Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 3, Fall 2025, p. 109-123

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Determining the proposed cropping pattern Major crops using the water, energy and food index (case study: Irrigation and Drainage Network of Varamin Plain)

E. Abiar[1] and M. Mashal[2*]

1- Graduated student of Water Engineering Department, Aburaihan Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Tehran, Iran.
2- Corresponding Author, Associate Professor of Water Engineering Department, Aburaihan Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Iran (mmashal@ut.ac.ir).*

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 27 July 2024
Revised: 10 November 2024
Accepted: 12 November 2024
Available online: 05 November 2025

Keywords:
Cultivation composition, WEF, productivity, Varamin irrigation and drainage network, Nexus.

TO CITE THIS ARTICLE:

Abiar, E., Mashal, M. 2025. 'Determining the proposed cropping pattern Major crops using the water, energy and food index (case study: Irrigation and Drainage Network of Varamin Plain)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 48(3), pp. 109-123. doi: 10.22055/jise.2024.47552.2130

Abstract

With the increase in the world population, access to sufficient food, sufficient water and energy resources has become the most important global challenge and concern in recent decades. Providing sufficient food has caused significant pressure on water and energy resources. Agriculture, as the largest source of food production, is the most important consumer of water and energy, so a balance must be created between consumption and production. In this study, six indicators of water consumption, energy consumption, water mass productivity, energy productivity, water economic productivity, energy economic productivity and finally the Water, Energy, Food (WEF) index were used to determine the proposed cultivation pattern of five important agricultural crops of the Varamin irrigation network in the crop year (2020-2021). The results of data analysis showed that the calculated WEF for wheat, barley, alfalfa, silage corn and canola were 0.28, 0.32, 0.11, 0.87 and 0.33 respectively, with silage corn having the highest and alfalfa having the lowest index. Considering the overall WEF index, a cropping pattern was proposed for the crops of the Varamin irrigation network. Considering the proposed cropping pattern, the cultivated area of alfalfa, wheat and barley decreased and the cultivated area of canola and silage corn increased.

Introduction

With the increase in the world population, access to sufficient food, sufficient water and energy resources has become the most important global challenge and concern in recent decades. Providing sufficient food has caused significant pressure on water and energy resources. Agriculture, as the largest source of food production, is the most important consumer of water and energy, so a balance must be created between consumption and production. In this study, six indicators of water consumption, energy consumption, water mass productivity, energy productivity, water economic productivity, energy economic productivity and finally the Water, Energy, Food (WEF) index were used to determine the proposed cultivation pattern of five important agricultural crops of the Varamin irrigation network in the crop year (2020-2021). The results of data analysis showed that the calculated WEF for wheat, barley, alfalfa, silage corn and canola were 0.28, 0.32, 0.11, 0.87 and 0.33 respectively, with silage corn having the highest and alfalfa having the lowest index. Considering the overall WEF index, a cropping pattern was proposed for the crops of the

Varamin irrigation network. Considering the proposed cropping pattern, the cultivated area of alfalfa, wheat and barley decreased and the cultivated area of canola and silage corn increased.

Methodology

In this research, water consumption- Energy consumption indicator- Water mass productivity-Energy mass productivity- Water economic productivity and Energy economic productivity indicators were used for the mutual influence of resource consumption, productivity, and financial issues in agricultural activities to plan the cropping pattern. The study area is in Varamin City, limited to Peshwa and Pakdasht cities from the northeast, Qarchak city from the northwest, Ray city from the west, Qom province from the south, and Semnan province from the southeast and east. Varamin Plain has always been very popular for various reasons, such as suitable climate, fertile and suitable soil, proximity to the consumption market, and it is considered an important hub for agriculture in Tehran province. The Varamin Plain is located in the northern part of Iran and on the southern slopes of Alborz, which is located about 40 kilometers southeast of Tehran at 51 degrees and 40 minutes east longitude and between 35 degrees and 5 minutes and 35 degrees and 30 minutes north latitude. (Omran Gostar Maharab Consulting Engineers Company, 2014). In this study, the data of water requirement, cultivated area, yield of crops, and average cost of production of one hectare of crops by separating the different stages of cultivation, and selling price of crops from 2019 to 2020 were used. Available data were collected from the Ministry of Agricultural Jihad's system https://www.maj.ir, referring to the experts of the Regional Water Organization and Agricultural Jihad of Varamin City.

Results and Discussion

The main purpose of this study was to determine the proposed cropping pattern using WEF indices. In this research, all indicators of water, energy, and food were combined and calculated to create an integrated WEF nexus index. For this purpose, all the indices used in this study were normalized and converted into dimensionless indices using the Min-Max Normalization method. Then the mentioned indices were calculated and used to evaluate the WEF index. Then the WEF index was calculated for the studied crops in the Varamin irrigation network and its results are shown in Table (1). The values of this index, from the highest to the lowest, respectively, silage corn, canola, barley, wheat, and alfalfa with 0.87, 0.33, 0.32, 0.28, and 0.11. Compared to other studied crops, silage corn obtained the highest Water economic productivity, energy economic productivity, as well as Water mass productivity, and Energy mass productivity. The highest value of the WEF index for silage corn was equal to 0.87. on the other hand, alfalfa has the lowest WEF score due to high economic productivity and good performance per unit of water consumed, but due to high consumption of water and Energy. The results of this research showed that if the proposed cultivation model is implemented in the lands of Varamin irrigation network, the cultivated area of crops such as canola, which has low water consumption, will increase; and the area under cultivation for crops such as alfalfa, which require a lot of water, will decrease. As a result, the annual water consumption will decrease by 3.7%. The findings of this research also showed that if the model is implemented, energy consumption will decrease by 14.7%. Based on the proposed model, the economic efficiency of water will increase by 35% and the economic efficiency of energy will increase by 38.2% .

Table 1- The values of the WEF index and the normalized values of the different indices applied in the WEF nexus index for the agricultural products of the Varamin irrigation network

Indicators	Wheat	Barely	Alfalfa	Silage corn	canola
WC	0.88	1.00	0.00	0.75	0.97
EC	0.51	0.62	0.00	0.49	1.00
EMP	0.06	0.06	0.17	1.00	0.00
WMP	0.09	0.10	0.13	1.00	0.00
EE	0.02	0.03	0.18	1.00	0.00
WE	0.09	0.11	0.16	1.00	0.00
WEF	0.28	0.32	0.11	0.87	0.33

Conclusions

This research was carried out to investigate and to evaluate the Integrated Water, Energy and Food Index (WEFNI), in irrigation networks to increase the productivity and also to determine the proposed cropping pattern using WEFNI. The range of WEF changes in the studied crops was 0.87 (highest score) for silage corn and 0.11 (lowest score) for alfalfa. Alfalfa has the highest amount of water consumption and canola has the lowest amount. Due to the limited water resources, we should go towards the cultivation of crops that have the lowest annual water consumption. Silage corn and canola had the highest and lowest Water economic productivity index. Based on the proposed cropping pattern, the economic water productivity index increases by 35%. The results of this study showed that optimizing the allocation of agricultural land area improves the yield of farm products and leads to greater profitability, one of the most important patterns considered by agricultural officials, which is called sustainable agriculture.

Acknowledgements

It is necessary to express our gratitude to the Regional Agricultural and Water Jihad Organization of Varamin County, as well as to all those who have accompanied us on this path.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

Data Availability Statement: All information and results are presented in the text of the article.

Authors' contribution

First Author: Ershad Abiar, **(**Writing the article and Data analysis and analysis) 50%
Second Author: Mahmoud Mashal, **(**Reviewing the results and approving the content) 50 %

References

1- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). World Population Prospects: The 2015 Revision, Volume I: Comprehensive Tables (ST/ESA/SER.A/379).

2- Maharab Omran Gostar Consulting Engineers Company, 2014. Report on the review and remediation studies of the irrigation and drainage network of the Varamin Plain.

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

علوم و مهندسی آبیاری جلد ٤٨، شماره‌ی۳، پاییز ١٤٠٤، مقاله پژوهشی، ص. ۱۲۳-۱۰۹

تعیین الگوی کشت پیشنهادی محصولات عمده زراعی با استفاده از شاخص آب، انرژی و غذا (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت ورامین)

ارشاد آبیار[۱] و محمود مشعل[۲*]

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲*- نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان ، دانشگاه تهران، ایران. (mmashal@ut.ac.ir)

دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۶ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲ انتشار: ۱۴۰۴/۰۸/۱۴

چکیده

با افزایش جمعیت جهانی دسترسی به غذای کافی، آب کافی و منابع انرژی، به مهم‌ترین چالش و نگرانی جهانی در چند دهه أخیر تبدیل شده است. تأمین غذای کافی باعث فشار قابل توجهی بر منابع آب و انرژی شده است. کشاورزی به‌عنوان بزرگترین منبع تولید مواد غذایی مهم‌ترین مصرف‌کننده بخش آب و انرژی است، بنابراین باید تعادل و توازنی بین مصرف و تولید ایجاد شود. در این مطالعه از شش شاخص مصرف آب، مصرف انرژی، بهره‌وری جرمی آب، بهره‌وری انرژی، بهره‌وری اقتصادی آب، بهره‌وری اقتصادی انرژی و در نهایت شاخص آب، انرژی، غذا (WEF) برای تعیین الگوی کشت پیشنهادی پنج محصول مهم زراعی شبکه آبیاری ورامین در سال زراعی (۱۴۰۰-۱۳۹۹) استفاده شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که WEF محاسبه شده برای گندم، جو، یونجه، ذرت علوفه‌ای و کلزا به‌ترتیب ۰/۲۸، ۰/۳۲، ۰/۱۱، ۰/۸۷ و ۰/۳۳ بود که، ذرت علوفه‌ای بیشترین و یونجه کمترین میزان این شاخص را داشت. با توجه به شاخص کلی WEF یک الگوی کشت برای محصولات شبکه آبیاری ورامین پیشنهاد شد. با توجه به الگوی کشت پیشنهادی سطح زیر کشت محصولات یونجه، گندم و جو کاهش و سطح زیر کشت کلزا و ذرت علوفه‌ای افزایش یافت.

کلید واژه‌ها: ترکیب کشت، WEF، بهره‌وری، شبکه آبیاری و زهکشی ورامین، همبست.

مقدمه

روند افزایش روزافزون جمعیت و افزایش نیازهای غذایی باعث افزایش تقاضا برای مواد غذایی و محصولات کشاورزی شده است. طبق گزارش FAO، برای ارضای تقاضای رشد جمعیت تا سال ۲۰۵۰، بخش کشاورزی باید تولید خود را ۶۰ درصد افزایش دهد. این افزایش مستمر جمعیت با سایر تغییرات و دگرگونی‌ها ترکیب می‌شود و باعث می‌شود که مردم از روستاها به شهرها مهاجرت کنند، در نتیجه نیاز به غذا، آب و انرژی به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. در حال حاظر نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ به ۶۰ درصد برسد (United Nations, 2015). این موضوع فشار و حساسیت قابل توجهی بر سیستم‌های آب، انرژی و مواد غذایی موجود در بسیاری از نقاط جهان ایجاد کرده است (Zhang et al, 2019). غذا، آب و انرژی به هم مرتبط هستند و مدیریت یکی از آن‌ها را نمی‌توان به‌صورت مجزا در نظر گرفت، بلکه باید به‌عنوان بخشی از یک سیستم یکپارچه در نظر گرفته شود (Giampietro et al, 2013). طراحی الگوی کشت محصولات کشاورزی متناسب با نیاز، شرایط اقلیمی و الزامات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، ضمن مدنظر قرار دادن چالش کم آبی، علاوه بر افزایش بهره‌وری منابع پایه (خاک و آب)، می‌تواند در ساماندهی شرایط بازار محصولات کشاورزی نیز نقشی مؤثر ایفا کند. در همین راستا می‌توان گفت الگوی کشت به معنای تعیین نوع گیاه یا محصول مورد کاشت، متناسب با مؤلفه‌های تأثیرگذار در تولید آن محصول است. ازجمله مؤلفه‌های تأثیرگذار می‌توان به شرایط آب و هوایی، فیزیک و شیمیایی خاک، جغرافیا و تنش‌های زیستی و غیرزیستی اشاره کرد. علاوه بر آن موارد دیگری چون عوامل فرهنگی- اجتماعی، مؤلفه‌های اقتصادی، امنیت غذایی، تقاضا و بازار، اشتغال، دانش بوومی و... نیز در تعیین الگوی کشت مناسب منطقه، تعیین‌کننده هستند. هدف از تعیین الگوی کشت می‌تواند به‌کارگیری ظرفیت‌های طبیعی و غیرطبیعی هر منطقه، به نحوی مطلوب در فرآیند تولید محصولات کشاورزی برای ارتقاء عملکرد به شکلی پایدار است (Yousefi et al, 2018). در تحقیقی که توسط Hoseini و Delavar (2020) بر روی شبکه‌های آبیاری حوضه آبریز زاینده‌رود اصفهان انجام شد، با توجه به مصرف آب و انرژی، دو شاخص بهره‌وری آب و بهره‌وری انرژی پیشنهاد شده است. از شاخص ترکیبی همبست آب، غذا و انرژی و مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب (WEAP)، به‌منظور شبیه‌سازی شرایط تخصیص منابع و مصارف حوضه استفاده کردند و مصارف انرژی و الگوی کشت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مشاهده می‌شود که با استفاده از شاخص همبست آب، غذا و انرژی، اولویت سناریوهای مدیریتی

برای هر یک از شبکه‌ها، در مقایسه با کاربرد هر یک از شاخص‌ها به‌طور جداگانه، تغییر کرده است. به‌عنوان نمونه در شبکه نکوآباد از نظر شاخص‌های بهره‌وری نسبی آب، کاهش ۲۰ درصد جریان تحویلی، و انسداد چاه‌ها، به‌عنوان سناریوهای برتر مدیریتی معرفی می‌شود. در حالی که از دیدگاه شاخص بهره‌وری انرژی اولویت سناریوها متمرکز بر انسداد چاه‌ها و مدیریت تقاضا می‌باشد. اما از دیدگاه شاخص ترکیبی و با لحاظ جنبه‌های مختلف مصرف آب، انرژی و بهره‌وری تولید، اولویت‌ها به کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی جریان تحویلی تغییر خواهد کرد. El-Gafy et al (2017) طی پژوهشی روشی برای تصمیم‌گیرندگان برای تجزیه و تحلیل همبست آب، غذا و انرژی سیستم تولید محصول و انجام یک ارزیابی کمی از آن ارائه کرد. از طریق روش پیشنهادی، شاخص‌هایی با در نظر گرفتن مصرف آب و انرژی، بهره‌وری جرمی و بهره‌وری اقتصادی پیشنهاد شد. بر اساس این شاخص‌ها، شاخص همبست آب، غذا و انرژی (WFENI) انجام شد. تجزیه و تحلیل همبست آب، غذا و انرژی ۴۲ محصول مصر در سال ۲۰۱۰ انجام شد. این مطالعه نشان داد که WFENI محاسبه شده در محصولات تابستانی مصر دارای امتیازهایی است که از ۰/۲۱ تا ۰/۷۹ متغیر است. شاخص WEFNI را می‌توان برای استراتژی‌های توسعه یافته برای الگوی کشت بهینه به کار برد که مصرف آب و انرژی را به حداقل می‌رساند و بهره‌وری آن‌ها را به حداکثر می‌رساند. در تحقیق دیگری که توسط Ghorbani et al (2020)، در شبکه‌های آبیاری قزوین انجام شد، از رویکرد دینامیک سیستم‌ها برای بررسی ساختارهای موجود بین منابع آب، انرژی و غذا استفاده و روابط علت و معلولی بین آن‌ها به‌صورت مدل مفهومی ارائه شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها، می‌توان مکانیزم‌های مؤثر در همبست آب، غذا و انرژی را از دید تولید محصول و مطلوبیت آن‌ها در سطح شبکه‌های آبیاری شناسایی و آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داد. در یک مطالعه El-Gafy et al (2017) برای به‌دست آوردن سطح کشت بهینه محصولات در کشور یونان دو روش همبست و غیر همبست (Non-Nexus) را به‌کار برد. روش‌های همبست و غیرهمبست برای ارائه یک الگوی کشت بهینه که پارامترهای آب، انرژی و اقتصادی را در نظر می‌گیرد، مقایسه شد. بهینه سازی خطی برای مقایسه: ۱) رویکرد همبست با استفاده از یک تابع هدف برای به حداکثر رساندن شاخص همبست آب-غذا-انرژی استفاده شد و ۲) رویکرد غیر همبست با استفاده از سه تابع هدف برای استفاده از آب، مصرف انرژی و بازده خالص کشاورزی. با مقایسه دو روش به این نتیجه رسیدند که نتایج روش اول از آنجا که نگاهی سیستمی دارد، به مراتب بهتر از روش دوم شده است. در یک مطالعه‌ای که توسط Masaeli et al (2022) در حوضه رودخانه زاینده رود در استان اصفهان انجام شد، از ۱۱ شاخص مختلف برای در نظر گرفتن تأثیر متقابل مصرف منابع، بهره‌وری، مسائل اقتصادی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موضوعات در مورد توسعه پایدار کشاورزی اعمال شد. شاخص WEFG پیشنهادی برای بهینه‌سازی الگوی محصول مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که WEFG از ۰/۱۶۲تا ۰/۶۵۸ بود. الگوی کشت بهینه بر اساس WEFG منجر به کاهش ۱۱درصد در مصرف آب و انرژی، حتی با افزایش ۲/۳ درصد در سطح زیرکشت می‌شود. الگوی کشت بهینه بر اساس شاخص WEFG، انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا دو درصد کاهش داده است که منجر به مدیریت کشاورزی پایدار می‌شود. بنابراین، شاخص پیوند WEFG ارائه شده می‌تواند یک معیار عملّی برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار در بخش کشاورزی باشد. در پژوهش دیگر که Saray et al (2022) در شمال غرب ایران انجام دادند همبست آب، انرژی و غذا (WEF Nexus) و انتشار CO_2 برای ارائه پشتیبانی داده برای تصمیم گیرندگانی که استراتژی‌های ملّی را در پاسخ به تغییرات آب و هوایی تدوین می‌کنند، تجزیه و تحلیل کردند. در تجزیه و تحلیل، انرژی ورودی – خرجی در تولید هفت گونه زراعی را با استفاده از شش شاخص، مصرف آب و انرژی، بهره‌وری انبوه و بهره‌وری اقتصادی تعیین کردند. شاخص WEF Nexus که بر اساس این شاخص‌ها محاسبه می‌شود، بیشترین (بهترین) ارزش را برای ذرت سیلو و کمترین را برای سیب زمینی نشان داد. در پژوهشی که Latifzade et al (2010) بر روی شبکه آبیاری عقیلی-گتوند انجام شد، از تلفیق یک مدل بیوفیزیک (برآورد نیاز آبی) و یک مدل اقتصادی (برنامه‌ریزی خطی)، به‌منظور حداکثر نمودن سود، تخمین آب مورد نیاز در دوره‌های زمانی مختلف، بهینه کردن الگوی کشت و افزایش بهره‌وری مصرف آب استفاده شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که الگوهای کشت موجود بهینه نبوده و همچنین با تغییر دادن درصد کشت گیاهان زراعی و افزایش ذخیره آب می‌توان زمین‌های دیم را به زمین فاریاب تبدیل کرد. کشاورزی بیشترین سهم را در مصرف آب دارد، بنابراین با افزایش جمعیت جهان و نیاز بیشتر به غذا، افزایش تقاضا و قیمت آب در آینده، افزایش مصرف انرژی و ارزش گذاری واقعیت قیمت انرژی و اهمیت و ضرورت افزایش بهره‌وری از طریق مدیریت مناسب سه عامل آب، انرژی و غذا به‌صورت هم‌زمان ضرورت انجام این مطالعه را بیان می‌کند. کمبود این منابع باعث به وجود آمدن بی‌ثباتی‌های اجتماعی و سیاسی، درگیری جغرافیای سیاسی و هچنین آسیب‌های جبران ناپذیر محیط‌زیستی شود. بنابراین با سیاست‌های مدیریتی در شبکه‌های آبیاری باید به سمت کشت محصولاتی رفت که تعادل میان بخش‌های مختلف همبست را برقرار سازد.

علیرغم کارهای محدودی که در مورد همبست روی شبکه‌های آبیاری و زهکشی انجام شده است می‌توان به تعیین الگوی کشت با هدف دستیابی به منافع اقتصادی، اجتماعی و حفظ محیط زیست با به حداقل رساندن مصرف آب و انرژی به‌عنوان نوآوری این تحقیق اشاره کرد و این کار در تحقیقات قبلی دیده نمی‌شود. از آنجایی که فلوچارت رویکرد پیشنهادی این مطالعه کلی است، می‌توان آن را به تمام شبکه‌های آبیاری و زهکشی تعمیم داد.

 DOI: 10.22055/jise.2024.47552.2130

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان ورامین با مساحت ۲۴۳۱ کیلومتر مربع و جمعیت ۴۶۸۳۴۹ نفر یکی از شهرستان‌های استان تهران است. دشت ورامین در ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی تهران و در حاشیه شمال غربی کویر مرکزی و بین طول جغرافیایی۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه واقع شده است. کل تولیدات زراعی و باغی دشت ورامین حدود ۵۰۰ هزار تن در سال است که نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی ایران به ویژه استان تهران دارد. داده‌ها از سامانه وزارت جهاد کشاورزی (https://www.maj.ir) گردآوری شد. میانگین بارندگی سالانه دشت ورامین معادل ۱۷۲ میلی‌متر و تبخیر آن معادل ۲۴۳۹ میلی‌متر در سال است (Valivand and Katibeh, 2022). دشت ورامین از دیرباز به‌دلایل مختلفی از جمله آب و هوای مناسب، خاک حاصلخیز و مناسب و نزدیکی به بازار مصرف همواره بسیار مورد توجه بوده و قطب مهمی برای کشاورزی استان تهران به شمار می‌رود. شکل (۱) نقشه موقعیت شهر تهران و منطقه مطالعاتی شهرستان ورامین را نشان می‌دهد. وسعت اراضی خالص تحت آبیاری این شبکه حدود ۵۰۰۰۰ هکتار است که نیاز آبی سالانه آن حدود ۶۰۰ میلیون متر مکعب برآورده شده است. آمارها نشان می‌دهد پس از اجرای آن، این شبکه حدود ۶۰ تا ۶۵ هزار هکتار از اراضی دشت را زیر کشت برده است (Maharab Omran Gostar Consulting Engineers Company, 2014).

بازه زمانی مورد مطالعه و داده‌ها

در این مطالعه از داده‌های نیاز آبی، سطح زیر کشت، عملکرد محصولات، متوسط هزینه تولید یک هکتار محصولات کشاورزی پنج محصول: گندم، جو، یونجه، ذرت علوفه‌ای و کلزا به تفکیک مراحل مختلف کشت واحد و قیمت فروش محصولات در بازه زمانی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ استفاده شد. با توجه به اینکه این پنج محصول ۶۵ درصد از اراضی تحت کشت را به خود اختصاص داده‌اند و محصولات مهم استراتژیک غذایی برای انسان و دام هستند و همچنین برای مصارف داخلی دارای اهمیت فراوانی است از دلایل انتخاب محصولات برای مطالعه بوده است. داده‌های موجود از سامانه وزارت جهاد کشاورزی https://www.maj.ir، مراجعه به کارشناسان سازمان آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی شهرستان ورامین جمع‌آوری شد.

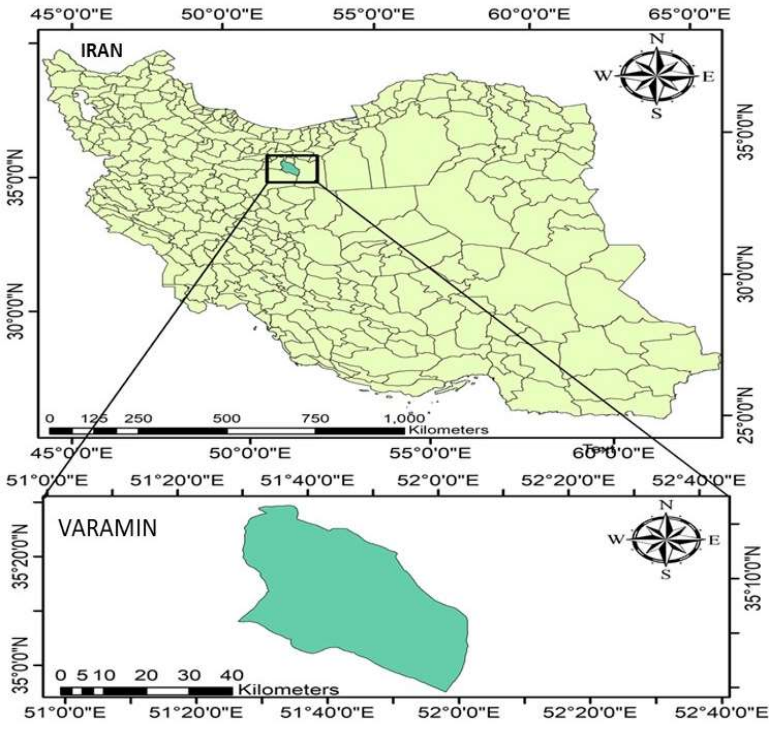


Fig.1- Location map of Tehran province and the studied area of Varamin city.

شکل ۱- نقشه موقعیت استان تهران و منطقه مطالعاتی شهرستان ورامین

شاخص همبست آب، انرژی و غذا

در این مطالعه، از شـــش شـــاخص مختلف برای رابطه تأثیر متقابل مصـرف منابع، بهره‌وری و مسائل اقتصادی در فعالیت‌های کشاورزی برای برنامه‌ریزی الگوی کشت استفاده شد. در شکل (۲) رابطه بین مولفه‌های آب، غذا، انرژی نشان داده شده است.

شاخص مصرف آب (WC)

شاخص مصرف آب $W_{(c.t)}$ مقدار آب مصرفی در هر هکتار از کشت محصول c در زمان t است. در این مطالعه از مجموعه داده (NETWAT) و ســامانه نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی کشـــور http://niwr.ir (نیاز آب)، برای محاسبه نیاز آبی گیاهان مختلف بر اســـاس راندمان آبیاری (که در این پژوهش آبیاری مزارع به‌صـورت ســطحی و از راندمان ۰/۵۵) در مطالعه شـبکه آبیاری ورامین استفاده شد.

شاخص مصرف انرژی (Ec.t)

شاخص مصرف انرژی نشان دهنده میزان مصرف انرژی در هر هکتار محصول c در زمان t است. انرژی مورد نیاز مزرعه برای تولیدات زراعی شـامل انرژی مسـتقیم و غیرمسـتقیم اسـت. تولید محصولات زراعی از انرژی سوخت دیزل یا برق برای کار با ماشین آلات و تجهیزات مزرعه و آب به‌طور مسـتقیم و از انرژی مصـرف شده در تولید کودها و مواد شیمیایی، بذر و نیروی کار انسانی مورد استفاده در مزرعه به‌طور غیرمستقیم استفاده می‌کند و در رابطه (۱) نشان داده شد (Zahedi et al, 2015).

$$E_{c\cdot t} = \sum q_h h_{c\cdot t} + q_m m_{c\cdot t} + q_d d_{C\cdot t} + q_f f_{c.t} + q_p p_{c.t} + q_s s_{c.t} + q_w w_{c.t} \quad (۱)$$

که در آن، q_h، q_m، q_d، q_f، q_p، q_s و q_w به‌ترتیب معادل، انرژی نیروی کار انسانی(MJ/h)، ماشین‌آلات (MJ/h)، سوخت دیزل (MJ/L)، کودهای شیمیایی (Chemical fertilizers) (MJ/Kg)، علف‌کش و آفت‌کش‌ها (Pesticides and herbicides) (MJ/Kg)، دانه‌ها (MJ/Kg) و آب آبیاری (MJ/m^3) در هکتار هستند. $h_{c\cdot t}$ ، $m_{C\cdot t}$، $d_{C\cdot t}$، $f_{c.t}$، $p_{c.t}$، $s_{c.t}$ و $w_{c.t}$ به ترتیب معادل، ساعات کار نیروی انسانی (h/ha)، ماشین‌آلات کشاورزی (h/ha)، سوخت فسیلی (L/ha)، کود (Kg/ha)، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها (Kg/ha)، بذر (Kg/ha) و آب آبیاری (m^3 /ha) برای کشت محصول c در زمان t است El-Gafy (2017). متوسط معادل انرژی ورودی در تولید انواع محصولات کشاورزی شبکه آبیاری ورامین در جدول (۱) نشان داده شده است. در واقع برای محاسبه مصرف انرژی در هر هکتار، مقادیر ورودی در هم ارز انرژی مربوطه ضرب شد.

شاخص‌های بهره‌وری

شاخص بهره‌وری جرم آب ($W_{pro.t}$)

بهره‌وری جرم آب ($W_{pro.t}$) برای محصول c، در زمان t، با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد:

$$W_{pro.t} = Y_{c.t}/W_{c.t} \quad (۲)$$

که در آن $Y_{c.t}$ عملکرد محصول c در هکتار (Ton/ha) در زمان t و $W_{c.t}$ مصرف آب در هکتار(m3/ha) برای محصول c در زمان t است (El-Gafy et al, 2017).

شاخص بهره‌وری جرمی انرژی (EMP):

شاخص بهره‌وری جرمی انرژی ($E_{pro.t}$) برای محصول c در زمان t از رابطه (۳) محاسبه شد(El-Gafy et al, 2017) .

$$E_{pro.t} = Y_{c.t}/E_{c.t} \quad (۳)$$

که در آن $Y_{c.t}$، عملکرد محصول c در هکتار (ton/ha) در زمان t و $E_{c.t}$، مصرف انرژی در هکتار (MJ/ha) محصول c در زمان t است (El-Gafy et al, 2017).

شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی

شاخص بهره‌وری اقتصادی آب (WE):

بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری، به ازای هر واحد حجم آب که با علامت اختصاری $W_{EV.t}$ نشان داده می‌شود، در زمان t برای محصول c از رابطه (۴) به‌صورت زیر محاسبه شد.

$$W_{EV.t} = N_{c.t}/w_{c.t} \quad (۴)$$

که در آن $N_{c.t}$ کل درآمد حاصل از فروش محصول است و از حاصل ضرب میزان عملکرد در قیمت هر محصول منهای کل هزینه تولید هر محصول (سود منهای هزینه) برای محصول c در هکتار (تومان/ هکتار) است (Hailemariam et al, 2019). $w_{c.t}$ نیز حجم آب مصرفی در هکتار است. بنابراین شاخص $W_{EV.t}$ بر حسب تومان بر متر مکعب است.

شاخص بهره‌وری اقتصادی انرژی (EE):

بهره‌وری اقتصادی انرژی $E_{EV.t}$ در زمان t برای محصول c از رابطه (۵) محاسبه شد (Hailemariam et al, 2019).

$$E_{EV.t} = N_{c.t}/E_{c.t} \quad (۵)$$

DOI: 10.22055/jise.2024.47552.2130

شاخص آب، انرژی، غذا

در این پژوهش، تمامی شاخص‌های آب، انرژی، غذا برای ایجاد یک شاخص همبست یکپارچه WEF باهم ترکیب شدند و به شرح زیر محاسبه شد، رابطه (۶). برای این منظور تمامی شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه ابتدا باید با استفاده از روش نرمال‌سازی حداکثر–حداقل (Min–Max Normalization) توسط معادله‌های (۷) و (۸) نرمال‌سازی و به شاخص‌های بدون بعد تبدیل شد. سپس شاخص‌های مذکور محاسبه و برای ارزیابی شاخص WEF استفاده شد. سپس الگوی کشت نهایی از ضرب (تناسب)، بین الگوی کشت جاری و شاخص WEF برای محصولات شبکه آبیاری ورامین به‌دست آمد.

$$WEF = \sum_{i=1}^{n} w_i X_i / \sum_{i=1}^{n} w_i \quad (۶)$$

$$X_{i=}(x_i - \mathrm{Min}(x_i))/(\mathrm{Max}(x_i) - \mathrm{Min}(x_i)) \quad (۷)$$

$$X_{i=}(\mathrm{Max}(x_i) - x_i)/(\mathrm{Max}(x_i) - \mathrm{Min}(x_i)) \quad (۸)$$

در این معادله X_i مقدار استاندارد سازی شده i است. $Min(x_i)$ و $Max(x_i)$ حداکثر و حداقل مقدار شاخص i است. w_i هم وزن مربوط به هر یک از مؤلفه‌های همبست است که در اینجا وزن همه مولفه‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود، بنابراین معادله به یک معادله میانگین حسابی تبدیل می‌شود. مقادیر شاخص WEF بین صفر و یک متفاوت است و هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده وضعیت بهینه شاخص است.

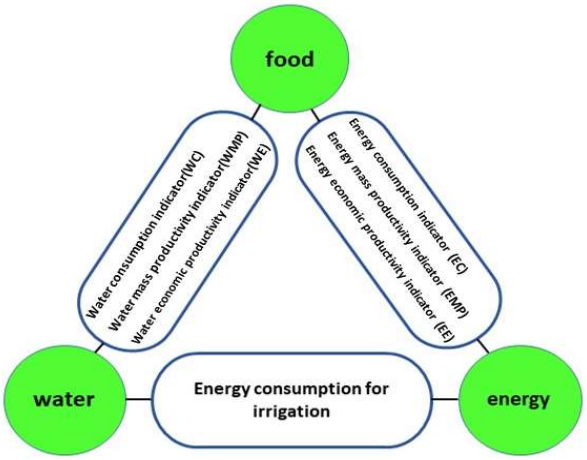


Fig. 2- The relationship between the components of water, food, energy
شکل ۲ - رابطه بین مولفه‌های آب، انرژی و غذا

جدول۱- ردپای انرژی نهاده‌ها در تولید محصولات کشاورزی شبکه آبیاری ورامین

Table 1- Energy footprint of inputs in the production of agricultural in Varamin irrigation network

Input	unit	Energy equivalent (MJ/unit)	References
Human labor	*h*	1.95	(Zahedi et al., 2015)
Machinery	*h*	62.7	(Zahedi et al., 2015)
Diesel fuel	L	50.23	(Zahedi et al., 2015)
Water for irrigation	m3	1.02	(Zahedi et al., 2015)
Chemical fertilizers			
Nitrogen (N)	kg	75.46	(Zahedi et al., 2015)
Phosphate (P2O5)	kg	13.07	(Zahedi et al., 2015)
Potassium (K2O)	kg	11.15	(Zahedi et al., 2015)
Chemicals			
Herbicides	L	238.32	(Zahedi et al., 2015)
Pesticide	L	101.2	(Zahedi et al., 2015)
Fungicide	kg	181.9	(Zahedi et al., 2015)
Seeds			
Wheat	kg	20.1	(Zahedi et al., 2015)
Barely	kg	14.7	(Zahedi et al., 2015)
Alfalfa	kg	10	(Zahedi et al., 2015)
Silage corn	kg	14.7	(Zahedi et al., 2015)
canola	kg	24	(Sadeghi, Moghadam et al. 2020)

نتایج و بحث

ارزیابی شاخص مصرف آب (WC)

شاخص مصرف آب، برای هر یک از محصولات مورد مطالعه محاسبه و در شکل (۳) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود ، یونجه بیشترین و جو کمترین مصرف آب (متر مکعب در هکتار) را نسبت به سایر محصولات در شبکه آبیاری ورامین داشته است. از آنجا که اولویت کشت بر اساس شاخص آب با محصولاتی است که کمترین مصرف آب در هکتار را داشته باشند. بنابراین اولویت کشت به‌ترتیب با جو، کلزا، گندم، ذرت علوفه‌ای و یونجه است.

ارزیابی شاخص انرژی

کل انرژی ورودی برای محصولات مورد مطالعه شبکه آبیاری ورامین در این تحقیق محاسبه گردید و در شکل (۴) نشان داده شده است. این نتایج نشان داد که کل انرژی ورودی برای محصول گندم در شبکه ۶۰۹۶۶/۹ مگاژول در هکتار، جو معادل ۵۳۵۰۶/۶۴ مگاژول بر هکتار، یونجه مقدار ۹۶۱۷۸/۶۴ مگاژول در هر هکتار، ذرت علوفه‌ای ۶۲۷۲۰/۳۶ مگاژول بر هکتار و کلزا ۱۹۹۴۴/۸۱ مگاژول در هر هکتار است. یونجه بیشترین و کلزا کمترین مصرف انرژی را در هکتار داشتند. بر اساس این شاخص اولویت کشت با محصولی است که کمترین انرژی مصرفی را دارا باشد، بنابراین به‌ترتیب کلزا، جو، گندم، ذرت علوفه‌ای و یونجه در اولویت کشت قرار گرفتند.

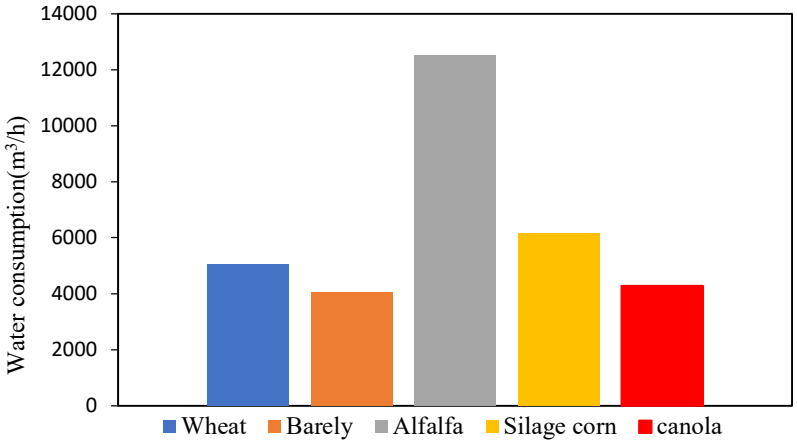


Fig. 3- Water consumption index of agricultural products of Varamin irrigation network

شکل ۳- شاخص مصرف آب محصولات کشاورزی شبکه آبیاری ورامین

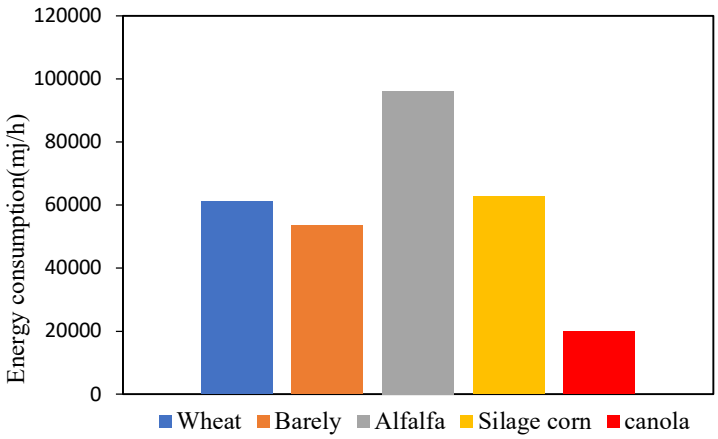


Fig. 4- The amount of energy consumption index of input products of Varamin irrigation network

شکل ٤- مقدار شاخص مصرف انرژی ورودی محصولات زراعی شبکه آبیاری ورامین

DOI: 10.22055/jise.2024.47552.2130

شاخص‌های بهره‌وری

شاخص بهره‌وری جرمی آب

در این پژوهش با توجه اطلاعات سطح برداشت، میزان تولید، عملکرد و نیاز آبی محصولات ذکر شده بهره‌وری هر یک از محصولات محاسبه شد. با توجه به این نتایج ذرت علوفه‌ای با ۵/۲۴ کیلوگرم و یونجه با ۰/۷۹ کیلوگرم محصول تولید شده نسبت به یک متر مکعب آب مصرف شده بیشترین مقدار محصول تولید شده را داشتند. همچنین جو با تولید۰/۶۵کیلوگرم بر متر مکعب، گندم با تولید ۰/۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب و کلزا با تولید ۰/۱۴ کیلوگرم بر متر مکعب در جایگاه‌های بعدی قرار گرفتند. طی مطالعه‌ای که توسط Bagheri Khaneghahi et al (2022) در دشت تجن مازندران انجام شد میانگین بهره‌وری آب در روش آبیاری سنتی به‌ترتیب برای گندم، جو، ذرت علوفه‌ای و یونجه، ۰/۷۱، ۰/۷۵، ۵/۷ و ۰/۹۷کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد همان‌طور که در شکل (۵) نشان داده شده است، ذرت علوفه‌ای بالاترین میزان بهره‌وری و کلزا کمترین میزان بهره‌وری در بین محصولات زراعی را داشتند. بر اساس این شاخص، اولویت کشت با محصولی است که بیشترین بهره‌وری جرمی آب را داشته باشد. هر چه این شاخص بیشتر باشد نشان دهنده‌ی مصرف صحیح‌تر آب است، هر چند ممکن است که سود اقتصادی بیشتری را به دنبال نداشته باشد. بنابراین با توجه به این شاخص، به‌ترتیب ذرت علوفه‌ای، یونجه، جو، گندم و کلزا در اولویت کشت قرار گرفتند.

شاخص بهره‌وری انرژی

شاخص بهره‌وری انرژی عملکرد محصولات بر مصرف انرژی را نشان می‌دهد. هر چه مقدار عدد این شاخص بزرگ‌تر باشد نشان دهنده بهره‌وری بالاتر انرژی مصرفی می‌باشد. بالاتر بودن مقدار بهره‌وری انرژی نشان دهنده انرژی ورودی کمتر و عملکرد بیشتر محصولات است. بر طبق این نتایج ذرت علوفه ای با ۰/۹۳۲ کیلوگرم/مگاژول بیشترین بهره‌وری انرژی را نسبت به بقیه محصولات داشت. رتبه‌ی دوم را نیز یونجه با ۰/۱۸۷ کیلوگرم بر مگاژول به خود اختصاص داد.

محصولات گندم، جو و کلزا نیز به‌ترتیب با ۰/۰۹۰، ۰/۰۸۹ و۰/۰۵۴ کیلوگرم بر مگاژول دارای کمترین میزان بهره‌وری انرژی بودند. همانطور که در شکل (۶) قابل مشاهده است ذرت علوفه‌ای بیشترین و کلزا کمترین میزان بهره‌وری انرژی را داشتند. بر اساس این شاخص اولویت کشت با محصولی است که بیشترین بهره‌وری انرژی را داشته باشد. بنابراین به ترتیب ذرت علوفه‌ای، یونجه، گندم، جو، و کلزا در اولویت کشت قرار گرفتند.

شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی

شاخص بهره‌وری اقتصادی آب

بهره‌وری اقتصادی آب میزان سود خالص را به ازای واحد حجم آب مصرف شده نشان می‌دهد، و هر چه این عدد رقم بالاتری باشد نشان دهنده بهره‌وری اقتصادی بهتری است. در واقع تخصیص آب بایستی به محصولاتی صورت گیرد که سود خالص بیشتری را در ازای مصرف مقدار کمتری آب بدهد. همچنین محصولاتی که مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پایین دارند باید از الگوی کشت حذف شوند. در میان محصولات مورد مطالعه این پژوهش، بیشترین بهره‌وری اقتصادی، مربوط به ذرت علوفه‌ای با ۱۷۱۶۹/۳۵ تومان/مترمکعب بود. همچنین بعد از ذرت علوفه‌ای محصولات گندم و یونجه به ترتیب با ۲۰۹۱/۳۲ و ۳۲۶۲/۹۶ تومان/ متر مکعب قرار گرفتند. اما کمترین میزان این شاخص را محصولات جو و کلزا به‌ترتیب با ۲۵۳۰/۱۸ و ۶۵۰/۹۸ تومان/مترمکعب داشتند. همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود ذرت علوفه‌ای و کلزا به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب را نسبت به سایر محصولات دیگر داشتند. بر اساس این شاخص اولویت کشت با محصولی است که بیشترین بهره‌وری اقتصادی آب را داشته باشد. بنابراین به‌ترتیب ذرت علوفه‌ای، یونجه، جو، گندم و کلزا در اولویت کشت قرار گرفتند.

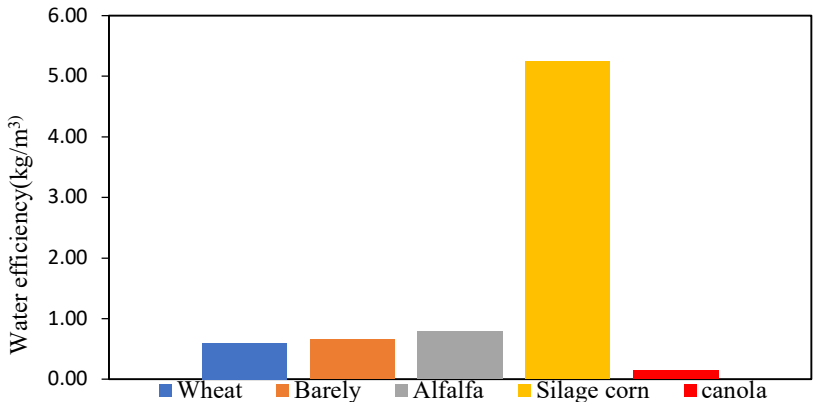


Fig. 5- The amount of water productivity index of Varamin irrigation network products

شکل ۵- مقدار شاخص بهره‌وری آب محصولات زراعی شبکه آبیاری ورامین

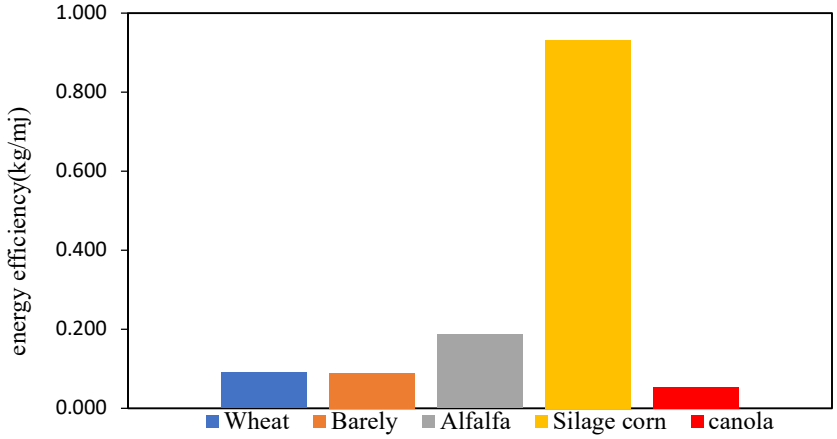


Fig. 6- The amount of energy productivity index of Varamin irrigation network products

شکل ٦- مقدار شاخص بهره‌وری انرژی محصولات زراعی شبکه آبیاری ورامین

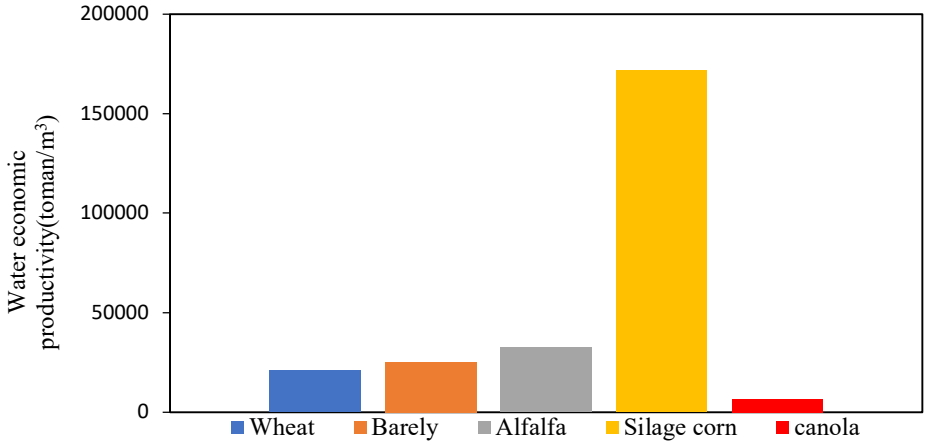


Fig.7- The amount of economic productivity index of water products of Varamin irrigation network

شکل ۷- مقدار شاخص بهره‌وری اقتصادی آب محصولات زراعی شبکه آبیاری ورامین

شاخص بهره‌وری اقتصادی انرژی

این شاخص میزان بهره‌وری اقتصادی انرژی محصولات را بر حسب تومان/مگاژول نشان می‌دهد. هر چه مقدار انرژی مصرفی محصولات کمتر و سود خالص محصولات بیشتر شود مقدار این شاخص نیز بهتر می‌شود. بیشترین و کمترین مقدار این شاخص را به ترتیب ذرت علوفه‌ای و کلزا با ۳۰۵۷/۰۸ و ۲۵۴/۳۰ تومان/مگاژول داشتند. همچنین میزان بهره‌وری اقتصادی انرژی گندم ۳۱۴/۱۸ تومان/مگاژول، یونجه ۷۷۲/۰۰ تومان/مگاژول و جو ۳۴۸/۲۱ تومان/مگاژول بود. مقادیر بهره‌وری اقتصادی انرژی محصولات در شکل (۸) نشان داده شده است و همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار مربوط به ذرت علوفه‌ای و کمترین مقدار مربوط به کلزا است. بر اساس این شاخص اولویت کشت با محصولی است که بیشترین بهره‌وری اقتصادی انرژی را داشته باشد. بنابراین به‌ترتیب ذرت علوفه‌ای، یونجه، جو، گندم و کلزا در اولویت کشت قرار گرفتند.

شاخص همبست یکپارچه WEF

پس از محاسبه شاخص‌های محصولات کشاورزی شبکه آبیاری ورامین، نرمال‌سازی این شاخص‌ها به روش حداقل-حداکثر انجام شد. شاخص همبست آب، انرژی، غذا برای محصولات مورد مطالعه در شبکه آبیاری ورامین محاسبه و نتایج آن در جدول (۲) نشان داده شد. مقادیر این شاخص از بیشترین به کمترین به‌ترتیب ذرت علوفه‌ای، کلزا، جو، گندم و یونجه با ۰/۸۷، ۰/۳۳، ۰/۳۲، ۰/۲۸ و ۰/۱۱ به‌دست آمد. ذرت علوفه‌ای نسبت به سایر محصولات مورد مطالعه، بیشترین بهره‌وری اقتصادی آب، بهره‌وری اقتصادی انرژی و همچنین بیشترین بهره‌وری جرمی آب و انرژی را کسب کرد و بیشترین مقدار شاخص WEF برابر ۰/۸۷ شد. یونجه با توجه به اینکه بهره‌وری اقتصادی بالا و نیز عملکرد مناسبی را نسبت به واحد آب مصرف شده داشت اما به‌دلیل مصرف زیاد آب و انرژی، دارای کمترین امتیاز WEF شد.

DOI: 10.22055/jise.2024.47552.2130

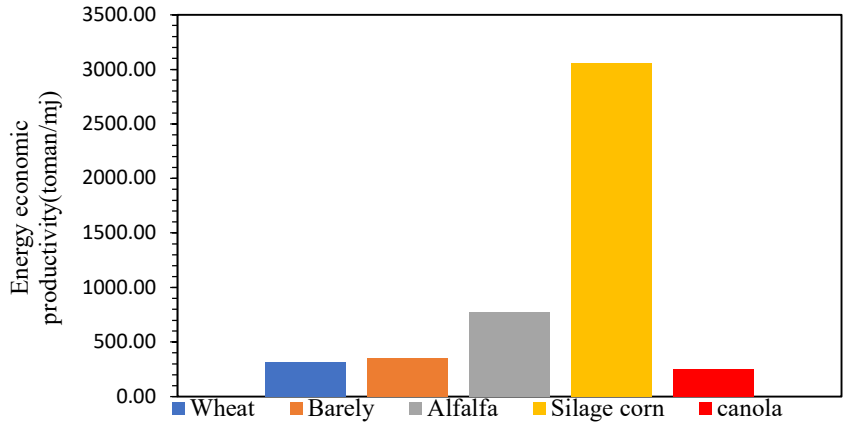


Fig. 8- The amount of energy economic efficiency index of Varamin irrigation network products

شکل ۸- مقدار شاخص بهره‌وری اقتصادی انرژی محصولات زراعی شبکه آبیاری ورامین

جدول ۲- مقادیر شاخص WEF و مقادیر نرمال شده شاخص‌های مختلف اعمال شده در شاخص همبست WEF برای محصولات کشاورزی شبکه آبیاری ورامین

Table 2- The values of the WEF index and the normalized values of the different indices applied in the WEF nexus index for the agricultural products of the Varamin irrigation network

Indicators	Wheat	Barely	Alfalfa	Silage corn	canola
WC	0.88	1.00	0.00	0.75	0.97
EC	0.51	0.62	0.00	0.49	1.00
EMP	0.06	0.06	0.17	1.00	0.00
WMP	0.09	0.10	0.13	1.00	0.00
EE	0.02	0.03	0.18	1.00	0.00
WE	0.09	0.11	0.16	1.00	0.00
WEF	0.28	0.32	0.11	0.87	0.33

جدول ۳- الگوی کشت پیشنهادی بر اساس شاخص آب، انرژی، غذا

Table 3- Proposed cultivation pattern based on water, energy, food index

crops	Current cultivated area (ha)	Cultivated area of the proposed model (ha) According to the WEF index	Percentage change
Wheat	12999	4881	-62.4
Barely	10988	5578	-49.2
Alfalfa	4003	1917	-52.1
Silage corn	4860	15166	+212
canola	444	5752	+1195
total	33294	33294	

الگوی پیشنهادی کشت

الگوی کشت محصولات عمده زراعی بر اساس شاخص یکپارچه WEF پیشنهاد شد و در جدول (۳) مقادیر آنها نشان داده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده سطح زیر کشت محصول گندم، از ۱۲۹۹۹ هکتار به ۴۸۸۱ هکتار یعنی به میزان ۶۲/۴ درصد کاهش یافته است. سطح زیر کشت محصول جو از ۱۰۹۸۸ هکتار به ۵۵۷۸ هکتار رسید که میزان۴۹/۲ درصد کاهش را نشان می‌دهد. یونجه محصولی با مصرف زیاد آب و انرژی است و سطح زیر کشت آن با ۵۲/۱ درصد کاهش از ۴۰۰۳ هکتار به ۱۹۱۷ هکتار رسیده است. اما ذرت علوفه‌ای که بالاترین امتیاز شاخص WEF را داشت، با رشد ۲۱۲ درصدی از ۴۸۶۰ هکتار به ۱۵۱۶۶ هکتار افزایش یافته است. اما کلزا با افزایش حدودا ۱۲ برابری (۱۱۹۵ درصدی) بالاترین افزایش سطح زیر کشت را به خود اختصاص داد. کلزا کمترین مصرف آب و انرژی را دارد، بنابراین سطح زیر کشت این محصول در الگوی کشت پیشنهادی از ۴۴۴ هکتار به ۵۷۵۲ هکتار رسیده است.

نتایج حاصل از این پژوهش، نشان می‌دهد که درصورت اجرای الگوی کشت پیشنهادی در اراضی شبکه آبیاری ورامین، محصولاتی مانند کلزا که مصرف آب پایین دارد سطح زیر کشت آن افزایش و محصولاتی مانند یونجه که نیاز آبی بالایی دارند

سطح زیر کشت آن کاهش پیدا کرده که در نتیجه مقدار مصرف سالیانه آب ۳/۷ درصد کاهش خواهد یافت. یافته‌های این پژوهش همچنین نشان داد که در صورت اجرای الگو، مصرف انرژی با کاهش ۱۴/۷ درصد مواجه خواهیم بود. بر اساس الگوی پیشنهادی میزان بهره‌وری اقتصادی آب ۳۵ درصد و بهره‌وری اقتصادی انرژی میزان ۳۸/۲ درصد افزایش خواهند یافت. در پژوهشی که Eslami et al (2020) در شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود انجام دادند، نتایج نشان داد نیاز خالص آبی و آب عرضه شده به شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود در سال ۲۰۱۶ با رویکرد پیوندی به‌ترتیب ۸/۶ و ۸/۷ میلیون متر مکعب بیشتر از حالت بدون رویکرد پیوندی به‌دست آمد. در مطالعه‌ای که در منطقه سرچشمه رودخانه‌های سه (یانگ تسه-زرد-لانتسانگ) چین انجام شد، یک برنامه‌ریزی کسری فازی مبتنی بر ردپای آب (WFFP) برای بهینه‌سازی تخصیص منابع به سمت امنیت غذایی و آب پایدار تحت محدودیت‌های کشاورزی، غذایی، اجتماعی-اقتصادی و منابع طبیعی توسعه یافت. نتایج نشان داد، طرح بهینه سازی شده با محدودیت آب آبیاری موجود، به‌ترتیب موجب افزایش دو درصدی سود اقتصادی و ۳۴ درصدی صرفه جویی در مصرف آب می شود (Chen et al, 2020). تحقیقی که Masaeli et al (2022) برای تعیین الگوی کشت بهینه انجام دادند نشان داد، با افزایش ۲/۳۲ درصدی سطح زیر کشت، شاهد کاهش ۱۱ درصدی مصرف آب و انرژی خواهد بود. پژوهشی که El-Gafy et al (2017) انجام دادند نشان داد، در صورتی که رویکرد پیوندی برای پیشنهاد الگوی کشت بهینه اعمال شود، می‌توان حدود ۸۶ میلیون دلار در سال بازده اقتصادی به‌دست آورد.

نتیجه‌گیری

برای بررسی رابطه بین انرژی، غذا و آب در شبکه‌های آبیاری و همچنین ارزیابی شاخص یکپارچه آب، انرژی و غذا (WEFNI)، برای افزایش بهره‌وری در شبکه‌های آبیاری و همچین تعیین الگوی کشت پیشنهادی با استفاده از شاخص ترکیبی آب، انرژی و غذا انجام شد. در راستای این پژوهش، ابتدا ارتباط و ایجاد بیلان بین اجزاء مرتبط با هر یک از سه مؤلفه آب، انرژی، غذا به عنوان چارچوب اساسی تشکیل دهنده تهیه مدل همبست WEF با استفاده از شش شاخص: مصرف آب، مصرف انرژی، بهره‌وری جرمی آب، بهره‌وری انرژی، بهره‌وری اقتصادی آب، بهره‌وری اقتصادی انرژی مورد بررسی قرار گرفت. مدل WEF توسعه‌یافته به‌عنوان یک مورد آزمایشی برای ارزیابی محصولات شبکه آبیاری ورامین استفاده شد. دامنه تغییرات WEF در محصولات زراعی مورد مطالعه برای ذرت علوفه‌ای ۰/۸۷ (بالاترین امتیاز) و برای یونجه ۰/۱۱ (پایین‌ترین امتیاز) بود. هر چقدر شاخص WEF دارای امتیاز بالاتری باشد، نشان دهنده عملکرد بهتری است. سایر محصولات گندم، جو و کلزا به‌ترتیب دارای امتیاز ۰/۲۸، ۰/۳۲ و ۰/۳۳ بودند. بر اساس شاخص مصرف آب بیشترین مقدار مصرف آب را یونجه و کمترین مقدار مصرف را کلزا دارد، با توجه به محدود بودن منابع آبی، باید به سمت کشت محصولاتی برویم که کمترین مصرف آب سالانه را داشته باشند، بنابراین محصولات کلزا و جو در اولویت کشت قرار گرفتند. ارائه راهکارهای صحیح مدیریتی همچون تخصیص بهینه منابع آبی و برنامه‌ریزی در راستای اصلاح الگوی کشت از طریق سیاست‌های تشویقی، خرید تضمینی محصولات با نیاز آبی کمتر، بیمه محصولات کشاورزی و راه اندازی صنایع تبدیلی محصولات کشاورزی در منطقه یک ضرورت اجتناب ناپذیر است. این موارد بایستی در برنامه‌ریزی‌های کوتاه مدت و میان مدت تصمیم‌گیرندگان بخش آب استان و کشور لحاظ گردد. الگوی کشت پیشنهادی مصرف آب سالانه محصولات در کل سطح کشت را به اندازه ۳/۷ درصد کاهش می‌دهد. بیشترین و کمترین میزان شاخص بهره‌وری اقتصادی آب را به‌ترتیب محصولات ذرت علوفه‌ای و کلزا داشتند. بر اساس الگوی کشت پیشنهادی شاخص بهره‌وری اقتصادی آب به میزان ۳۵ درصد افزایش می‌یابد. نتایج این تحقیق نشان داد که بهینه‌سازی تخصیص سطح اراضی کشاورزی، سودهی تولیدات کشاورزی را بهبود می‌بخشد و به سودآوری بیشتری می‌انجامد که این یکی از مهم‌ترین الگوهای مورد نظر مسئولین کشاورزی است که از آن به عنوان کشاورزی پایدار یاد می‌شود.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله لازم است از سازمان جهاد کشاورزی و آب منطقه‌ای شهرستان ورامین و همچنین تمام کسانی که ما را در این مسیر همراهی نموده‌اند، قدردانی به‌عمل آورد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

نویسندگان هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تألیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: ارشاد آبیار (نگارش مقاله و تجزیه و تحلیل داده ها) ۵۰ ٪

نویسنده دوم: محمود مشعل (بررسی نتایج و تایید مطلب) ۵۰ ٪

References

1- Bagheri Khaneghahi, M., Mirhashemi, S., & Panahi, M. 2022. Evaluation and analysis of water productivity indices for various crops using traditional and modern irrigation systems (case study: Tajan plain of Mazandaran). *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(1), 49-59.. https://doi.org/ 10.22034/csrar.2022.306317.1137.

2- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). *World Population Prospects*: The 2015 Revision, Volume I: Comprehensive Tables (ST/ESA/SER.A/379).

3- Chen, M., Shang, S., & Li, W. 2020. Integrated modeling approach for sustainable land-water-food nexus management. *Agriculture*, *10*(4), 104. https://doi.org/10.3390/agriculture10040104

4- El-Gafy, I. 2017. Water–food–energy nexus index: analysis of water–energy–food nexus of crop's production system applying the indicators approach. *Applied Water Science*, *7*(6), 2857-2868.https://doi.org/10.1007/s13201-017-0551-3

5- El-Gafy, I., Grigg, N., & Waskom, R. 2017. Water-food-energy: nexus and non-nexus approaches for optimal cropping pattern. *Water Resources Management*, *31*, 4971-4980.https://doi.org/10.1007/s11269-017-1789-0

6- Eslami, Z., Janatrostami, S., Ashrafzadeh, A., & Pourmohamad, Y. 2020. Water, energy, food nexus approach impact on integrated water resources management in sefid-rud irrigation and drainage network. *Water and Soil*, 34(1), 11-25. https://doi.org/10.22067/jsw.v34i1.81897

7- Giampietro, M., Aspinall, R. J., Bukkens, S. G., Benalcazar, J. J. C., Maurin, F. D., Flammini, A., Gomiero, T., Kovacic, Z., Madrid-Lopez, C., & Martin, J. R. 2013. An innovative accounting framework for the food-energy-water nexus: application of the MuSIASEM approach to three case studies.

8- Ghorbani, E., Monem, M. J., & Vaez Tehrani, M. 2020. Development of Water, Energy and Food Nexus Model in Irrigation Networks Based on Water Adequacy and Stability Indicators (Qazvin Irrigation Network Case Study). *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 21(80), 61-80. https://doi.org/10.22092/idser.2020.343189.1432

9- Hoseini, S. M., & Delavar, M. 2020. Application and Evaluation of Water, Food and Energy (NEXUS) in Irrigation Networks Management Case Study of Zayandehrud Irrigation Network. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(1), 275-285. 20.1001.1.20087942.1399.14.1.24.7

10- Hailemariam, W. G., Silalertruksa, T., Gheewala, S. H., & Jakrawatana, N. 2019. Water–energy–food nexus of sugarcane production in Ethiopia. *Environmental Engineering Science*, 36(7), 798-807. DOI:10.1089/ees.2018.0549

11- Masaeli, H., Gohari, A., Hasanzadeh Saray, M., & Torabi Haghighi, A. 2022. Developing a new water–energy–food-greenhouse gases nexus tool for sustainable agricultural landscape management. *Sustainable Development*. https://doi.org/10.1002/sd.2427

12- Maharab Omran Gostar Consulting Engineers Company, 2014. Report on the review and remediation studies of the irrigation and drainage network of the Varamin Plain.

13- Latifzade, S., Mokhtaran, R., Latifzade, L., & Hamzeh, S. 2010. Determination of optimum cropping pattern considering agricultural water management issue in the Aghili-Gotvand irrigation project. Journal: *Journal Of Water Engineering*. 1(1), 53-59.

14- Saray, M. H., Baubekova, A., Gohari, A., Eslamian, S. S., Klove, B., & Haghighi, A. T. 2022. Optimization of Water-Energy-Food Nexus considering CO2 emissions from cropland: A case study in northwest Iran. *Applied Energy*, 307, 118236. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118236

15- Sadeghi, S.H., Moghadam, E.S., Delavar, M. and Zarghami, M., 2020. Application of water-energy-food nexus approach for designating optimal agricultural management pattern at a watershed scale. *Agricultural Water Management*, *233*, p.106071.https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106071

16- Valivand, F., Katibeh, H., 2022. Evaluation of Quantitative and Qualitative Management Plans in Varamin Plain Aquifer. *Journal of Water and Wastewater*. 33(4), 36-50. https://doi.org/10.22093/wwj.2022.315051.3197

17- Yousefi, H., Mohammadi, A., Noorollahi, Y., & Sadatinejad, S. J. 2018. Water footprint evaluation of Tehran's crops and garden crops. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(6), 67-85. https://doi.org/10.22069/jwsc.2017.13718.2842

18- Zahedi, M., Mondani, F., & Eshghizadeh, H. R. 2015. Analyzing the energy balances of double-cropped cereals in an arid region. *Energy reports*, 1, 43-49. 10.1016/j.egyr.2014.11.001

19- Zhang, P., Zhang, L., Chang, Y., Xu, M., Hao, Y., Liang, S., Liu, G., Yang, Z. and Wang, C., 2019. Food-energy-water (FEW) nexus for urban sustainability: A comprehensive review. *Resources, Conservation and Recycling*, *142*, pp.215-224. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.018