

Energy Efficiency Assessment of Potato and Wheat Farms under Sprinkler Irrigation System (Case Study: Downstream of Surral Reservoir, Kurdistan Province)

Peyman Tahmasebi¹, Arman Moghadamnia², Pegah Golmohammadi Ghane³, Aram Fathi⁴, Bakhtiar Karimi⁵, Heresh Ghadrshenas⁶

¹Ph.D. student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran (Email: p.tahmasebi@agr.basu.ac.ir)

² M.Sc. Graduated, Science and Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran (Email: arman.moghadamnia@gmail.com)

³ M.Sc. Graduated, Science and Water Engineering Department, Faculty of Civil and Environmental Engineering, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran (Email: pegah.golmohammadi@uok.ac.ir)

⁴ M.Sc. Graduated, Water Resource Management and Engineering Department, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (Email: aram.fathi@modares.ac.ir)

⁵ Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran (Corresponding author, Email: bakhtiar.karimi@uok.ac.ir)

⁶ M.Sc. Graduated, Science and Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran (Email: heresh.senal@gmail.com)



10.22125/IWE.2025.501965.1852

Received:
December 26, 2024

Accepted:
April 9, 2025
Available online:
April 25, 2025

Keywords:
Energy Efficiency
Production Inputs
Yield
Surral Reservoir Dam
Chemical Fertilizer

Abstract

Efficient use of energy resources in agricultural production is a key component of sustainable agriculture. This study aimed to evaluate energy indices for irrigated wheat and potato crops in the downstream plains of the Surral Reservoir in Kurdistan Province. In this research, 26 farms with a total area of 100 hectares were selected. The studied farms were divided into four groups: systems (1) and (2), related to wheat farms with a fixed classic sprinkler irrigation system, using electricity and gravity as energy sources, respectively, and systems (3) and (4) for potato farms with similar irrigation system characteristics and energy sources. The required data, including total inputs, machinery operating hours, and human labor, were collected through questionnaires from farmers in the mentioned plain during the 2023-2024 growing season. The wheat cropping system showed the highest energy allocation for chemical fertilizers, while the potato cropping system allocated the highest energy to fuel (diesel) required for machinery and agricultural implements. The total energy input for the mentioned farms was 45027.43, 42472.02, 92547.10, and 89857.23 MJ ha⁻¹, and the total energy output was 110700, 119550, 127800, and 136800 MJ ha⁻¹, respectively. The energy ratio was 2.45, 2.81, 1.38, and 1.52, and the specific energy was 7.50, 6.53, 2.60, and 2.36 MJ ha⁻¹, respectively. The energy productivity was 0.13, 0.15, 0.38, and 0.42 kg MJ⁻¹. These findings indicate higher efficiency of the irrigated wheat cropping system in converting input energy to output energy in the final product. Based on this, it is recommended that irrigated wheat cultivation be considered by farmers as a more sustainable option in the mentioned region.

* **Corresponding Author:** Bakhtiar Karimi

Address: , Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran

Email: bakhtiar.karimi@uok.ac.ir

Tel: 09379832124

Peyman Tahmasebi, Arman Moghadamnia, Pegah Golmohammadi Ghane, Aram Fathi, Bakhtiar Karimi*, Heresh Ghadrshenas Energy Efficiency Assessment of Potato and Wheat Farms under Sprinkler Irrigation System (Case Study: Downstream of Surral Reservoir, Kurdistan Province)

1. Introduction

With the global population growth and increasing demand for food, the agricultural sector faces numerous challenges, including limited water and energy resources. Efficient energy use in agricultural production not only leads to increased productivity and reduced production costs but also plays a crucial role in mitigating negative environmental impacts and achieving sustainable agriculture. This research aimed to precisely evaluate energy indices related to irrigated wheat and potato production in the downstream plains of the Surral Reservoir.

2. Materials and Methods

This study was conducted as a case study in the downstream plains of the Surral Reservoir, located in Kurdistan province, during the 2023-2024 growing season. Twenty-six farms, covering a total area of 100 hectares, were randomly selected. The studied farms were divided into four groups based on crop type and the energy source used for irrigation:

- System (1): Irrigated wheat farms with a fixed classic sprinkler irrigation system using electricity.
- System (2): Irrigated wheat farms with a fixed classic sprinkler irrigation system using gravity.
- System (3): Potato farms with a fixed classic sprinkler irrigation system using electricity.
- System (4): Potato farms with a fixed classic sprinkler irrigation system using gravity.

Required data, including inputs (fertilizers, pesticides, seeds, fuel, water, electricity), machinery operating hours, and human labor, were collected through questionnaires and face-to-face interviews with local farmers. Standard energy conversion coefficients from scientific sources were used to calculate the energy equivalent of various inputs. Energy indices, including the energy ratio (energy efficiency), specific energy, and energy productivity, were then calculated using mathematical relationships.

3. Results

The data analysis revealed a significant difference in energy consumption patterns between irrigated wheat and potato production in the study area. In irrigated wheat farms (Systems 1 and 2), chemical fertilizers, especially nitrogen fertilizer with an average of 13228 MJ ha⁻¹, accounted for the largest share of energy consumption, followed by fuel (diesel) with an average of 9724 MJ ha⁻¹. Conversely, in potato farms (Systems 3 and 4), fuel (diesel) with an average of 26578 MJ ha⁻¹ was the most energy-intensive input, followed by potato seed with an average of 14760 MJ ha⁻¹ and chemical fertilizers with an average of 9921 MJ ha⁻¹.

The total energy input for systems 1, 2, 3, and 4 was 45027.43, 42472.02, 92547.10, and 89857.23 MJ ha⁻¹, respectively, and the total energy output was 110700, 119550, 127800, and 136800 MJ ha⁻¹, respectively. Consequently, the energy ratio (energy efficiency) for systems 1 to 4 was 2.45, 2.81, 1.38, and 1.52, the specific energy was 7.50, 6.53, 2.60, and 2.36 MJ kg⁻¹, and the energy productivity was 0.13, 0.15, 0.38, and 0.42 kg MJ⁻¹. Comparison of energy input in irrigated wheat systems showed that using gravity (System 2) resulted in a reduction of approximately 2555 MJ ha⁻¹ compared to the electricity-powered system (System 1), clearly demonstrating the advantage of utilizing natural potential in irrigation methods. A similar trend was observed in potato farms between systems 3 and 4. Comparison of the results with other studies in different regions indicates that the energy consumption pattern in wheat and potato production is influenced by various factors, including climatic conditions,

soil type, farm management, and mechanization level, and the share of irrigation energy in drier regions can be higher than chemical fertilizers or fuel.

4. Conclusion

. The results of this research indicated that optimized management of inputs, especially chemical fertilizers in wheat and fuel in potato production, as well as the use of renewable energy sources such as gravity in irrigation, can effectively improve energy efficiency and reduce the environmental impact of producing these two crops. Considering the higher efficiency of irrigated wheat in converting input energy to output and the advantage of gravity irrigation, developing wheat cultivation in the region, while taking into account economic and ecological considerations, is recommended. Furthermore, promoting the use of modern and low-consumption irrigation methods, optimizing chemical fertilizer consumption based on soil testing, and using high-efficiency machinery can contribute to improving energy efficiency in the production of both crops. Future research is suggested to investigate the impact of other factors, such as tillage methods, planting date, and integrated pest and disease management, on energy efficiency in the production of these two crops.

5. Six important references

- 1) Tahmasebi, P., Dalvand, F., Hosseini, S. A., Karimi, B. and Ghadershenas, H. (2025). A Comparative Analysis of Energy Efficiency in Two Sprinkler Irrigation Systems for Wheat Cultivation (Case Study: Dehgolan Plains, Kurdistan). *Water and Soil*, (), - doi: 10.22067/jsw.2025.90134.1439
- 2) Niazmand, R., Moghadamnia, A., Tahmasebi, P., Nikmehr, S., & maroufpoor, E. (2023). Productivity of water and energy use of potato in sprinkler irrigation systems (Case study: Dehgolan Plain, Kurdistan Province). *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 3(4), 116-137. doi: 10.22126/atwe.2024.10298.1106<https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10298.1106>
- 3) Kitani, O., Jungbluth, T., Peart, R. M., & Ramdani, A. (1999). CIGR handbook of agricultural engineering. Energy and biomass engineering, 5, 330.
- 4) Pimentel, D., Pimentel, M., & Food, E. (1996). Society (Niwet, CO. Colorado Press.
- 5) Singh, S., & Mittal, J. P. (1992). Energy in production agriculture. Mittal Publications.
- 6) Singh, H., Mishra, D., & Nahar, N. M. (2002). Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone, India—part I. Energy conversion and management, 43(16), 2275-2286.

ارزیابی کارایی انرژی مصرفی مزارع سیبزمینی و گندم تحت سامانه آبیاری بارانی (مطالعه موردی: پایاب سد مخزنی سورال استان کردستان)

پیمان طهماسبی^۱، آرمان مقدم نیا^۲، پگاه گل محمدی قانع^۳، آرام فتحی^۴، بختیار کریمی^۵، هیرش قدرشناس^۶

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۱۰/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰

مقاله پژوهشی

چکیده

استفاده کارآمد از منابع انرژی مصرف شده در تولید محصولات کشاورزی، یکی از مؤلفه‌های اصلی کشاورزی پایدار است. هدف از این مطالعه ارزیابی شاخص‌های انرژی ورودی و خروجی محصولات گندم آبی و سیبزمینی اراضی پایاب سد مخزنی سورال استان کردستان است. در پژوهش حاضر، ۲۶ مزرعه به مجموع مساحت ۱۰۰ هکتار، انتخاب شدند. مزارع مورد مطالعه به سامانه‌های ۱ و ۲ برای گندم و سامانه‌های ۳ و ۴ برای گروه‌بندی شدند. سامانه‌های مذکور مجهز شامل سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک با آبیاری متحرک، با منابع انرژی برق و ثقل بودند. اطلاعات مورد نیاز، شامل کل نهاده‌های مصرفی (ورودی)، ساعات کارکرد ماشین‌آلات و نیروی انسانی و غیره در قالب پرسشنامه از کشاورزان دشت مذکور در طول فصل زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ استخراج شدند. نظام زراعی گندم از نظر کودهای شیمیایی به‌ویژه کود نیتروژن و نظام زراعی سیبزمینی از نظر سوخت (گازوئیل) مورد نیاز برای ماشین‌آلات و ادوات کشاورزی بالاترین مقدار انرژی را به‌خود اختصاص داد. کل انرژی ورودی مزارع مذکور به ترتیب ۴۵۰۲۷/۴۳، ۴۲۴۷۲/۰۲، ۹۲۵۴۷/۱۰ و ۸۹۸۵۷/۲۳ و کل انرژی خروجی ۱۱۰۷۰۰، ۱۱۹۵۵۰، ۱۲۷۸۰۰ و ۱۳۶۸۰۰ مگاژول در هکتار بود. شاخص نسبت انرژی به ترتیب ۲/۴۵، ۲/۸۱، ۱/۳۸ و ۱/۵۲ و شاخص انرژی ویژه به ترتیب ۷/۵۰، ۶/۵۳، ۲/۶۰ و ۲/۳۶ مگاژول در هکتار محاسبه شد. شاخص بهره‌وری انرژی به ترتیب ۰/۱۳، ۰/۱۵، ۰/۳۸ و ۰/۴۲ کیلوگرم در مگاژول بود. این یافته‌ها حاکی از بهره‌وری بالاتر سامانه زراعی گندم آبی در تبدیل انرژی‌های ورودی به انرژی خروجی در محصول نهایی است. براین اساس، توصیه می‌شود کشت گندم آبی به‌عنوان یک گزینه پایدارتر در منطقه مذکور مورد توجه کشاورزان قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: کارایی انرژی، نهاده‌های ورودی، سد مخزنی سورال، کود شیمیایی، عملکرد

^۱ دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. ۰۹۱۵۰۹۰۳۵۸۹. رایانه: p.tahmasebi@agr.basu.ac.ir

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران. رایانه: arman.moghadamnia@gmail.com

^۳ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران. رایانه: pegah.golmohammadi@uok.ac.ir

^۴ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانه: aram.fathi@modares.ac.ir

^۵ دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانه: bakhtiar.karimi@uok.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۶ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران. رایانه: heresh.senai@gmail.com

مقدمه

رشد جمعیت و توسعه اقتصادی، فشار دوچندانی بر منابع آبی و انرژی وارد آورده و تأمین این منابع را به یکی از چالش‌برانگیزترین مسائل در عصر حاضر تبدیل کرده است (طهماسبی، ۱۴۰۳؛ فرزام‌نیا و همکاران، ۱۴۰۲). بخش کشاورزی به‌عنوان یک سامانه پیچیده، تعامل تنگاتنگی با منابع انرژی مورد نیاز دارد (Sulewski and Was., 2024). زیرا تولید محصولات کشاورزی به انرژی ورودی و خروجی مزارع بستگی دارد (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۳). بخش کشاورزی، همچنان که عرضه کننده انرژی است، مهم‌ترین مصرف‌کننده انرژی نیز می‌باشد (Elsoragaby et al., 2019; Nasseri., 2024). از این‌رو بخش کشاورزی و انرژی متأثر از هم‌دیگر هستند (نراقی و همکاران، ۱۴۰۰؛ طایی‌سمیرمی و همکاران، ۱۴۰۲). از طرفی چالش عمده بخش کشاورزی تأمین نیاز غذایی جهان است (Giri et al., 2023). به همین علت هرگونه عدم تعادل در این تعامل، می‌تواند منجر به کاهش تولید، افزایش هزینه‌های تولید و در نهایت، تهدید امنیت غذایی شود (عباسی، ۱۳۹۳). انرژی به‌عنوان یکی از ارکان اساسی در سامانه‌های تولیدی، نقش اساسی در فرآیندهای تولیدی ایفا می‌کند. برای دستیابی به تولید پایدار، ضروری است که مصرف انرژی به‌دقت ارزیابی و مدیریت شود (Taki et al., 2018). مزیت دیگر تحلیل انرژی، تعیین انرژی مصرفی در مراحل تولید است (Mardani et al., 2022). زیرا با بررسی دقیق مصرف انرژی در هر مرحله، می‌توان نقاطی را که مصرف انرژی بالاتری دارند شناسایی، و با اعمال تغییرات مناسب، بهره‌وری انرژی را افزایش داد. این رویکرد نه تنها به کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری منجر می‌شود، بلکه با کاهش مصرف انرژی، اثرات منفی بر محیط‌زیست نیز کاهش می‌یابد. بنابراین، تحلیل انرژی به‌عنوان ابزاری مؤثر در دستیابی به تولید پایدار و بهینه در بخش کشاورزی و سایر سامانه‌های تولیدی مطرح می‌شود. از سوی دیگر، ارزیابی مصرف انرژی نهاده‌ها به‌عنوان یک ابزار کلیدی برای طراحی، مدل‌سازی و تحلیل عملکرد سامانه‌های کشاورزی توسط بسیاری از محققان در نقاط مختلف دنیا مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (Kitani., 1999). اندازه مزارع، سطح

مکانیزاسیون و نوع محصول کشت شده از جمله عواملی هستند که به‌طور مستقیم بر مصرف انرژی در بخش کشاورزی تأثیر می‌گذارند. در نتیجه، سامانه‌های مختلف تولید محصولات کشاورزی، الگوهای متفاوتی از مصرف انرژی را نشان می‌دهند (Mohammadi et al., 2014). انرژی در حوضه کشاورزی به چهار صورت مستقیم و غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر طبقه‌بندی می‌گردد (Vahedi and Zarifneshat., 2021). انرژی مستقیم، انرژی است که به‌طور مستقیم در مزرعه مصرف می‌شود و شامل نیروی کار انسانی، سوخت برای ماشین‌آلات و تجهیزات، و همچنین آبیاری محصولات کشاورزی است. انرژی غیرمستقیم به انرژی مصرف‌شده در فرایند تولید نهاده‌های کشاورزی مانند کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، بذر، و ماشین‌آلات اشاره دارد. انرژی تجدیدپذیر شامل منابعی مانند نیروی کار انسانی، آب، کودهای حیوانی و بذر است که به‌طور طبیعی قابل تجدید هستند. در مقابل، انرژی تجدیدناپذیر شامل منابعی مانند سوخت‌های فسیلی، انرژی مصرف‌شده در تولید سموم و کودهای شیمیایی و انرژی موردنیاز برای ساخت ماشین‌آلات و تولید برق است که با مصرف آن‌ها منابع طبیعی محدود می‌شوند (Ahmadbeyki et al., 2023). در فرآیند تولید محصولات کشاورزی، نهاده‌های انرژی‌بر مانند سوخت، برق، ماشین‌آلات، بذر، کود و سموم سهم قابل توجهی در مصرف انرژی کل دارند (Hamedani et al., 2011). برق و سوخت فسیلی، به‌ویژه برای تأمین آب آبیاری، دو نهاده اصلی هستند که در بسیاری از مطالعات درباره مصرف انرژی در کشاورزی به آن‌ها اشاره شده است (Zangeneh et al., 2010; Ghasemi-Mobtaker et al., 2012; Mohammadi et al., 2017; Nabavi-Pelesaraei et al., 2014). (بی‌نام، ۱۳۸۴) در ایران میزان انرژی‌های مستقیم مصرفی در بخش کشاورزی حدود ۲۰۴/۳۷ پتاژول تخمین زده شد که حدود ۳/۵ درصد از کل انرژی‌های فسیلی و الکتریسیته کشور است. مصرف انرژی در کشاورزی با توجه به مصرف کودهای شیمیایی، سوخت‌های فسیلی، ماشین‌آلات و الکتریسیته برای تولید نهاده‌های مواد غذایی در حال افزایش است (FAO- NEXUS., 2014). انرژی و آب

بارانی کلاسیک ثابت- آبیاش متحرک، به دلیل راندمان بالای آبیاری، در اراضی پایاب سد مخزنی سوال مورد استفاده قرار گرفتند. این سامانه‌ها معمولاً به انرژی قابل توجهی نیاز دارند و در این منطقه، نیروی ثقل (شیب) و برق (الکتریسیته) به‌عنوان منابع اصلی انرژی برای انتقال و توزیع آب در داخل مزارع به‌کار می‌روند. با توجه به محدودیت‌های منابع انرژی و افزایش هزینه‌های تولید، بهبود بهره‌وری انرژی در حوضه کشاورزی به یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است. شناخت دقیق از مصرف انرژی در سامانه‌های آبیاری، اولین گام برای مدیریت بهینه این منابع ارزشمند است (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۳). امنیت غذایی و تولید کشاورزی، دو چالش بزرگ پیش روی بشریت هستند که به‌طور مستقیم به انرژی وابسته‌اند. برای حل این چالش‌ها، باید به دنبال راه‌کارهایی برای کاهش مصرف انرژی، افزایش بهره‌وری و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در بخش کشاورزی باشیم (Pimentel et al., 1996). بهره‌وری انرژی در کشاورزی زمانی به حداکثر میزان خود می‌رسد که سامانه‌های آبیاری مزارع، علاوه بر عملکرد هیدرولیکی مناسب، از مصرف بهینه انرژی نیز برخوردار باشند (Sánchez-Sutil & Cano, 2021). مطالعات مختلفی در مورد توازن انرژی در سامانه‌های زراعی به انجام رسیده است:

طهماسبی و همکاران (۱۴۰۳)، با بررسی مقایسه‌ای کارایی انرژی دو سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبیاش متحرک و لوله چرخ‌دار در کشت گندم آبی دشت دهگلان به‌ترتیب کل انرژی ورودی و انرژی خروجی ۶۹۱۸۹/۰۴ و ۸۵۹۴۳/۹۷ مگاژول در هکتار و ۱۱۰۷۰۰ و ۱۵۰۱۰۰ مگاژول در هکتار محاسبه کرده بودند. بر این اساس مقادیر شاخص کارایی انرژی مصرفی در دو سامانه به ترتیب ۱/۶۰ و ۱/۷۵ محاسبه شده بود.

نیازمند و همکاران (۱۴۰۲) با بررسی بهره‌وری مصرف آب و انرژی محصول سیب‌زمینی در دو سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت آبیاش متحرک و لوله چرخ‌دار دشت- های دهگلان به‌ترتیب متوسط میزان بهره‌وری آب، متوسط کارایی مصرف انرژی و بهره‌وری مصرف انرژی را ۴/۱، ۴/۱ کیلوگرم در مترمکعب، ۱/۴ و ۱/۴ و ۰/۴ و ۰/۴ کیلوگرم در مگاژول به‌دست آوردند. همچنین متوسط

ورودی‌های اصلی سامانه تولیدات کشاورزی بوده و همچنین انرژی، آب و غذا منابع مهم جهت رفاه زندگی انسان‌ها هستند (Han et al., 2020). مدیریت یک‌پارچه این سه منبع برای پایداری منابع کاری ضروری است (Purwanto et al., 2021) که آگاهی از بهره‌وری آب و انرژی در سامانه‌های آبیاری موجب مدیریت بهتر و بهینه- سازی این دو منبع محدود و با ارزش می‌گردد (غلامی و همکاران، ۱۳۹۴). در این راستا سامانه‌های نوین آبیاری به‌منظور استفاده کارآمد از منابع آب پیش‌رفت چشم‌گیری داشته است. همچنین اطلاع از میزان آب و انرژی مصرفی، میزان بهره‌وری آب و انرژی، و تحلیل این نهاده‌ها در سامانه‌های آبیاری تحت فشار و مقایسه آن با سایر سامانه- های دیگر امری ضروری می‌باشد (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۳).

طبق مطالعات اخیر (Mamaghani et al., 2025; Heydari and Taran., 2025)

گندم و سیب‌زمینی به عنوان محصولات استراتژیک کشاورزی ایران شناسایی شده‌اند که نقش محوری در امنیت غذایی و اقتصاد ملی دارند. گندم با کشت در بیش از ۲۰۰ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی جهان، به‌عنوان وسیع‌ترین محصول زراعی و منبع اصلی غذایی برای بیش از ۲۱ درصد جمعیت جهان شناخته می‌شود (Senbeta and Worku., 2023). همچنین پس از گندم، سیب‌زمینی با تولید سالانه بیش از ۳۷۰ میلیون تن، سومین محصول زراعی جهان از نظر حجم تولید محسوب شده (FAO., 2021) و یکی از محبوب‌ترین گیاهان خوراکی دنیا نیز محسوب شده است (Kowalczyk., 2019). با در نظر گرفتن نقش محوری محصول گندم و سیب‌زمینی در امنیت غذایی ملی، سیاست‌گذاری در حوزه آب و انرژی باید بر این دو محصول تمرکز ویژه داشته باشد. از این‌رو محصولات مورد مطالعه در این پژوهش گندم و سیب- زمینی است.

در اراضی پایین‌دست سد مخزنی سوال، عمدتاً از سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبیاش متحرک استفاده می‌شود. همچنین، در برخی مزارع، سامانه‌های آبیاری سطحی و آبیاری بارانی کلاسیک نیمه‌ثابت نیز به‌کار گرفته شده بود. سامانه‌های آبیاری

هند، برآورد نمود. نتایج حاصله حاکی از کارایی بسیار بالای مصرف انرژی در تولید محصول سیبزمینی به میزان ۱/۸ واحد بود.

Ghadami-Firouzabadi and Akbari, (2024) به بررسی تاثیر انواع سامانه‌های آبیاری بر میزان حجم آب مصرفی و عملکرد محصول گندم در استان همدان پرداختند. نتایج نشان داد که میانگین حجم آب مصرفی به ترتیب برای سه سامانه آبیاری قطره‌ای، بارانی و سطحی ۴۱۵۳، ۴۰۹۰ و ۵۹۱۸ مترمکعب در هکتار بوده و میزان متوسط عملکرد مربوط به سامانه آبیاری قطره‌ای به میزان ۵۵۸۱ کیلوگرم در هکتار و در دو سامانه آبیاری بارانی و سامانه آبیاری سطحی به ترتیب ۴۳۸۱ و ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند.

با توجه به اهمیت صرفه‌جویی در مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی، یافته‌های این تحقیق می‌تواند در اتخاذ تصمیمات مدیریتی و تدوین برنامه‌های آینده، راه‌گشا باشد. بنابراین هدف اصلی این پژوهش، بررسی الگوی مصرف انرژی در مزارع سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت-آپاش متحرک است که با دو منبع انرژی، یعنی الکتریسیته (برق مصرفی) و نیروی جاذبه (ناشی از شیب زمین)، برای آبیاری مزارع گندم و سیبزمینی (محصولات اصلی منطقه) استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های مکانی و جغرافیایی منطقه مورد

مطالعه

سد مخزنی سورال و اراضی پایاب آن، یکی از مناطق کلیدی کشاورزی مکانیزه در غرب ایران هستند و تأثیر چشم‌گیری بر اقتصاد و کشاورزی استان کردستان دارند. این منطقه در ۳ کیلومتری جنوب غربی روستای سورال و ۲۶ کیلومتری شرق شهرستان دهگلان واقع شده و با مختصات جغرافیایی ۳۵/۱۷ تا ۳۵/۲۰ درجه شمالی و ۴۷/۲۲ تا ۴۷/۲۸ درجه شرقی مشخص می‌شود. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۸۹۰ متر است و میانگین بارندگی سالانه این منطقه در دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰، در بازه‌ای بین ۴۵۵ تا ۶۰۰ میلی‌متر قرار داشت (آب منطقه ای استان کردستان). اراضی زیر کشت، مساحتی حدود

شاخص انرژی ویژه را به ترتیب ۲/۷ و ۲/۵ مگاژول در کیلوگرم گزارش کردند.

اجاقلو و همکاران (۱۴۰۲) بر اساس نتایج حاصل از بررسی اثر مدیریت آبیاری بر شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب گیاه یونجه در استان زنجان میانگین حجم آب مصرفی در مزارع یونجه را در حدود ۱۴۲۵۰ مترمکعب در هکتار، میانگین شاخص بهره‌وری مصرف آب ۰/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب و شاخص بهره‌وری فیزیکی آب و شاخص بهره‌وری اقتصادی آب را به ترتیب ۱۶/۱ و ۸/۹ هزار ریال بر مترمکعب گزارش کردند.

عاشوری و همکاران (۱۴۰۲) به ارزیابی میزان مصرف آب و انرژی در سطح مزارع شبکه قزوین پرداختند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین انرژی مصرفی در تمامی محدوده‌های زراعی درجه دو در مصرف انرژی مربوط به به سوخت دیزل با ۴۰ درصد از کل انرژی و در مصرف غیر مستقیم انرژی متعلق به کود نیتروژن با ۲۰ درصد از کل انرژی مصرفی محاسبه شد.

Bonou-Zin et al. (2019) با محاسبه شاخص‌های مصرف انرژی، انرژی مخصوص و بهره‌وری انرژی گندم در استان پنجاب هند به ترتیب ۱/۴ و ۹/۲۷ مگاژول در کیلوگرم و ۰/۱۰ کیلوگرم در مگاژول گزارش کردند.

Firouzabadi et al. (2021) در پژوهشی که در ایستگاه اکباتان همدان انجام شد، تاثیر فاصله ردیف‌های گندم و فاصله نوارهای آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و بهره‌وری آب در خاک لوم رسی شنی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که آبیاری قطره‌ای به‌طور قابل توجهی مصرف آب را کاهش داده و بهره‌وری آب را افزایش داده است.

Ghasemi-Mobtaker et al. (2022) با مطالعه ارزیابی شاخص‌های مصرف انرژی و آب برای تولید علوفه هیدروپونیک در منطقه مرکزی ایران (اصفهان) با استفاده از پرسشنامه‌های شفاهی پرداختند. نتایج نشان داد که کل انرژی مصرفی برای یک تن علوفه هیدروپونیک ۵۰۶۰/۴۰ مگاژول و همچنین نسبت بهره‌وری انرژی و نسبت انرژی به ترتیب ۰/۲۰ و ۰/۳۳ کیلوگرم در مگاژول و بهره‌وری آب حدود ۲۸۷ کیلوگرم در مترمکعب بود.

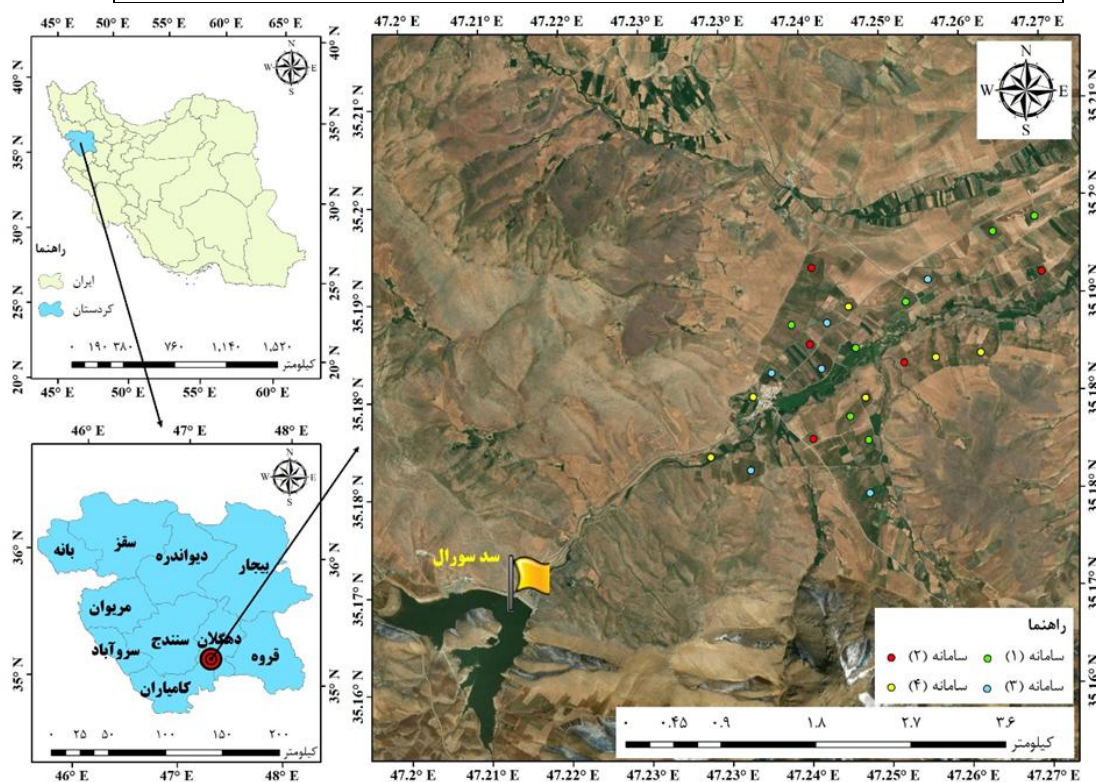
Khar and Zaffar (2023) کارایی مصرف انرژی در کشت گیاه سیب‌زمینی را در مناطق جامو و کشمیر کشور

بندی شدند. شکل (۱)، موقعیت مکانی و جغرافیایی سد مخزنی سورال و مزارع انتخابی و زمین‌های کشاورزی تحت پوشش آن، در جغرافیای ایران، استان کردستان، شهرستان دهگلان و مناطق پایین‌دست را نمایش داده است.

۱۲۵۰ هکتار را شامل می‌شود که محصولات عمده آن گندم و سیب‌زمینی هستند. سامانه آبیاری مورد استفاده، از نوع بارانی کلاسیک ثابت-آبیاش متحرک است که به کمک انرژی برق و نیروی جاذبه (ثقل)، نیاز آبی محصولات را تأمین می‌گردد همچنین در دشت مذکور ۲۶ مزرعه به مساحت ۱۰۰ هکتار به‌طور تصادفی و پراکنده از بین مزارع انتخاب شد. مزارع در چهار گروه طبق جدول (۱) دسته

جدول (۱) نام‌گذاری مزارع مورد مطالعه

مزارع	توضیحات
سامانه (۱)	سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت آبیاش متحرک با منبع تأمین انرژی برق در مزارع گندم
سامانه (۲)	سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت آبیاش متحرک با منبع‌تأمین انرژی ثقل در مزارع گندم
سامانه (۳)	سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت آبیاش متحرک با منبع تأمین انرژی برق در مزارع سیب‌زمینی
سامانه (۴)	سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت آبیاش متحرک با منبع تأمین انرژی ثقل در مزارع سیب‌زمینی



شکل (۱) موقعیت مزارع، سد مخزنی سورال، منطقه مورد مطالعه، شهرستان دهگلان، استان کردستان

جمع‌آوری شد. برای صحت‌سنجی داده‌ها، اطلاعات جمع‌آوری‌شده با استفاده از آمار و داده‌های موجود در سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان و همچنین مشورت با کارشناسان و متخصصان کشت گندم و سیب‌زمینی در منطقه تأیید و بررسی شد. تجربیات کشاورزان نیز با داده‌های کارشناسان مقایسه و تطبیق داده شد تا از دقت اطلاعات اطمینان حاصل شود. پس از

شیوه گردآوری اطلاعات

اطلاعات مورد نیاز برای این تحقیق، شامل جزئیات عملیات زراعی، نوع و مقدار نهاده‌های مصرفی و عملکرد محصولات گندم و سیب‌زمینی، از طریق مراجعه مستقیم به کشاورزان منطقه و تکمیل پرسشنامه‌ها به‌صورت چهره‌به‌چهره در سال‌های زراعی ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳

از جمله نهاده‌های کلیدی در کشاورزی مدرن به‌شمار می‌آیند، در این پژوهش به‌ویژه نیتروژن، فسفر و پتاس، بررسی و مقدار مصرف آن‌ها در مزارع محاسبه شد. این کودها با تأمین مواد مغذی برای گیاهان، به‌طور قابل توجهی بر تولید و عملکرد محصولات کشاورزی تأثیر می‌گذارند. علاوه بر کودهای شیمیایی، در برخی از مزارع، گندم کود دامی نیز استفاده می‌شد که مقدار مصرف آن‌ها به‌دقت ثبت گردید. در نهایت، انرژی مصرفی کودها با استفاده از ضریب تبدیل انرژی به مگاژول در هکتار معادل‌سازی شد. در مزارع سیب‌زمینی، به‌جای استفاده از کود دامی، از کود مرغی بهره‌برداری می‌شد. با این حال، به دلیل نبود مرجع مشخصی برای ضریب تبدیل انرژی این نوع کود در مطالعات پیشین، امکان استفاده از یک ضریب ثابت برای این مطالعه وجود نداشت. در این راستا، پس از مشورت با کارشناسان گروه زراعت استان، توافق گردید که ضریب تبدیل انرژی برای کود مرغی مصرفی در مزارع سیب‌زمینی، دو برابر ضریب استاندارد برای کود دامی در نظر گرفته شود. بنابراین، مقدار $0/6$ مگاژول انرژی به‌ازای هر هکتار برای این کود در محاسبات لحاظ گردید. در این تحقیق، مواد شیمیایی مورد استفاده برای کنترل آفات و بیماری‌ها در کشاورزی شامل قارچ‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. این مواد به‌عنوان نهاده‌های شیمیایی، در عملیات مختلفی از جمله کنترل آفات و بیماری‌ها در طول فصل رشد زراعی محصولات مذکور استفاده می‌شوند. میزان مصرف هر یک از این مواد، بسته به نوع و عملیات مورد نظر، ثبت و معادل انرژی آن‌ها محاسبه شد. یکی از مهم‌ترین نهاده‌های ورودی که در این پژوهش به‌دقت محاسبه شد، آب مصرفی بود. آب مورد نیاز برای آبیاری مزارع در دشت پایاب سورال از سد سورال تأمین می‌شود. این آب با دبی ۱ لیتر بر ثانیه در هر هکتار برای تأمین نیاز آبی شبکه آبیاری اختصاص می‌یابد (آب منطقه‌ای استان کردستان). برای تأمین فشار در شبکه آبیاری، از پمپ‌های الکتریکی و ثقل استفاده می‌شود. میزان برق مصرفی برحسب (کیلووات ساعت) این پمپ‌ها در طول فصل زراعی رشد محصولات از اداره برق شهرستان دهگلان دریافت و سپس با استفاده از ضریب تبدیل انرژی، به مگاژول در هکتار تبدیل گردید. به این ترتیب، میزان مصرف برق به‌عنوان

جمع‌آوری داده‌ها، برای هر پارامتر میانگین‌گیری انجام شد تا نتایج دقیق‌تری به‌دست آید. یکی از بخش‌های مهم این تحقیق، استفاده از ضرایب هم‌ارزی انرژی بود که برای مقایسه منابع مختلف انرژی (مثل سوخت، برق و سایر منابع) استفاده شد جدول (۲). این ضرایب به ما کمک کردند تا بتوانیم تمامی انرژی‌ها را به یک واحد معادل تبدیل کنیم و بنابراین مقایسه‌ای دقیق و یکپارچه بین مصرف انرژی برای تولید محصولات گندم و سیب‌زمینی و دیگر نهاده‌ها انجام دهیم. در مرحله بعدی، داده‌های مربوط به انرژی ورودی (مصرفی) و خروجی (برونداد) برای تولید محصولات مذکور تجزیه و تحلیل شدند. هدف از این تحلیل، درک بهتر از میزان انرژی مصرفی و شناسایی الگوهای مصرف انرژی بود. در این مزارع، از گندم آبی (گونه پیشگام) و سیب‌زمینی (گونه جیلی) به‌عنوان محصولات کشت‌شده استفاده شد.

نهاده‌های مصرفی (ورودی) و تولیدی (خروجی)

انرژی نیروی انسانی به‌عنوان یکی از نهاده‌های ورودی، با استفاده از ضریب تبدیل $1/96$ مگاژول بر ساعت فعالیت محاسبه گردید. به‌منظور تعیین دقیق‌تر میزان انرژی مصرفی، محاسبات مربوط به کل مراحل از عملیات کشاورزی (شامل کاشت، داشت و برداشت) به صورت مجزا در تمام مزارع انجام شد. در نهایت، نتایج به دست آمده بر حسب مگاژول در هکتار استانداردسازی و ارائه گردید. نهاده ماشین‌آلات یکی دیگر از ارکان اساسی در محاسبه مصرف انرژی بودند. ساعات کارکرد ماشین‌آلات و ادوات کشاورزی مختلف که از مرحله کاشت تا برداشت و حمل‌ونقل در تمامی فرآیندهای زراعی مورد استفاده قرار گرفتند، به‌طور دقیق ثبت شد و با استفاده از ضرایب جدول (۲) به واحد انرژی ارائه شد. میزان مصرف سوخت (گازوئیل) در هر یک از این ماشین‌آلات، که برای شخم، آبیاری، کوددهی، سم‌پاشی، برداشت و حمل‌ونقل محصولات گندم تا سیلو و سیب‌زمینی تا انبار استفاده می‌شد، محاسبه و با استفاده از ضرایب انرژی سوخت، میزان انرژی مصرفی ماشین‌آلات به مگاژول در هکتار تبدیل گردید. این نهاده‌ها تأثیر قابل توجهی در ارزیابی بهره‌وری انرژی و تحلیل مصرف منابع در کشاورزی داشتند. کودهای شیمیایی که

محاسبه این شاخص‌ها از روابط ۱ تا ۴ استفاده شد (Kitani, 1999). کلیه اطلاعات ثبت شده در طول فرآیند زراعی در صفحه گسترده اکسل وارد و کلیه محاسبات با استفاده از این نرم‌افزار انجام شد. همچنین سهم هریک از انرژی‌های مستقیم (نیروی انسانی، سوخت دیزل، الکتریسیته و آب آبیاری) انرژی غیرمستقیم (شامل سایر نهاده‌های ورودی به استثنای انرژی‌های مستقیم)، انرژی تجدیدپذیر (نیروی انسانی و بذر) و انرژی تجدیدناپذیر (شامل سایر نهاده‌های ورودی به استثنای انرژی‌های تجدیدپذیر) محاسبه شدند.

یکی از نهاده‌های مستقل، وارد محاسبات انرژی گردید. در نهایت، بذر مصرفی هر محصول نیز به دقت در واحد هکتار ثبت شد. برای محاسبه انرژی مصرفی بذر، از ضریب تبدیل استفاده گردید و میزان انرژی بذر به مگاژول در هکتار محاسبه شد. عملکرد دانه گندم و سیب‌زمینی و همچنین میزان کاه و کلش در واحد هکتار ثبت شد و سپس به-عنوان نهاده‌های خروجی مورد بررسی قرار گرفتند.

سنجه‌های ارزیابی انرژی

با توجه به معادل انرژی ورودی و خروجی، شاخص‌های انرژی محاسبه گردید. با استفاده از این شاخص‌ها امکان مقایسه سامانه‌ها فراهم می‌آید. برای

$$(1) \quad \text{نسبت انرژی} = \frac{\text{مقدار انرژی خروجی (Mj ha}^{-1}\text{)}}{\text{مقدار انرژی ورودی (Mj ha}^{-1}\text{)}}$$

$$(2) \quad \text{انرژی ورودی (Mj ha}^{-1}\text{)} - \text{انرژی خروجی (Mj ha}^{-1}\text{)} = \text{انرژی خالص (Mj ha}^{-1}\text{)}$$

$$(3) \quad \text{بهره‌وری انرژی مصرفی (Kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{عملکرد محصول (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{انرژی ورودی (Mj ha}^{-1}\text{)}}$$

$$(4) \quad \text{انرژی ویژه (Mj kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{انرژی ورودی (Mj ha}^{-1}\text{)}}{\text{عملکرد محصول (kg ha}^{-1}\text{)}}$$

جدول (۲) هم‌ارزی انرژی برای نهاده‌های ورودی و خروجی

مرجع	معادل انرژی (مگاژول در واحد)	واحد مصرف	انرژی نهاده یا ستانده
Singh et al., 2002	۱/۹۶	ساعت	نیروی انسانی
Kitani, 1999	۱۳۸	ساعت	تراکتور
Kitani, 1999	۶۲/۷۰	ساعت	ماشین‌ها
Kitani, 1999	۱۱۶	ساعت	کمپاین
Singh et al., 2002	۵۶/۳۱	لیتر	سوخت گازوئیل
Yilmaz et al., 2005	۶۶/۱۴	کیلوگرم	نیتروژن
Yilmaz et al., 2005	۱۲/۴۴	کیلوگرم	فسفات
Yilmaz et al., 2005	۱۱/۱۵	کیلوگرم	پتاسه
Kitani, 1999	۱/۱۲	کیلوگرم	گوگرد
Kitani, 1999	۱۲۰	کیلوگرم یا لیتر	ریز مغذی‌ها
Asgharipour et al., 2012	۰/۳۰	کیلوگرم	کود حیوانی
-	۰/۶۰	کیلوگرم	کود مرغی*
Asgharipour et al., 2012	۹۲	کیلوگرم	قارچ کش
Asgharipour et al., 2012	۲۳۸	کیلوگرم	علف‌کش
Asgharipour et al., 2012	۱۹۹	کیلوگرم	حشره‌کش
Asgharipour et al., 2012	۱/۰۲	مترمکعب	آب آبیاری
Burhan, et al., 2004	۱۱/۹۳	کیلووات‌ساعت	الکتریسیته
Kitani, 1999	۳/۶۰	کیلوگرم	بذر سیب‌زمینی

BeheshtiTabar <i>et al.</i> , 2010	۱۴/۷۰	کیلوگرم	بذر گندم آبی
			ب) انرژی نهاده خروجی
Burhan, <i>et al.</i> , 2004	۱۴/۷۰	کیلوگرم	گندم آبی
Singh and Mittal (1992)	۱۲/۵۰	کیلوگرم	کاه و کلش
Kitani., 1999	۳/۶۰	کیلوگرم	سیبزمینی

* با توجه به اطلاعات موجود، معادل انرژی کود مرغی به طور دقیق در منابع ذکر نشده است. با این حال، با توجه به این که کود مرغی حاوی مقادیر بالاتری از نیتروژن، فسفر و پتاسیم نسبت به کودهای حیوانی دیگر مانند کود گاوی است، می توان تخمین زد که معادل انرژی آن بیش تر از کود گاوی باشد. با توجه به این که معادل انرژی کود گاوی حدود ۰/۳ مگاژول بر کیلوگرم است، می توان برای کود مرغی مقداری بین ۰/۴ تا ۰/۸ مگاژول بر کیلوگرم را به عنوان تخمین اولیه در نظر گرفت.

جدول (۳) ارائه شده است. همچنین شکل های (۱) و (۲) سهم هر یک از نهاده های ورودی را برای تولید محصولات گندم و سیبزمینی در هر سامانه را به تفکیک نمایش می دهد.

یافته ها

ارزیابی و تجزیه و تحلیل انرژی های ورودی و

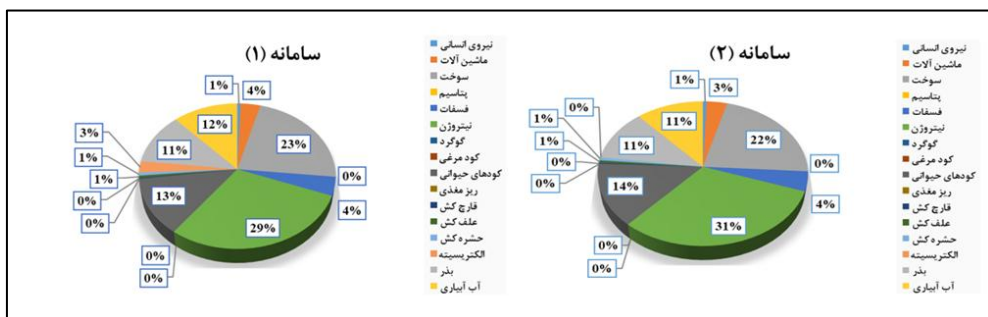
خروجی

مقدار انرژی نهاده های مصرفی در مزارع انتخابی برای تولید گندم آبی و سیبزمینی در چهار سامانه مذکور در

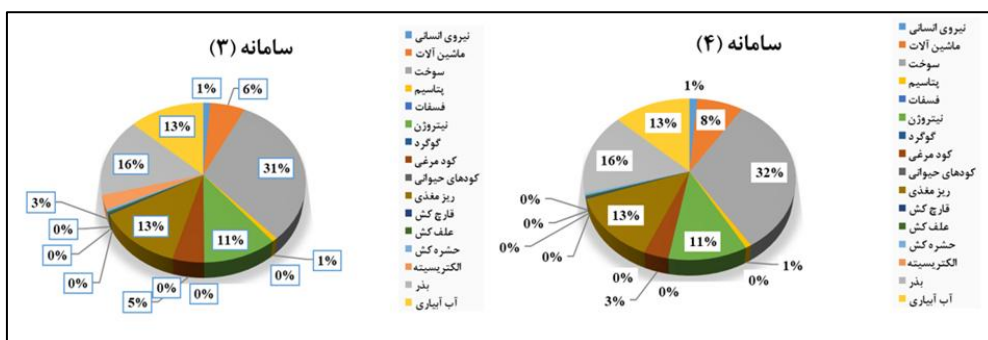
جدول (۳) میزان مصرف انرژی نهاده های مصرفی برای تولید محصولات گندم آبی و سیبزمینی (مگاژول در هکتار

سیبزمینی		گندم آبی		انرژی نهاده ها
سامانه ۳	سامانه ۴	سامانه ۲	سامانه ۱	
				ورودی ها
۱۱۴۸/۵۶	۱۱۱۰/۳۴	۲۷۳/۲۲	۲۷۴/۸۳	نیروی انسانی
۶۹۶۲/۷۰	۵۶۱۰/۳۰	۱۴۶۱/۴۰	۱۵۹۹/۴۰	ماشین آلات
۲۸۷۷۴/۴۱	۲۴۳۸۲/۲۳	۹۳۱۳/۶۷	۱۰۱۳۵/۸۰	سوخت
۹۹۲۱	۹۹۲۱	۱۳۲۲۸	۱۳۲۲۸	نیتروژن
.	.	۱۸۶۶	۱۸۶۶	کود فسفره
۷۲۴/۷۵	۷۲۴/۷۵	.	.	کود پتاسه
۱۶/۸۰	۱۶/۸۰	.	.	گوگرد
۱۱۸۸۰	۱۱۶۴۰	.	.	ریزمغذی ها
.	.	۵۷۰۰	۶۰۰۰	کود حیوانی
۳۱۲۰	۴۲۰۰	.	.	کود مرغی
۳۵۷	۳۹۲/۷۰	۲۳۸	۲۳۸	علف کش
۲۳۰	۲۳۰	۹۲	۹۲	قارچ کش
۲۹۸/۵۰	۲۹۸/۵۰	۳۹۸	۳۹۸	حشره کش
۱۴۷۶۰	۱۴۷۶۰	-	-	بذر سیبزمینی
-	-	۵۱۴۵	۴۸۵۱	بذر گندم
-	۲۶۸۶/۵۳	-	۱۱۳۰/۳۰	برق مصرفی
۱۱۵۶۴/۰۱	۱۲۰۸۲/۲۷	۴۸۵۰/۲۳	۵۳۱۹/۶۰	آب آبیاری
۸۹۸۵۷/۲۳	۹۲۵۴۷/۱۰	۴۲۴۷۲/۰۳	۴۵۰۲۷/۴۳	کل انرژی ورودی
				خروجی ها
-	-	۹۵۵۵۰	۸۸۲۰۰	دانه گندم آبی

کاه و کلش	۲۲۵۰۰	۲۴۰۰۰	-	-
سیبزمینی	-	-	۱۲۷۸۰۰	۱۳۶۸۰۰
کل انرژی خروجی	۱۱۰۷۰۰	۱۱۹۵۵۰	۱۲۷۸۰۰	۱۳۶۸۰۰



شکل (۲) سهم هریک از نهاده‌ها در تولید محصول گندم آبی سامانه (۱) و سامانه (۲)



شکل (۳) سهم هریک از نهاده‌ها در تولید محصول سیبزمینی آبی سامانه (۳) و سامانه (۴)

درصد (معادل ۱۳۲۲۸ مگاژول در هکتار) در سامانه (۱) و ۳۱/۱۴ درصد (معادل ۱۳۲۲۸ مگاژول در هکتار) در سامانه (۲). سایر نهاده‌ها شامل کود دامی (۱۲/۶۵٪) و آب آبیاری (۱۱/۸۱٪ و ۱۱/۴۱٪)، ماشین‌آلات (۳/۵۵٪ و ۳/۴۴٪)، برق مصرفی (الکتروسیسته) (۲/۵۱٪ و ۰٪) و سموم شیمیایی (۱/۳۹٪ و ۱/۴۹٪) بودند و در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. نیروی انسانی با سهم تقریباً ۰/۶۰ درصدی (۲۷۴/۸۴ مگاژول در هکتار) کم‌ترین میزان انرژی را در هر دو سامانه مذکور را به خود اختصاص داده بود جدول (۳). به‌طور خلاصه، کودهای شیمیایی (به ویژه نیتروژن) و سوخت، بیش‌ترین و نیروی انسانی کم‌ترین سهم را در مصرف انرژی در هر دو سامانه کشت گندم آبی داشتند. میانگین عملکرد دانه گندم آبی ۶۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در سامانه (۱)، و در سامانه (۲) ۶۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بود و کل انرژی خروجی در سامانه (۱) و سامانه (۲) به ترتیب ۱۱۰۷۰۰ و ۱۱۹۵۵۰ مگاژول در هکتار به دست آمد. (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۳)، به ازای هر

مجموع انرژی ورودی در دو سامانه (۱) و (۲)، به ترتیب ۴۵۰۲۷/۴۳ و ۴۲۴۷۲/۰۳ مگاژول در هکتار بود. که تقریباً سامانه (۱) به میزان ۶ درصد بیش‌تر از سامانه (۲) بود که تفاوت اصلی در مصرف انرژی بین دو سامانه مذکور به دلیل استفاده از برق است؛ زیرا سامانه (۲) با بهره‌گیری از انرژی ثقل برای آبیاری مزارع، نیازی به مصرف برق ندارد. در هر دو سامانه کشت گندم آبی سامانه‌های (۱) و (۲)، کودهای شیمیایی و سوخت (گازوئیل) بیش‌ترین سهم را در مصرف انرژی ورودی را به خود اختصاص دادند. سامانه (۱)، ۳۱ درصد (معادل ۱۵۰۹۴ مگاژول در هکتار) انرژی مربوط به کودهای شیمیایی و ۲۲ درصد (معادل ۱۰۱۳۵/۸۰ مگاژول در هکتار) مربوط به سوخت (گازوئیل) بود، در حالی که در سامانه (۲)، این مقادیر به ترتیب ۳۵ درصد (معادل ۱۵۰۹۴ مگاژول در هکتار) و ۲۱ درصد (معادل ۹۷۱۳/۶۷ مگاژول در هکتار) بود. در میان کودهای شیمیایی مصرفی، کود نیتروژن بیش‌ترین مصرف انرژی را داشت؛ ۲۹/۳۱

در مزارع سیب‌زمینی، الگوی مصرف انرژی نهاده‌ها، تمایز قابل توجهی با مزارع گندم نشان می‌دهد. کل انرژی ورودی (مصرفی)، در هر هکتار سیب‌زمینی در سامانه‌های (۳) و (۴)، به ترتیب معادل $92547/11$ و $89857/23$ مگاژول در هکتار محاسبه گردید که سامانه (۳)، تقریباً به میزان ۳ درصد بیش‌تر از سامانه (۴) بود. در سامانه مزارع (۴)، آبیاری مزارع با استفاده از نیروی جاذبه زمین که بر اثر شیب طبیعی زمین ایجاد گردیده بود انجام می‌شد. به همین دلیل، سامانه مزارع (۱)، به دلیل استفاده از برق برای توزیع آب در مزارع تحت پوشش خود، انرژی ورودی بیش‌تری مصرف می‌کرد. به عبارت دیگر، سامانه (۴)، با استفاده از روش آبیاری ثقلی، نیازی به صرف انرژی خارجی برای پمپاژ آب در مزارع تحت پوشش خود نداشت، در حالی که این موضوع در سامانه (۱)، به دلیل استفاده از سامانه‌های پمپاژ برقی، متفاوت بود و منجر به مصرف بیش‌تر انرژی می‌شد. بنابراین، تفاوت عمده در میزان انرژی مصرفی بین این دو سامانه (۳ و ۴) به دلیل استفاده از برق در سامانه (۳) است. بر خلاف مزارع گندم در مزارع سیب‌زمینی نهاده‌های سوخت (گازوئیل) در سامانه (۳) و (۴)، به ترتیب $31/09$ درصد (معادل $28774/41$ مگاژول در هکتار) و $32/02$ درصد (معادل $28774/41$ مگاژول در هکتار) بیش‌ترین مصرف انرژی را به خود اختصاص داد. نهاده‌های بذر ($15/94\%$ و $16/43\%$ ، کودهای شیمیایی ($24/09\%$ و $25/08\%$ ، بذر مصرفی ($15/94\%$ و $16/42\%$ ، آب آبیاری ($13/05\%$ و $12/86\%$ ، ماشین‌آلات و ادوات کشاورزی ($6/06\%$ و $7/74\%$ ، کود مرغی ($4/54\%$ و $3/47\%$ ، برق ($2/90\%$ و 0% ، به ترتیب در رتبه‌های بعدی نهاده مصرفی مزارع سیب‌زمینی (سامانه ۱ و ۲) قرار داشتند. نیروی انسانی ($1/19\%$ و $1/27\%$) با سموم مصرفی ($1/10\%$ و $1/09\%$) مشترک به عنوان کم‌ترین نهاده‌های مصرفی مزارع مذکور شناسایی شدند. با توجه به نقش محوری سوخت (گازوئیل)، بذر و کودهای شیمیایی به‌عنوان سه نهاده‌ی کلیدی در مصرف انرژی مزارع سیب‌زمینی، مدیریت بهینه‌ی آن‌ها نقشی تعیین‌کننده در کاهش مصرف انرژی، افزایش بهره‌وری و کاهش اثرات زیست‌محیطی ایفا می‌کند. سوخت، نیروی محرکه اصلی ماشین‌آلات در تمامی مراحل تولید است و مدیریت آن شامل انتخاب ماشین‌آلات با راندمان بالا،

هکتار از مزارع گندم آبی در دشت‌های دهگلان، مجموع انرژی‌های ورودی $69189/04$ مگاژول برآورد کردند. (Taghinazhad and Vahedi., 2022) مجموع انرژی خروجی گندم آبی در استان اردبیل $65016/07$ مگاژول در هکتار به‌دست آوردند. میزان انرژی مصرفی برای تولید گندم آبی در شرایط مختلف متفاوت است به‌طوری‌که در شرایط منطقه‌ای مشهد در حدود $45367/63$ مگاژول در هکتار (Ghorbani et al., 2011) در سیستان و بلوچستان بدون احتساب برق مصرفی $32492/97$ مگاژول در هکتار (Ziaei et al., 2013)، در استان اردبیل تقریباً $38755/34$ مگاژول در هکتار (تقی-نژاد و واحدی ۱۴۰۰)، در ایالات ماماریای ترکیه $20635/50$ مگاژول در هکتار (Tipi, Cetin, & Vardar, 2009) و در استان همدان بدون احتساب آب مصرفی $47591/52$ مگاژول در هکتار گزارش شده (قاسمی مبتکر، ۱۳۹۸) بود. اختلاف اصلی مشاهده‌شده در این مطالعه به تفاوت در مدیریت کشاورزی و نحوه استفاده از نهاده‌ها توسط بهره‌برداران و کشاورزان مربوط می‌شود. هرچند تأثیر میزان انرژی ورودی کم‌تر از تفاوت در بهره‌وری و کارایی انرژی است، اما شناسایی نهاده‌های مصرفی انرژی و تعیین سهم هرکدام در تولید محصول مورد نظر از اهمیت بالایی برخوردار است. برای مثال، برخلاف نتایج این مطالعه که سوخت و کودهای شیمیایی به‌عنوان پرمصرف‌ترین نهاده گزارش شد، در شرایط منطقه‌ای نتایج متفاوتی مشاهده شده است. در مشهد، مواد شیمیایی بیش‌ترین سهم مصرف انرژی را داشتند (Ghorbani et al., 2011) در همدان و گرگان سوخت‌های فسیلی غالب بودند (Ghasemi Mobtaker., 2020) و در سیستان و بلوچستان مصرف کودهای شیمیایی بیش‌ترین میزان را به خود اختصاص داد (ضیایی و همکاران، ۱۳۹۲). با این حال، در مطالعات دیگری، مانند پژوهش (تقی نژاد و واحدی، ۱۴۰۰)، مشخص شد که برای تولید گندم آبی، انرژی برق بیش‌ترین سهم از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است، به‌طوری‌که در استان اصفهان $55/62$ درصد و در استان خراسان رضوی $50/37$ درصد از کل انرژی ورودی مربوط به این منبع بوده است ().

این تنوع در میزان انرژی مصرفی به عوامل متعددی از جمله رقم سیب‌زمینی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، طول دوره‌ی رشد، نوع سامانه آبیاری، نوع و موقعیت منبع آب، منبع تأمین انرژی و سایر عوامل مرتبط با مراحل کاشت، داشت و برداشت بستگی دارد.

تجزیه و تحلیل مصرف نهاده‌ها در سامانه‌های تولید محصولات کشاورزی بیانگر آن است که در سامانه‌های متکی به چاه عمیق برای تأمین آب، مصرف برق بیش‌ترین سهم را در مصرف انرژی به خود اختصاص می‌دهد. این نتیجه توسط مطالعات متعدد (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۳؛ نیازمند و همکاران، ۱۴۰۲؛ قاسمی مبتکر، ۱۳۹۸؛ Aliabadi et al., 2015) نیز تأیید شده است. عوامل متعددی از جمله ویژگی‌های هیدرولیکی آبخوان (مانند عمق سطح ایستابی)، فاصله‌ی چاه تا مزرعه، شیب زمین و راندمان پمپ، بر میزان برق مصرفی تأثیرگذارند. همچنین، دبی چاه و زمان آبیاری نیز در این زمینه نقش دارند. در سامانه‌های آبیاری کلاسیک-آپاش متحرک، فشار و فاصله‌ی بال‌ها به ترتیب ۴۰ متر و ۲۰ تا ۲۲ متر در نظر گرفته می‌شوند. در مطالعات پیشین، نیاز به پمپاژ آب از عمق زمین، عامل اصلی مصرف بالای برق بوده است. در مطالعه‌ی حاضر، استفاده از انتقال ثقلی آب از سد و سپس توزیع آن با برق، باعث کاهش قابل توجه مصرف برق در مقایسه با روش پمپاژ مستقیم شده است. نتایج حاصل از بررسی میزان انرژی مصرفی در تولید گندم آبی و سیب‌زمینی در چهار سامانه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که نهاده‌های نیروی انسانی و آفت‌کش‌ها (شامل انواع قارچ‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و علف‌کش‌ها)، کم‌ترین میزان انرژی را در مقایسه با سایر نهاده‌ها به خود اختصاص داده‌اند. این یافته با گزارش‌های پیشین (Kizilaslan., 2009; Mohammadi et al., 2014; Nabavi-Pelesaraei et al., 2017) مبنی بر سهم اندک انرژی مصرفی نیروی انسانی دارند.

تنظیم صحیح ادوات، اجرای به موقع عملیات، استفاده از روش‌های نوین خاک‌ورزی می‌شود. بذر، عامل اصلی تولید محصول بوده و استفاده از بذره‌های اصلاح‌شده و (سورت ۷) کاملاً مرتب و تفکیک شده، رعایت تراکم کاشت مناسب، نگهداری صحیح آن از قبیل کشت از اهمیت بالایی برخوردار است. کودهای شیمیایی نیز در تأمین عناصر غذایی و افزایش عملکرد نقش دارند، اما مدیریت آن‌ها شامل انجام آزمون خاک، استفاده از توصیه‌های کودی، بهره‌گیری از کودهای آلی و زیستی، روش‌های نوین کوددهی و مدیریت تلفیقی آفات و بیماری‌ها برای کاهش مصرف بی‌رویه و حفظ محیط‌زیست ضروری است. در نهایت، مدیریت تلفیقی و هوشمندانه این سه نهاده، با در نظر گرفتن شرایط خاص هر مزرعه، به دستیابی به تولید پایدار سیب‌زمینی کمک می‌کند. این توزیع نشان می‌دهد که مدیریت بهینه مصرف سوخت، بذر و کودهای شیمیایی، بیش‌ترین تأثیر را در کاهش مصرف انرژی و بهبود بهره‌وری در تولید سیب‌زمینی خواهد داشت. میانگین عملکرد در هر دو سامانه مذکور به ترتیب ۳۵۵۰۰ کیلوگرم و ۳۸۰۰۰ کیلوگرم و کل انرژی خروجی ۱۲۷۸۰۰ و ۱۳۶۸۰۰ مگاژول در هکتار محاسبه شد جدول (۳). (نیازمند و همکاران، ۱۴۰۲)، میزان کل انرژی مصرفی متوسط در کشت سیب‌زمینی در دشت‌های دهگلان استان کردستان راه، با استثنای سوخت مصرفی ماشین‌آلات و انرژی مورد نیاز برای رانندگی ادوات و ماشین‌های کشاورزی، حدود ۱۱۱۴۱۳ مگاژول به ازای هر هکتار محاسبه کرده‌اند. از طرف دیگر میزان کل انرژی مصرفی سیب‌زمینی در استان‌های مختلف ایران، ارقام متفاوتی را نشان می‌دهد. بر اساس پژوهش‌های انجام شده، این میزان در استان همدان توسط قادرزاده و پیرمحمدیانی (۱۳۹۸) ۶۰۷۸۳ مگاژول در هکتار و توسط همدانی و همکاران (۲۰۱۱) ۹۲۲۹۶ مگاژول در هکتار گزارش شده است. همچنین، فیض‌بخش و همکاران (۱۳۹۸) این مقدار را برای استان گلستان ۸۳۰۰۰ مگاژول در هکتار و ایزدخواه شیشوان و همکاران (۱۳۸۹) برای استان آذربایجان شرقی در کشت متداول و مکانیزه به ترتیب ۶۰۷۸۳ و ۵۲۶۳۵ مگاژول در هکتار اعلام کرده‌اند.

بررسی کارایی و بهره‌وری انرژی در سامانه‌های

آبیاری مزارع گندم آبی و سیب‌زمینی

بررسی داده‌های جدول (۴) نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌داری در شاخص‌های بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه، نسبت انرژی، و انرژی خالص بین مزارع گندم و سیب‌زمینی است. نسبت انرژی (کارایی انرژی) که نشان‌دهنده بازده انرژی خروجی به ورودی است، در مزارع سیب‌زمینی به ترتیب در سامانه‌های (۳) و (۴)، ۱/۳۸ و ۱/۵۲ گزارش شد که به‌طور قابل‌توجهی پایین‌تر از مزارع گندم سامانه (۱) ۲/۴۶ و سامانه (۲) ۲/۸۱ است. این امر نشان‌دهنده کارایی کم‌تر سیب‌زمینی در تبدیل انرژی ورودی به محصول می‌باشد. در مقابل، انرژی ویژه که مقدار انرژی ورودی مصرف‌شده برای تولید هر واحد سطح را نشان می‌دهد، در مزارع سیب‌زمینی به‌ویژه در سامانه ۴ (۲/۳۶ مگاژول در هکتار) کم‌تر از سایر سامانه‌ها بود که می‌تواند حاکی از مصرف بهینه‌تر انرژی در این نظام تولیدی باشد زیرا مقدار کم‌تر آن نشان می‌دهد که انرژی کم‌تری به‌ازای تولید هر واحد عملکرد مصرف شده است. از طرف دیگر، بهره‌وری انرژی در سیب‌زمینی به‌ویژه در سامانه ۴ (۰/۴۲ کیلوگرم در مگاژول) بسیار بالاتر از مزارع گندم گزارش شد، لذا این بدان معنی بود است که به‌ازای هر واحد انرژی مصرفی در هر چهار سامانه‌های مذکور به ترتیب ۰/۱۳، ۰/۱۵، ۰/۳۸ و ۰/۴۲ واحد عملکرد به‌دست می‌آید و در نهایت این موضوع بیان‌گر توانایی بالاتر

سیب‌زمینی در تولید محصول نسبت به مصرف انرژی است. در نهایت، انرژی خالص که میزان انرژی تولیدی خالص را نشان می‌دهد، در مزارع گندم (سامانه‌های ۱ و ۲) به‌ویژه سامانه ۲ (۷۷۰۷۷/۹۷ مگاژول در هکتار) بیش‌تر از مزارع سیب‌زمینی است، که گویای توانایی بیش‌تر مزارع گندم در تولید انرژی قابل‌استفاده است. در مجموع، این تحلیل نشان می‌دهد که اگرچه بهره‌وری انرژی و پایداری و انرژی ویژه در سیب‌زمینی عملکرد بهتری دارند، اما از نظر مدیریت بهینه انرژی برای بهبود پایداری مزارع سیب‌زمینی ضروری است.

در جدول (۴) مقدار هر یک از انواع انرژی‌ها شامل انرژی مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر در تولید محصولات آبی گندم و سیب‌زمینی در چهار سامانه ارائه شده است. انرژی مستقیم که شامل مصرف سوخت‌های فسیلی و انرژی مصرف‌شده در فرایندهای مکانیزه است، در سامانه‌های سیب‌زمینی به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از سامانه‌های گندم است. به‌ویژه، سامانه ۳ و ۴ سیب‌زمینی به‌ترتیب با ۴۴۶۵۳/۵۶ و ۴۱۴۸۶/۹۸ مگاژول در هکتار مقادیر بیش‌تری را نشان می‌دهند، در حالی که سامانه‌های ۱ و ۲ (۱۶۸۶۰/۵۳ و ۱۴۴۳۷/۱۳ مگاژول در هکتار) مصرف کم‌تری دارند. این تفاوت احتمالاً به نیازهای سوخت (گازوئیل) مصرفی بالاتر در تولید سیب‌زمینی و استفاده بیش‌تر از ماشین‌آلات کشاورزی در مراحل کاشت، داشت و برداشت مربوط می‌شود.

جدول (۴) میزان مصرف انرژی نهاده‌های مصرفی برای تولید محصولات گندم آبی و سیب‌زمینی (مگاژول در هکتار)

شاخص‌ها	واحد	مزارع گندم سامانه (۱)	مزارع سیب‌زمینی سامانه (۲)	مزارع سیب‌زمینی سامانه (۳)	سامانه (۴)
نسبت انرژی	-	۲/۴۶	۲/۸۱	۱/۳۸	۱/۵۲
انرژی ویژه	مگاژول در هکتار	۷/۵۰	۶/۵۳	۲/۶۰	۲/۳۶
بهره‌وری انرژی	کیلوگرم در مگاژول	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۳۸	۰/۴۲
انرژی خالص	مگاژول در هکتار	۶۵۶۷۲/۵۷	۷۷۰۷۷/۹۷	۳۵۲۵۲/۸۹	۴۶۹۴۲/۷۶

در جدول (۵) مقدار هر یک از انواع انرژی‌ها شامل انرژی مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر در تولید محصولات آبی گندم و سیب‌زمینی در چهار سامانه ارائه شده است. انرژی مستقیم که شامل مصرف سوخت‌های فسیلی و انرژی مصرف‌شده در فرایندهای مکانیزه است،

در سامانه‌های سیب‌زمینی به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از سامانه‌های گندم است. به‌ویژه، سامانه ۳ و ۴ سیب‌زمینی به‌ترتیب با ۴۴۶۵۳/۵۶ و ۴۱۴۸۶/۹۸ مگاژول در هکتار مقادیر بیش‌تری را نشان می‌دهند، در حالی که سامانه‌های ۱ و ۲ (۱۶۸۶۰/۵۳ و ۱۴۴۳۷/۱۳ مگاژول در هکتار)



مستقیم و غیرمستقیم و وابستگی کم‌تر به انرژی تجدیدناپذیر، از منظر محیط زیستی پایدارتری به نظر می‌رسند. این داده‌ها اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی در تولید سیب‌زمینی را برجسته می‌کنند و نشان می‌دهند که مدیریت مصرف انرژی در این سامانه‌ها می‌تواند نقش اساسی در بهبود پایداری محیط زیستی ایفا کند. برای مدیریت بهینه منابع آبی و انرژی در کشاورزی، توصیه می‌شود که مزارع بر اساس نوع منبع انرژی مورد استفاده در سامانه‌های آبیاری، به‌طور استراتژیک به کشت محصولات مختلف اختصاص یابند. در مزارعی که از انرژی نقل برای آبیاری استفاده می‌شود، کشت سیب‌زمینی پیشنهاد می‌شود. دلیل این انتخاب، نیاز بالای سیب‌زمینی به آب است که در این نوع مزارع بدون اتکا به منابع انرژی برق، می‌توان با هزینه کم‌تر و بهره‌وری بیشتر آبیاری انجام داد. در مقابل، مزارعی که برای عملکرد سامانه‌های آبیاری وابسته به برق هستند، برای کشت گندم مناسب‌ترند. گندم به‌طور معمول نیاز آبی کم‌تری نسبت به سیب‌زمینی دارد و مصرف انرژی در سامانه‌های آبیاری این مزارع می‌تواند به حداقل برسد. این رویکرد، علاوه بر کاهش مصرف برق، فشار کم‌تری بر شبکه انرژی وارد می‌کند و با توجه به مسائل پایداری و هزینه، گام مؤثری در مدیریت بهینه منابع به شمار می‌رود. به‌طور کلی، این تقسیم‌بندی نه تنها باعث کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌شود، بلکه مصرف پایدارتر آب و برق را نیز تضمین می‌کند. از منظر مدیریت منابع، تطبیق نیازهای محصولات با ظرفیت‌های سامانه‌های آبیاری و منابع انرژی موجود، یکی از بهترین راه‌کارها برای ارتقای بهره‌وری در کشاورزی و کاهش چالش‌های محیط زیستی است (قاسمی‌مبتر، ۱۳۹۸).

مصرف کم‌تری دارند. این تفاوت احتمالاً به نیازهای سوخت (گازوئیل) مصرفی بالاتر در تولید سیب‌زمینی و استفاده بیشتر از ماشین‌آلات کشاورزی در مراحل کاشت، داشت و برداشت مربوط می‌شود. انرژی غیرمستقیم، که شامل انرژی نهفته در نهاده‌هایی مانند کودهای شیمیایی، بذر و سموم است، در سامانه‌های سیب‌زمینی نیز بالاتر از سامانه‌های گندم است. سامانه‌های سیب‌زمینی ۴۷۸۹۳/۵۵ و ۴۸۳۷۰/۲۵ مگاژول در هکتار انرژی غیرمستقیم مصرف می‌کنند، در حالی که سامانه‌های گندم این مقادیر را در حدود ۲۸۱۶۶/۹ و ۲۸۰۳۴/۹ مگاژول در هکتار نشان می‌دهند. این امر بیانگر وابستگی بیشتر تولید سیب‌زمینی به نهاده‌های پرا انرژی خواهد بود. در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر، سامانه‌های سیب‌زمینی (۱۵۸۷۰/۳۴ و ۱۵۹۰۸/۵۶ مگاژول در هکتار) مصرف بالاتری نسبت به سامانه‌های گندم (۵۴۱۹/۸۳ و ۵۱۲۴/۲۲ مگاژول در هکتار) دارند. این تفاوت احتمالاً ناشی از استفاده بیشتر از منابع آبی و انرژی‌های زیستی در کشت سیب‌زمینی است. مصرف انرژی تجدیدناپذیر، که شامل سوخت‌های فسیلی و انرژی نهفته در ماشین‌آلات و کودهای شیمیایی است، در سامانه‌های سیب‌زمینی بسیار بالاتر است (۷۶۶۷۶/۷۶ و ۷۳۹۴۸/۶۷ مگاژول در هکتار) در مقایسه با سامانه‌های گندم (۳۸۰۰۸/۲۰ و ۳۷۳۴۷/۸۰ مگاژول در هکتار). این امر نشان می‌دهد که تولید سیب‌زمینی وابستگی بیشتری به منابع تجدیدناپذیر دارد و از نظر محیط زیستی چالش‌برانگیزتر است. در مجموع، سامانه‌های تولید سیب‌زمینی به دلیل نیاز به مصرف بالای انرژی مستقیم و غیرمستقیم، وابستگی بیشتری به منابع تجدیدناپذیر دارند. در مقابل، سامانه‌های گندم با مصرف کم‌تر انرژی

جدول (۵) مقادیر انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در تولید گندم آبی و سیب‌زمینی

نوع انرژی	واحد	سامانه ۱	سامانه ۲	سامانه ۳	سامانه ۴
انرژی مستقیم	مگاژول در هکتار	۱۶۸۶۰/۵۳	۱۴۴۳۷/۱۳	۴۴۶۵۳/۵۶	۴۱۴۸۶/۹۸
انرژی غیرمستقیم	مگاژول در هکتار	۲۸۱۶۶/۹	۲۸۰۳۴/۹	۴۷۸۹۳/۵۵	۴۸۳۷۰/۲۵
انرژی تجدیدپذیر	مگاژول در هکتار	۵۴۱۹/۸۳	۵۱۲۴/۲۲	۱۵۸۷۰/۳۴	۱۵۹۰۸/۵۶
انرژی تجدیدناپذیر	مگاژول در هکتار	۳۸۰۰۸/۲۰	۳۷۳۴۷/۸۰	۷۶۶۷۶/۷۶	۷۳۹۴۸/۶۷

بحث

این مطالعه به بررسی الگوی مصرف انرژی در سامانه‌های آبیاری بارانی مزارع گندم آبی و سیب‌زمینی در مزارع پایاب سد مخزنی سورال استان کردستان می‌پردازد. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی شاخص‌های انرژی مرتبط با تولید گندم و سیب‌زمینی در مزارع خرده‌مالکی منطقه بوده است. مزارع مورد بررسی به چهار گروه دسته‌بندی شدند: سامانه (۱) و (۲) که مربوط به مزارع گندم با سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت و آبیاش متحرک بودند، به ترتیب با منابع انرژی برق و انرژی ثقل. همچنین سامانه (۳) و (۴) برای مزارع سیب‌زمینی با ویژگی‌های مشابه در نوع سامانه آبیاری و به ترتیب با منابع انرژی برق و ثقلی تعریف شدند. در پایان فصل زراعی، داده‌های مربوط به کل نهاده‌های ورودی و خروجی از طریق تکمیل پرسشنامه‌های حضوری جمع‌آوری شد. به منظور صحت‌سنجی اطلاعات، مقادیر مصرفی برق، آب و سایر نهاده‌ها از شرکت برق شهرستان دهگلان، اداره آب منطقه‌ای استان کردستان و کارشناسان کشاورزی استعلام و اصلاح گردید.

نتیجه‌گیری

در تولید گندم، سامانه ۱ که از برق برای تأمین انرژی آبیاری استفاده می‌کرد، کل انرژی ورودی بیش‌تری (۴۵۰۲۷ مگاژول در هکتار) مصرف کرد اما نسبت انرژی خروجی به ورودی آن تنها ۲/۴۶ بود. در مقابل، سامانه ۲ که از نیروی ثقل بهره می‌برد، با مصرف کل انرژی ورودی کم‌تر (۴۲۴۷۲ مگاژول در هکتار)، که نسبت انرژی آن ۲/۸۱ بود همچنین بهره‌وری انرژی بیش‌تری (۰/۱۵ کیلوگرم در مگاژول) داشت. این نشان می‌دهد که استفاده از منابع تجدیدپذیر مانند نیروی ثقل می‌تواند تأثیر مثبتی بر بهره‌وری انرژی گندم داشته باشد. در تولید سیب‌زمینی، سامانه ۳ (برق‌محور) و سامانه ۴ (نیروی جاذبه) هر دو مصرف انرژی ورودی بیش‌تری نسبت به مزارع گندم داشتند (به ترتیب ۹۲۵۴۷ و ۸۹۸۵۷ مگاژول در هکتار)، اما بهره‌وری انرژی سامانه ۴ (۰/۴۲ کیلوگرم در مگاژول) بالاتر از سامانه ۳ (۰/۳۸ کیلوگرم در مگاژول) بود. با این حال، میزان مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در سامانه‌های سیب‌زمینی قابل توجه بود (۷۶۶۷۶ مگاژول در سامانه ۳ و ۷۳۹۴۸ مگاژول در

منابع

اوجاقلو، حسن، اوجاقلو، فرهاد، جعفری، محمد مهدی، میثاقی، فرهاد، نظری، بیژن و کرمی دهکردی، اسماعیل. (۱۴۰۲). (۳۷)۲، ۱۶۵-۱۸۵. اثر مدیریت آبیاری بر شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب محصول یونجه. آب و خاک. <https://doi.org/10.22067/jsw.2023.79145.1211>

سامانه ۴)، که نشان‌دهنده وابستگی بالای این سامانه‌ها به انرژی‌های غیرپایدار است. در نهایت، میزان انرژی خروجی سیب‌زمینی در سامانه ۴ (۱۳۶۸۰۰ مگاژول در هکتار) بالاترین مقدار در بین همه سامانه‌ها بود، اما هزینه انرژی ورودی بالا و اتکای بیش‌تر به منابع تجدیدناپذیر، چالش‌هایی در پایداری تولید این محصول ایجاد می‌کند. به منظور مدیریت مؤثر منابع انرژی، می‌توان با اعمال بهینه‌سازی در سامانه‌های آبیاری، مزارعی که از نیروی جاذبه (ثقل) برای تأمین انرژی استفاده می‌کنند را به کشت سیب‌زمینی اختصاص داد. این رویکرد به دلیل افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش وابستگی به منابع برق در این نوع سامانه‌ها، منجر به صرفه‌جویی چشم‌گیری در هزینه‌های انرژی مصرفی خواهد شد. علاوه بر این، افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و ترویج فناوری‌های نظیر سامانه‌های فتوولتایی در مزارع وابسته به برق (مانند سامانه‌های ۱ و ۳) می‌تواند منجر به کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی و تقویت پایداری این سامانه‌ها گردد. همچنین، آموزش و توانمندسازی کشاورزان با ارائه دوره‌های فنی در زمینه مدیریت انرژی، انتخاب نهاده‌های کم‌مصرف و بهره‌برداری بهینه از منابع، می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری انرژی و ارتقای سودآوری اقتصادی شود. اجرای این پیشنهادات علاوه بر بهبود کارایی انرژی در بخش کشاورزی، به حفظ منابع طبیعی و کاهش اثرات منفی محیط زیستی در بلندمدت نیز کمک خواهد کرد.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله، نویسندگان از کشاورزان گرامی منطقه که با مشارکت فعال خود در تکمیل پرسشنامه‌ها، امکان انجام این پژوهش را فراهم نمودند، صمیمانه سپاس‌گزاری می‌نمایند. همچنین، از هم‌کاری و مساعدت‌های بی‌دریغ شرکت برق منطقه‌ای شهرستان دهگلان در تهیه اطلاعات مربوط به مصرف برق سامانه‌های آبیاری و از راهنمایی‌های ارزشمند کارشناسان اداره آب منطقه‌ای استان کردستان و جناب آقای دکتر فرزاد حسین پناهی، عضو هیئت علمی گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان، قدردانی به عمل می‌آید.

- ایزدخواه شیشوان، موسی، تاج بخش شیشوان، مهدی، و حسن زاده قورت تبه، عبدالله. (۱۳۸۹). ارزیابی و مقایسه کارایی انرژی دو نظام کشت متداول و مکانیزه در مزارع سیب زمینی استان آذربایجان شرقی. پژوهش‌های زراعی ایران، ۸(۲)، ۲۸۴-۲۹۷. <https://sid.ir/paper/467138/fa>
- بایزیدی، مطلب، و کاکلی، مه‌ری. (۱۴۰۰). تغییرات حجم ذخیره و بهره برداری از آبخوان‌های دشت‌های شرق استان کردستان. اکوهیدرولوژی، ۱۸(۱)، ۵۷-۷۲. <https://sid.ir/paper/1058902/fa>. SID
- بی‌نام، وزارت نیرو. (۱۳۸۴). گزارشی در باره برقی کردن چاه‌ها. تقی نژاد، جبرائیل و واحدی، عادل. (۱۴۰۰). مدل سازی الگوی مصرف انرژی و تحلیل حساسیت نهاده‌ها در تولید گندم آبی، مطالعه موردی: استان اردبیل. مکانیزاسیون کشاورزی. ۱۹-۱۱، (۴)۶.
- doi: 10.22034/jam.2022.14202
- دین محمدی، مصطفی و عباسی، رویا. (۱۴۰۲). اندازه‌گیری آب مجازی و مقایسه بهره‌وری فنی با بهره‌وری بازاری آب مجازی در بخش کشاورزی مطالعه موردی محصولات آبی منتخب استان کردستان. تحقیقات منابع آب ایران. ۱۹(۴)، ۱۱۰-۱۲۵. [doi: 10.22034/iwrr.2023.177609](https://doi.org/10.22034/iwrr.2023.177609)
- ضیایی، سید مسعود، حسین پناهی، فرزاد، ولی زاده، جعفر و برآبادی، سید ابوالقاسم. (۱۳۹۲). مقایسه کارآمدی تولید گندم و جو به لحاظ مصرف انرژی و بهره‌وری آن در استان سیستان و بلوچستان. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۱(۲)، ۳۳۶-۳۲۷. [doi: 10.22067/gsc.v11i2.26148](https://doi.org/10.22067/gsc.v11i2.26148)
- طایی، فاطمه، خلیلیان، صادق و کیانی ده کیانی، محمد. (۱۴۰۲). تحلیل تاثیر تقاضای محصول‌های کشاورزی بر مصرف انرژی. اقتصاد کشاورزی. ۱۷(۱)، ۱۳۵-۱۶۳. [doi: 10.22034/iaes.2023.555173.1924](https://doi.org/10.22034/iaes.2023.555173.1924)
- طهماسبی، پیمان. ۱۴۰۳. اصول مدیریت منابع آب. انتشارات قلم محقق، صفحه ۳-۱.
- طهماسبی، پیمان، دالوند، فاطمه، حسینی، سید ابولفضل، کریمی، بختیار و قدرشناس، هیرش. (۱۴۰۳). بررسی مقایسه‌ای کارایی انرژی دو سامانه آبیاری بارانی در کشت گندم (مطالعه موردی: دشت‌های دهگلان، استان کردستان). آب و خاک (۱). - [doi: 10.22067/jsw.2025.90134.1439](https://doi.org/10.22067/jsw.2025.90134.1439)
- عباسی، فریبرز، عباسی، نادر و توکلی، علیرضا. (۱۳۹۶). بهره‌وری آب در بخش کشاورزی؛ چالش‌ها و چشم‌اندازها. آب و توسعه پایدار. ۴(۱)، ۱۴۱-۱۴۴. [doi: 10.22067/jwsd.v4i1.67121](https://doi.org/10.22067/jwsd.v4i1.67121)
- غلامی، زینب، ابراهیمیان، حامد، و نوری، حمیده. (۱۳۹۴). بررسی بهره‌وری انرژی آب و بهره‌وری اقتصادی انرژی در سامانه‌های آبیاری بارانی و سطحی در شرایط بهره‌برداری از آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت قزوین). مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۶(۳)، ۴۴-۳۱. <https://sid.ir/paper/28231/fa>
- فیض بخش، محمدتقی، دری، محمدعلی، و رضوان طلب، نصیه. (۱۳۹۸). ارزیابی شاخص‌های انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در تولید سیب زمینی (*Solanum tuberosum L.*) در استان گلستان. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱)، ۵۳-۶۸. <https://dx.doi.org/10.22067/jag.v12i3.73855>
- قادرزاده، حامد، و پیرمحمدیانی، زانیار. (۱۳۹۸). بررسی کارایی انرژی در تولید سیب زمینی استان همدان. تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۱۱(۲) (پیاپی ۴۲)، ۱۶۷-۲۰۲. <https://sid.ir/paper/158629/fa>. SID
- قاسمی مبتکر، حسن. (۱۳۹۸). بررسی روند مصرف انرژی در دو سامانه آبیاری غرقایی و تحت فشار: مطالعه موردی یک مزرعه صد هکتاری در همدان. مهندسی بیوسیستم ایران. ۹(۴)، ۸۰۹-۸۰۱. [doi: 10.22059/ijbse.2019.281690.665189](https://doi.org/10.22059/ijbse.2019.281690.665189)
- قاسمی مبتکر، حسن، شریفی، محمد و کعب، علی. (۱۴۰۲). مطالعه تغییرات روند مصرف انرژی و شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید محصولات زراعی با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۷. مهندسی بیوسیستم ایران، ۱۸(۳)، ۱-۱۸. [doi: 10.22059/ijbse.2023.364738.665522](https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.364738.665522)
- قدیمی فیروزآبادی، علی و اکبری، مهدی. (۱۴۰۲). تاثیر آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) بر میزان عملکرد و بهره‌وری آب محصول گندم و شوری خاک در شرایط زارعین (مطالعه موردی: استان همدان). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۷(۵)، ۸۳۱-۸۴۲.
- نراقی، نیوشا، مقدسی، رضا و محمدی نژاد، امیر. (۱۴۰۰). مطالعه ارتباط غیر خطی مصرف انرژی و تورم در بخش کشاورزی. اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۵(۳)، ۲۷۲-۲۵۹.
- نیازمند، رویا، مقدم نیا، آرمان، طهماسبی، پیمان، نیک مهر، سامان و معروف پور، عیسی. (۱۴۰۲). بهره‌وری مصرف آب و انرژی محصول سیب‌زمینی در سامانه‌های آبیاری بارانی (مطالعه موردی: دشت دهگلان استان کردستان). فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب. ۳(۴)، ۱۳۷-۱۱۶. [doi: 10.22126/atwe.2024.10298.1106](https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10298.1106)
- Ahmadbeyki, A., Ghahderijani, M., Borghae, A., & Bakhoda, H. (2023). Energy use and environmental impacts analysis of greenhouse crops production using life cycle assessment approach: A case study of cucumber and tomato from Tehran province, Iran. *Energy Reports*, 9, 988-999.
- Asgharipour, M. R., Mondani, F., & Riahinia, S. (2012). Energy use efficiency and economic analysis of sugar beet production system in Iran: A case study in Khorasan Razavi province. *Energy*, 44(1), 1078-1084.
- Bonou-Zin, R. D., Allali, K., & Fadlaoui, A. (2019). Environmental efficiency of organic and conventional cotton in Benin. *Sustainability*, 11(11), 3044.



- Burhan, Ö. (2004). Managing product variety through delayed product differentiation using vanilla boxes (Master Thesis, Middle East Technical University). Middle East Technical University.
- Elsoragaby, Suha, Azmi Yahya, Muhammad Razif Mahadi, Nazmi Mat Nawi, and Modather Mairghany. "Analysis of energy use and greenhouse gas emissions (GHG) of transplanting and broadcast seeding wetland rice cultivation." *Energy* 189 (2019): 116160.
- FAO. 2014. The water- energy- food nexus, 374 P.
- Firouzabadi, A. G., Baghani, J., Jovzi, M., & Albaji, M. (2021). Effects of wheat row spacing layout and drip tape spacing on yield and water productivity in sandy clay loam soil in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, 251, 106868.
- Ghasemi-Mobtaker, H., Sharifi, M., Taherzadeh-Shalmai, N., & Afrasiabi, S. (2022). A new method for green forage production: Energy use efficiency and environmental sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 363, 132562.
- Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., ... & Aghel, H. (2011). A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy*, 88(1), 283-288.
- Giri, N. C., Mohanty, R. C., Pradhan, R. C., Abdullah, S., Ghosh, U., & Mukherjee, A. (2023). Agrivoltaic system for energy-food production: A symbiotic approach on strategy, modelling, and optimization. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 40, 100915.
- Hamedani, S. R., Shabani, Z., & Rafiee, S. (2011). Energy inputs and crop yield relationship in potato production in Hamadan province of Iran. *Energy*, 36(5), 2367-2371.
- Han, D., Yu, D., & Cao, Q. (2020). Assessment on the features of coupling interaction of the food-energy-water nexus in China. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119379.
- Heydari, N., & Taran, F. (2025). Effect of Climate Change on Wheat Yield and Water Productivity in Iran and the World. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 16(2), 253-269.
- Khar, S., & Zaffar, O. (2023). Nergy utilization pattern in potato production in Jammu and Kashmir.
- Kitani, O., Jungbluth, T., Peart, R. M., & Ramdani, A. (1999). CIGR handbook of agricultural engineering. *Energy and biomass engineering*, 5, 330.
- Kizilaslan, H. (2009). Input-output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. *Applied Energy*, 86(7-8), 1354-1358.
- Kowalczyk, Z. (2019). Life cycle assessment (LCA) of potato production. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 132, p. 02003). EDP Sciences.
- Mamaghani, N. A. (2025). Diversity of endophytic fungi in potato (*Solanum tuberosum*) plants in Iran. *Sydowia*, 77, 141.
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S. H., & Nonhebel, S. (2014). Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 724-733.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Chau, K. W. (2017). Energy consumption enhancement and environmental life cycle assessment in paddy production using optimization techniques. *Journal of cleaner production*, 162, 571-586.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Chau, K. W. (2017). Energy consumption enhancement and environmental life cycle assessment in paddy production using optimization techniques. *Journal of cleaner production*, 162, 571-586.
- Najafabadi, M. M., Sabouni, M., Azadi, H., & Taki, M. (2022). Rice production energy efficiency evaluation in north of Iran; application of Robust Data Envelopment Analysis. *Cleaner Engineering and Technology*, 6, 100356.
- Nasseri, A. (2024). Effects of irrigated and dryland conditions on energy indices in wheat production: a meta-analysis based on the principal components analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 1-27.
- Pimentel, D., Pimentel, M., & Food, E. (1996). *Society (Niwet, CO*. Colorado Press.
- Purwanto, A., Sušnik, J., Suryadi, F. X., & de Fraiture, C. (2021). Quantitative simulation of the water-energy-food (WEF) security nexus in a local planning context in indonesia. *Sustainable Production and Consumption*, 25, 198-216.
- Sánchez-Sutil, F., & Cano-Ortega, A. (2021). Smart control and energy efficiency in irrigation systems using LoRaWAN. *Sensors*, 21(21), 7041.
- Senbeta, A. F., & Worku, W. (2023). Ethiopia's wheat production pathways to self-sufficiency through land area expansion, irrigation advance, and yield gap closure. *Heliyon*.
- Singh, H., Mishra, D., & Nahar, N. M. (2002). Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone, India—part I. *Energy conversion and management*, 43(16), 2275-2286.
- Singh, S., & Mittal, J. P. (1992). *Energy in production agriculture*. Mittal Publications.
- Sulewski, P., & Waş, A. (2024). Agriculture as Energy Prosumer: Review of Problems, Challenges, and Opportunities. *Energies*, 17(24), 6447.
- Taki, M., Rohani, A., Soheili-Fard, F., & Abdeshahi, A. (2018). Assessment of energy consumption and modeling of output energy for wheat production by neural network (MLP and RBF) and Gaussian process regression (GPR) models. *Journal of cleaner production*, 172, 3028-3041.
- Tipi, T., Cetin, B., & Vardar, A. (2009). An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey.
- Vahedi, A., & Zarifneshat, S. (2021). Evaluation energy flow and analysis of energy economy for irrigated wheat production in different geographical regions of Iran. *Journal of Agricultural Machinery*, 11(2), 505-523.
- Yilmaz, I., Akcaoz, H., & Ozkan, B. (2005). An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy*, 30(2), 145-155.
- Zangeneh, M., Omid, M., & Akram, A. (2010). A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. *Energy*, 35(7), 2927-2933. doi: 10.1016/j.energy.2010.03.024