مدل (عدم در نظرگیری اثرات پویایی و بین دوره‌ای تصمیمات) اشاره کرد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، با استفاده از مدل‌هایی همچون مدل برنامه ریزی ریاضی تصادفی، الگوی کشت با لحاظ تمامی نااطمینانی‌ها و عدم قطعیت در قیمت‌ها (محصول و نهاده) و شرایط اقلیمی تعیین شود. همچنین پیشنهاد می‌شود با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی پویا، اثرات بلندمدت تغییر الگوی‌کشت بر وضعیت آب‌های زیرزمینی و سلامت خاک بررسی و ریسک تغییر اقلیم به‌عنوان یک پارامتر کلیدی در سناریوهای مدل‌سازی تعیین الگوی کشت گنجانده شود.

References

1. Agricultural Jihad Organization of Ilam Province. Statistical Report. (2022). (In Persian). http://ilam.maj.ir
2. Aliabadi, H., Alizadeh, A., & Erfani, A. (2015). Energy and water productivity under different irrigation systems, (Case study of corn in Jovain agro-industry) *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *4*(9), 571-582. (In Persian). http://idj.iaid.ir/article_55081.html
3. Akcaoz, H., Ozcatalbas, O., & Kizilay, H. (2009). Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, *7*, 475-480.
4. Ahani, A., Ziaei, S., Mohammadi, S., Mardani Najafa Abadi, M., & Mirzaei, A. (2023). Proposing a multi-objective planning model with a water, energy and food integration approach for crop production. *Journal of Agricultural Economics and Development*, *37*(1), 102-83. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jead.2022.77691.1147
5. Anoushepour, A., Moghaddisi, R., Mohammadinejad, A., & Yazdani, S. (2020). The relationship between energy consumption and total factor productivity in agriculture: Application of quantile regression approach. *Iranian Journal of Energy Economics*, *10*(34), 65-85. (In Persian). https://doi.org/10.22054/jiee.2021.56060.1789
6. Alipour, A. (2018). Crop production planning model combining economic and environmental priorities. Case study: Varamin Agricultural Complex. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 28*(1), 186-198. (In Persian). https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_7352.html
7. Alimardani, A., Keshavarz, M., Karami, R., & Ebrahimi, M. (2019). Assessing the priority and effectiveness of strategies to water productivity promotion and comprehensive development of agricultural sector in development programs: A case study of Qazvin province of Iran. *Journal of Agricultural Economics and Development*, *28*(112), 59-91. (In Persian). https://doi.org/10.30490/aead.2021.342671.1227
8. Azizpanah, A., Yousefinejad, Sh., & Fathi, R. (2019). Evaluation of economic, energy and greenhouse gas emission indicators in watermelon production: a case study (Ilam province). *Journal of Crop Production, 13*(2), 37-50. (In Persian). https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.17613.2297
9. Badie Barzin, H., Hosseini, M., Hashemi Tabar, M., & Mardani Najafa Abadi, M. (2024). Evaluation of a proposed multi-objective model with a water, energy and food interdependence approach for improving water andenergyproductivity. *Journal of Agricultural Economics*, *18*(2), 38-1. (In Persian).

https://doi.org/10.22034/IAES.2023.1990874.1982
10. Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., & Ozmerzi, A. (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey. *Energy Conversion and Management, 46*, 6-666-55. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.04.008
11. Chen, J.F., Yu, X.Y., Qiu, L., Deng, M.H., & Dong, R. (2018). Study on vulnerability and coordination of water-energy-food system in North West China. *Sustainability*, *10*, 3712. https://doi.org/10.3390/su10103712
12. Demir, M.S., & Muratoglu, A. (2025). Optimization of agricultural crop pattern based on water footprint methodology. *Integrated Environmental Assessment and Management*, vjaf063. https://doi.org/10.1093/inteam/vjaf063
13. Darzi-Naftchali, A., Motevali, A., Layani, G., Keikha, M., Bagherian-Jelodar, M., Nadi, M., & Pirdashti, H. (2024). Optimizing cropping pattern through reducing environmental issues and improving socio-economic indicators. *Environment, Development and Sustainability*, *26*(5), 13041-13068. https://doi.org/10.1007/s10668-023-04074-3
14. Duan, B., Shen, Y., Liu, Z., Zhao, Z., Li, J., Zhai, Y., & Chen, Y. (2025). Optimizing crop configuration with genetic algorithm to improve water-energy-food-economy nexus in Southern Xinjiang. *Farming System*, 100170. https://doi.org/10.1016/j.farsys.2025.100170
15. Goodarzi, M., Ghadbiklu, J., Ghadiri, A., & Khodshenas, M. (2023). Determining the optimal cropping pattern based on the multiple objectives of water, energy, food and economic profit indices (Case study: Markazi Province - Farahan Plain). *Journal of Water and Soil*, *37*(2), 187-202. (In Persian with English abstract). https://jsw.um.ac.ir
16. Ghaderzadeh, H., & Pirmohamadyani, Z. (2019). Evaluation efficiencies of energy for potato production in Hamedan Province of Iran. *Agricultural Economics Research*, *11*(42), 167-202. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086407.1398.11.42.8.5
17. Ghanbari, A., Khaksar-Astaneh, S., & Khaksar-Astaneh, H. (2014). Study of factors affecting energy efficiency in the agricultural sector of Iran. *Journal of Agricultural Economics Research*, *6*(1), 21-1. (In Persian). https://sid.ir/paper/158585/fa#downloadbottom
18. Hang, M.Y.L.P., Martinez-Hernandez, E., Leach, M., & Yang, A. (2016). Designing integrated local production systems: a study on the food-energy-water nexus. *Journal of Cleaner Production*, *135*, 1065-1084 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.194
19. Habibi, S., Khoshroosh, M., & Khajeh Balagh, R. (2024). Analysis of physical water and energy productivity indices of alfalfa and barley crops in two different climates. *Journal of Water and Soil*, *38*(1), 36-23. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2024.85576.1360
20. Hormozi, M., Abdeshahi, A., Amin Asodar, M., & Barva, D. (2016). Energy consumption pattern of rice production systems in Khuzestan Province. *Iranian Journal of Agricultural Research*, *35*(2), 47-56. (In Persian with English abstract). https://www.magiran.com/p1602961
21. Hacısuleyman, V., & Ozger, M. (2024). Multi-objective cropping pattern optimization and comparative assessment with the food-energy-water nexus. *Water Supply*, *24*(12), 4077-4093. https://doi.org/10.2166/ws.2024.254
22. Jamshidlo, R., & Nasiri, P. (2025). Determining the optimal cultivation pattern considering economic, social and environmental constraints (Case study: Abhar Plain)). *Journal of Agricultural Economics*, *18*(2), 149-172. (In Persian). https://doi.org/0.22034/iaes.2024.2008970.2012
23. Jahantig, H. (2023). Optimization of agricultural crop cultivation patterns in order to manage water consumption in Gorgan County. *Iranian Scientific Research Journal of Irrigation and Water Engineering*, *12*(47), 369-384. (In Persian). https://civilica.com/doc/1423419
24. Kaltsas, A.M., Mamolos, A.P., Tsatsasarelis, C.A., Nanos, G.D., & Kalburtji, K.L. (2007). Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, *122*, 243-251. https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.01.017
25. Kizilaslan, h. (2009). Input-output energy analysis of cheey production in tokat province of turkey applied energy, *86*, 1358-1354. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.07.009
26. Kiani, A. (2015). Water productivity and methods of improving it. Karaj Agricultural Research, Education and Extension Organization. *Agricultural Education Publication*. (In Persian). https://civilica.com/doc/1053478
27. Kitani, O. (1999). CIGR handbook of agricultural engineering.*Energyand biomass engineering*, vol 5. St Joseph. MI: ASAE Publication. https://doi.org/10.13031/2013.36426
28. Kazemi, A., Mehregan, M., & Shakouriganji, H. (2011). Presenting a multi-objective planning model for optimal allocation of energy resources in Iran. *Journal of Industrial Management*, *3*, 45-28. (In Persian). https://jimp.sbu.ac.ir/article_87364.html
29. Karimzadeh, M., Alizadeh, A., Ansari, H., Ghorbani, M., & Banyan Awal, M. (2016). Optimization of water productivity and energy efficiency in cropping pattern selection. *Journal of Irrigation and Drainage in Iran*, *10*(69), 849-859. (In Persian). https://idj.iaid.ir/article_55482.html
30. Karimi, F., Ghahderijani, M., & Bakhoda, H. (2024). Optimizing cropping patterns and resource allocation for

sustainable agricultural development: A case study of Ilam province, Iran. *Environmental and Sustainability Indicators*, *23*, 100464. https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100464

31. Mardani, M., Nikoei, A., Ziaei, S., & Ahmadpour, M. (2016). Codifying regional cropping pattern of agricultural and horticultural products in Isfahan province: Multi-objective structural planning approach. *Journal of Agricultural Economics and Development*, *30*(3), 186-206. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jead2.v30i3.53749
32. Mardani Najafabadi, M., & Ashktorab, N. (2022). Mathematical programming approaches for modeling a sustainable cropping pattern under uncertainty: a case study in Southern Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 1-25. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02458-5
33. Marzban, Z., Asgharipour, M.R., Ghanbari, A., Ramroudi, M., & Seyedabadi, E. (2022). Determining cropping patterns with emphasis on optimal energy consumption using LCA and multi-objective planning: a case study in eastern Lorestan Province, Iran. *Energy, Ecology and Environment*, *7*(5), 489-507. https://doi.org/10.1007/s40974-021-00211-8
34. Li, M., Fu, Q., Singh, V.P., Ji, Y., Liu, D., Zhang, C., & Li, T. (2019). An optimal modelling approach for managing agricultural water-energy-food nexus under uncertainty. *Science of the Total Environment*, *651*, 1416-1434. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.291
35. Ministry of Agricultural Jihad. (2022). Collection of documents related to the national and strategic document for food security development, explaining the country's water situation. (No. 8). Agricultural Research, Extension and Education Organization. Education Publication. (In Persian). http://maj.ir
36. Ozkan, B., Akcaoz, H., & Fert, C. (2004). Energy input- output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, *29*(1), 39-51. https://doi.org/10.1016/s0960-1481(03)00135-6
37. Parliamentary Research Center.(2022) . https://rc.majlis.ir
38. Piri, H., & Heydari, M. (2019). Determining the economic value and water efficiency of major crops in Iranshahr. *Journal of Agricultural Economics Research*, *13*(2), 217-234. (In Persian). https://civilica.com/doc/1906847
39. Rathke, G.W., & Diepenbrock, W.(2007). Energy balance of winter oil seed rape cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of Agronomy*, *24*, 35-44. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.04.003
40. Saljughi, Sh., Salarpor, M., Ahmadpor, M., & Sargezi, A. (2021). Determining the optimal cropping pattern with emphasis on water resources limitation in Arzuiyeh County. *Journal of Agricultural Economics and Development*, *9*(113), 2-24. (In Persian). https://doi.org/10.30490/aead.2021.252457.0
41. Styakam, A., Dhanraj, R., & Yogendra, Sh. (2023). Regional sustainability of food-energy-water nexus considering water stress using multi-objective modeling and optimization. *Computer Aided Chemical Engineering*, *52*, 3239-3234. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15274-0.50516-3
42. Sabohi, M., & Alvanchi, M. (2008). Application of multi-objective and consensus planning in agricultural planning: A case study of Khorasan Razavi. *Agricultural Sciences and Natural Resources*, *15*(3), 15-1. (In Persian). https://profdoc.um.ac.ir/1044156.html
43. Soltani, A., Mirkarimi, S., Joolaie, R., Eshraghi, F., & Mirzaei, A. (2024). Adaptation to water scarcity in the country's crop production through cropping pattern optimization. *Journal of Crop Production*, *17*(4), 125-148. (In Persian). https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.23162.2655
44. Singh, A. (2022). Judicious and optimal use of water and land resources for long-term agricultural sustainability. *Agricultural and Food Engineering Department*, *13*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200067
45. Singh, S., Bhushan, L., Ladha, J.K., Gupta, R.K., Rao, A.N., & Sivaprasad, B. (2006). Weed management in dry-seeded rice (*Oryza sativa*) cultivated on furrow irrigated raised bed planting system. *Crop Protection*, *25*, 487–495. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.08.004
46. Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, Lewis, M.K.A., & Jaggard, K. (2005). An asessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production in the UK. *Agricultural System*, *85*, 101–119. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.07.015
47. Taherzadeh-Shalmaei, N., Rafiee, M., Kaab, A., Khanali, M., Vaziri Rad, M., & Kasaeian, A. (2023). Energy audit and management of environmental GHG emissions based on multi-objective genetic algorithm and data envelopment analysis: Anagriculture case. *Energy Reports*, *10*, 1507–1520. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.08.020
48. Teymur-Rad, R., Sabohi, M., & Mohammadi, H. (2014). Optimization of energy use in agricultural Sector in Kashmar District. *Journal of Agricultural Economics and Development*, *22*(87), 86-98. (In Persian). https://doi.org/10.30490/aead.2014.58939
49. Vahedi, A. (2019). Energy consumption assessment and economic analysis of irrigated wheat production in Iran. *Journal of Grain Research*, *9*(2), 115-128. (In Persian). https://doi.org/10.22124/c.2019.13193.1489
50. Wu, P., Wang, Y., Shao, J., Yu, H., Zhao, Z., Li, L., & Wang, T. 2024. Enhancing productivity while reducing water footprint and groundwater depletion: Optimizing irrigation strategies in a wheat-soybean planting system. *Field Crops Research*, *309*, 109331. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109331
51. Xu, Y., Tan, J., Wang, X., Li, W., He, X., Hu, X., & Fan, Y. (2022). Synergetic management of water-energy-

food nexus system and GHG emissions under multiple uncertainties: An inexact fractional fuzzy chance constraint programming method. *Agricultural Water Management*, *262*, 107323. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107323

52. Ye, Z., Miao, P., Li, N., Wang, Y., Zhang, W., & Yin, S. (2023). Optimizing water efficiency and energy productivity in choosing a cropping pattern. *Water Supply*, *23*(7), 2899-2906.http:// doi.10.2166/ws.2023.148

53. Zare Bidaki, R., & Nowrouzi, S. (2025). Optimization of water and land resources in the cultivation of major agricultural crops in Chaharmahal Bakhtiari Province. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *3*(19), 373-382. (In Persian). https://idj.iaid.ir/article_219716.html

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی